

Министерство образования и науки Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный политехнический
университет

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
«НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбПУ»**

МАТЕРИАЛЫ

научно-практической конференции

1 – 6 декабря 2014 года



Институт металлургии,
машиностроения и транспорта

Часть 2



Санкт-Петербург • 2015

УДК 621.01
ББК 34
Н 43

Научный форум с международным участием «Неделя науки СПбПУ»: материалы научно-практической конференции. **Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ. Ч. 2.** – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 432 с.

В сборнике публикуются статьи студентов, аспирантов, молодых ученых и сотрудников Политехнического университета, вузов Санкт-Петербурга и России, а также учреждений РАН по материалам докладов, представленных на секционных заседаниях научно-практической конференции Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского государственного политехнического университета в рамках Научного форума с международным участием «Неделя науки СПбПУ». Статьи отражают современный уровень научно-исследовательской работы участников конференции в области машиностроения.

Представляет интерес для специалистов в различных областях знаний, учащихся и работников системы высшего образования и Российской академии наук.

Редакционная коллегия
Института металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ:

*А.А. Попович (директор института), М.С. Кокорин (отв. ред.),
Ю.В. Гичев, В.А. Прокопенко, Н.Н. Шабров, Е.В. Заборский, В.С. Мамутов,
П.А. Андриенко, Л.А. Ушомирская, В.И. Слатин, Е.П. Кукушкина, М.И. Седлер
В.В. Ваганов, С.М. Лунёв*

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

ISBN 978-5-7422-4836-1 (ч. 2)
ISBN 978-5-7422-4718-0

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2015

ОТДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

СЕКЦИЯ «АВТОМАТЫ»

УДК: 62-531.6

Д.В. Шабанов, К.Е. Павельчук, А.М. Федотов

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРОВ ДВУХПРИВОДНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ЛАЗЕРНОЙ НАВИГАЦИЕЙ. ЗАДАЧА ДВИЖЕНИЯ В ТОЧКУ

Аннотация. В данной статье проведено сравнения различных типов регуляторов в системе управления двухприводным мобильным роботом. Рассматриваемые регуляторы предназначены для решения задачи движения робота в заданные на плоскости координаты с использованием лазерного кругового дальномера (лидара). Разработана методика определения показателей качества регулирования. На основе этого получены значения максимальных отклонений, позволяющие определить оптимально подходящий тип регулятора для каждого вида задачи движения в точку.

Ключевые слова: колесный мобильный робот, лазерная навигация, регулятор, движение в точку, оценка эффективности.

На сегодняшний день мобильные автономные роботы уже удачно внедрены во многие сферы. Мобильные роботы применяются для перемещения деталей и инструмента на производстве, в развлекательных целях (к примеру, использование в шоу и театральных спектаклях [1]), для исследований в труднодоступных для человека местах (другие планеты, опасных зон, помещений). Современные тенденции развития производства и областей исследования ставит перед разработчиками автономных мобильных роботов новые задачи.

На стадии разработки мобильного робота возникает сложная задача определения показателей точности системы позиционирования. Практика показывает, наиболее достоверен метод имитационного исследования. Недостатком данного метода является сложность оценки ряда факторов: проскальзывание колес, характер отклонения показаний датчика от фактических значений и т.д.). В связи с этим предлагается провести ряд исследований для мобильного робота с определенной кинематической схемой и типом датчика обратной связи.

Конструкция исследуемого робота представляет собой жесткую раму с двумя приводными колесами, трехколесной опорой и лидаром (рис. 1).



Рис. 1. 3D-модель макета двухприводного робота
(1 – мотор-редуктор SEW-Eurodrive; 2 – приводное колесо; 3 – частотный преобразователь SEW-Eurodrive; 4 – SickLidarNAV200; 5 – аккумулятор 12В; 6 – трехколесная подвижная опора)

Полученные результаты могут быть использованы не только как ориентировочные значения точностных характеристик роботов подобной геометрии и типа датчика обратной связи, но и для определения наиболее подходящего типа регулятора при решении определенных разновидностей поставленной задачи.

Нередко оказывается достаточно, чтобы робот мог перемещаться в заданное положение по команде, или двигался по ломаным линиям. Если необходимо, чтобы система могла выполнять движение по произвольным кривым, нередко алгоритм строится на основе линейного регулятора и кусочно-линейной аппроксимации траектории [4]. Более сложные задачи, такие как движение в среде с динамическими препятствиями, могут решаться с использованием регуляторов движения в точку [2]. В таких ситуациях подразумевается использование нескольких уровней системы управления, включающих уровень регулятора, генератора траектории и генератора закона изменения уставки.

В связи с такой широкой областью применения для исследования была выбрана задача движения в точку. В зависимости от конечной задачи мобильного робота наибольший интерес будет вызывать один из критериев оценки качества работы регулятора. Можно выделить следующие основные критерии оценки (рис. 2):

- отклонение конечного положения от заданной точки e_r ,
- максимальное отклонение от траектории $e_{n\max}$,
- максимальное отклонение угла поворота от наклона траектории $e_{\varphi\max}$.

Целью работы является оценка регуляторов по основным критериям. В рамках данной работы был собран макет мобильного робота, создана система управления и реализован алгоритм самостоятельной калибровки робота.

Эксперимент на макете проводится на различных скоростях и с различным начальным положением робота относительно конечной точки. Робот автономно совершает n -ое количество циклов движения в заданную точку, подбирая оптимальные параметры регулятора методом градиентного спуска. Оптимизируемая функция в этом случае зависит от одного или от группы критериев оценки качества регулирования (рис. 2). Подобную систему можно отнести к самонастраивающимся системам с настройкой на экстремум свойств с пробной девиацией параметров регулятора [3].

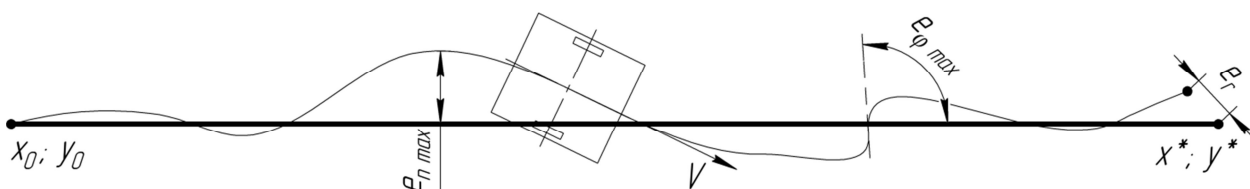


Рис. 2. Критерии оценки качества регулирования для задачи движения в точку

После выбора оптимальных параметров регулятора, робот совершает ряд контрольных циклов, и наибольшее отклонение контролируемого значения принимается как показатель качества работы исследуемого регулятора.

Для всех регуляторов приняты следующие правила. На вход регулятора подаются координаты положения робота, координаты конечной точки и номинальная скорость движения V^* . На выход регулятор выдает значения линейной скорости $V(t)$ и угловой скорости $\omega(t)$ перемещения робота соответственно модели “Лезвия ножа” [5]. Линейная скорость всегда задается законом $V(t) = k \cdot e_r(t)$ (с ограничением $V(t) \leq V^*$), где $e_r(t)$ – расстояние до конечной точки. Корректировка направления движения ведется изменением угловой скорости. Далее будет рассматриваться только эта часть регулятора. Система управления пересчитывает полученные скорости V и ω в скорости вращения двигателей.

Регулятор, описанный в [4], взят за основу. Но он имеет несколько недостатков. Во-первых, при приближении к конечной точке, угловое отклонение робота будет меняться значительно быстрее при неизменной скорости корректировки, что приводит к активному вращению робота около конечной точки. Во-вторых, качество корректировки направления движения робота будет значительно меняться в зависимости от заданной линейной скорости. Скорость углового вращения зависит только от положения робота относительно заданной точки и не связана с линейной скоростью. Малая скорость корректировки робота при увеличенной линейной скорости не способна вовремя устранить ошибку. В связи с этим, решено вводить линейную скорость в регуляторы угловой скорости как множитель. Для сравнения качества регулирования приведен лишь один регулятор без этого множителя.

Результаты исследований описаны в таблице 1. Помимо указанных в таблице также рассматривались регуляторы, построенные на базе ПИД-регулятора. Однако, их не удастся эффективно использовать из-за квантования значений координат. Возможно создать дополнительный фильтр, позволяющий использовать их, но этот вопрос уже выходит за рамки статьи.

Значения отклонения были определены по показаниям с лидара, поэтому для более объективной оценки необходимо прибавить его погрешности: 5,66 мм к значениям линейных отклонений и $0,1^\circ$ к значениям угловых отклонений. Линейная погрешность определена как векторная сумма погрешностей по каждой координате (4 мм).

Табл. 1. Результаты исследований качества работы регуляторов

1	2	3	4
Тип регулятора	e_{nmax} , мм	e_r , мм	$e_{\phi max}$, град.
$\omega(t) = k_\phi \cdot e_\phi(t)$	40,1	7,4	13,1
$\omega(t) = V(t) \cdot k_\phi \cdot e_\phi(t)$	25,0	11,9	6,1
$\omega(t) = V(t) \cdot (k_\phi \cdot e_\phi(t) + k_n \cdot e_n(t))$	12,9	7,2	2,0
$\omega(t) = V(t) \cdot k_n \cdot e_n(t)$	38,4	46,3	5,2

Как видно из таблицы, оптимальным по всем трем критериям оценки является регулятор вида $\omega(t) = V(t) \cdot (k_\phi \cdot e_\phi(t) + k_n \cdot e_n(t))$. С учетом погрешности лидара значение нормального отклонения от траектории не превышает 18,6 мм; значение отклонения конечного положения не превышает 7,2 мм; отклонение углового положения не превышает $2,1^\circ$. Таким образом, этот тип регулятора рекомендуется использовать для решения любых подвидов задачи движения в точку.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Волков А.Н. Робототехнические и мехатронные системы театральной машинерии : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.05 / Волков Андрей Николаевич ; [Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-т]. — Санкт-Петербург, 2007. — 32 с.
2. Герасимов В.Н. Система управления движением мобильного робота в среде с динамическими препятствиями / В.Н. Герасимов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия: Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2013. - №5(181). — с. 94-102.
3. Жмудь В.А. Адаптивные системы автоматического управления / В.А. Жмудь, Д.О. Терешкин, О.В. Прыткова // Сб. науч. тр. НГТУ. — 2011. — №1(63). — с. 23-40.
4. Управление двухколесными мобильными роботами для применения в театральных постановках / А.В. Борисевич [и др.] // Сб. науч. тр. II Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых учёных

«Автоматизация, мехатроника, информационные технологии» (АМИТ) 15-17 мая 2012 г. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012. – с. 150-152.

5. Michel Abou-Samah. A Kinematically Compatible Framework for Collaboration of Multiple Nonholonomic Wheeled Mobile Robots /Michel Abou-Samah – [Montreal]: McGill University, 2001–294 с.

Сведения об авторах

Шабанов Дмитрий Вячеславович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: аспирант

Электронная почта: shabanov_dv@icloud.com

Павельчук Кирилл Евгеньевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент

Электронная почта: pav_kir94@mail.ru

Федотов Алексей Михайлович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: аспирант

Электронная почта: purepuzzle@yandex.ru

УДК: 629.785

Д.Н. Кузьменко, Е.А. Лазарев, М.И. Маленков

ВЫБОР КОНЦЕПЦИИ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ САМОХОДНОГО ШАССИ ПЛАНЕТОХОДА С АДАПТИВНОЙ ПОДВЕСКОЙ МОТОР-КОЛЕС

Аннотация. Статья базируется на материалах, полученных при выполнении прикладных научных исследований (ПНИ) по теме «Создание научно-технических решений в области разработки робототехнических средств космического назначения для обеспечения напланетных миссий»¹. В рамках этой темы рассматривается актуальная концепция четырех колесного полноприводного шасси, снабженного двух рычажными механизмами шагания (МШ) с отдельными приводами рычагов. Рассматриваются особенности моделирования одного из возможных режимов работы такого шасси – движение в колесном режиме с регулированием относительного положения колес и корпуса.

Ключевые слова: шасси, механизм шагания, колесо, рычаг, модель, моделирование, планетоход, алгоритмы управления, подвеска, проходимость.

Введение. В настоящее время обязательным компонентом оборудования реальных и планируемых планетных экспедиций являются планетоходы. Они позволяют существенно увеличить объем и качество передаваемой на Землю научной информации, обеспечить поддержку деятельности человека на поверхности планет и других небесных тел Солнечной системы.

¹ПНИ проводятся при финансовой поддержке государства в лице Министерства образования и науки РФ (уникальный идентификатор проекта RFMEF157614X0050)

Отечественные исследования, выполненные еще в прошлом веке, показали, что одним из способов повышения проходимости и живучести планетоходов является применение комбинированного, колесно-шагающего способа передвижения. Этот способ может быть реализован с помощью различного рода шагающих механизмов, у которых опоры выполнены в виде мотор-колес. Такое решение позволяет реализовать не только различные походки [1, 2], но и получить новые качества в колесных режимах движения.

В новом веке появились новые проекты и конструкции макетов с колесно-шагающим движителем (КШД), авторы которых также ориентируются на космическое применение [3, 4]. В настоящем докладе рассматривается только основной, колесный режим движения.

Способы применения МШ в качестве адаптивной подвески колес.

В конструкции реальных планетоходов в настоящее время рассматриваются три типа подвесок ходовых колес. Советские и американские луноходы оснащены рычажно-шарнирными упругими подвесками. Конструкция всех четырех американских марсоходов, базируется на применении различных схем неупругих балансирных подвесок. При низких скоростях движения теряет актуальность задача обеспечения плавности хода, а эффективность подвески определяется исключительно влиянием ее свойств на проходимость.

Преимущества управляемой, адаптивной подвески, в качестве которой, в настоящем проекте используются МШ, могут оказаться весьма существенными. Ведь такие подвески, способны не только сохранять постоянный контакт всех колес с грунтом, но и обеспечить оптимальные условия взаимодействия каждого колеса с опорной поверхностью.

Это сложная задача для информационных и управляющих подсистем, а также исполнительных механизмов самоходного шасси. Анализ доступной информации показывает: применительно к планетоходам она еще не решена.

В настоящем докладе приведена информация о проводимых исследованиях, конечной целью которых является обоснование и выбор концепции шасси, оптимизация характеристик и отработка алгоритмов управления адаптивной подвеской в процессе моделирования движения планетохода с учетом особенностей рельефа и свойств грунта Луны и Марса [5]. В порядке подготовки к выполнению конечной цели рассмотрены в упрощенной постановке две конкретные задачи моделирования движения планетохода, проектный облик ходовой части которого приведен на рисунке 1.

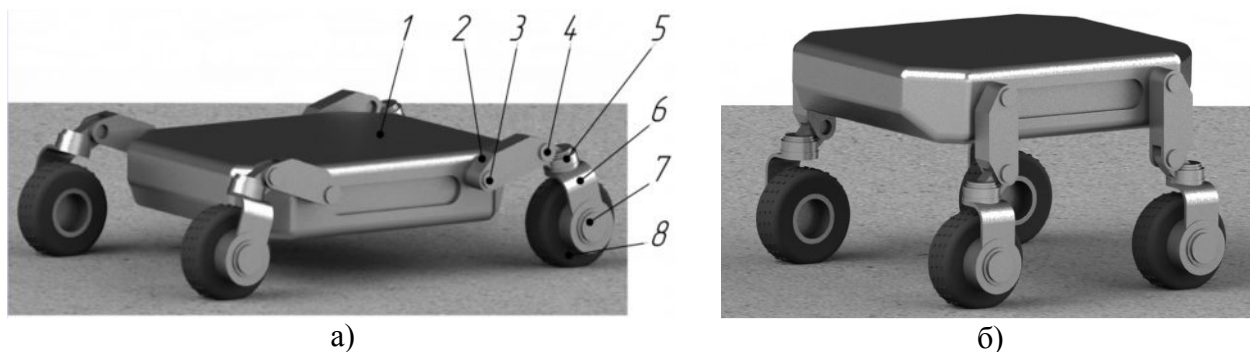


Рис. 1. Концепция ходовой части самоходного шасси планетохода

а) минимальный клиренс, б) максимальный клиренс: 1-несущая конструкция, 2-бедро механизма шагания (МШ), 3-приводной модуль (ПМ) бедра, 4-ПМ голени, 5-ПМ поворота колеса, 6-голень МШ, 7-ПМ вращения колеса, 8-колесо

Моделирование движения шасси по наклонной поверхности.

Для реализации алгоритмов управления движением шасси в состав приводных модулей включены датчики углового положения звеньев МШ, датчики усилий, возникающих при взаимодействии колес с грунтом.

При разработке математической модели полноприводного четырехколесного шасси планетохода использовались возможности программного средства MatlabSimulink, в котором имеется библиотека SimMechanics, позволяющая работать с различными механическими системами. Также применялась дополнительная утилита SimMechanicsLink, с помощью которой возможен импорт трехмерной модели со всей ее геометрией и массовыми характеристиками в рабочую среду Matlab [6].

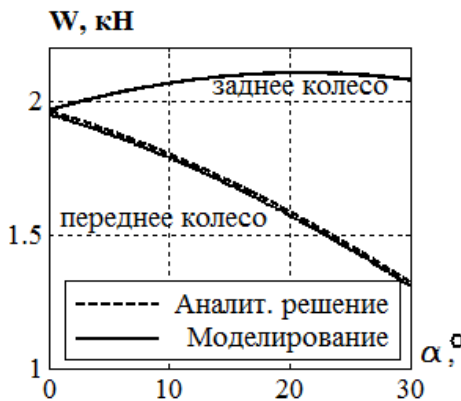


Рис. 2. Зависимость нормальных реакций от угла подъема

На данной стадии исследования моделирование проводилось на упрощенных, плоских моделях для случая равномерного движения на подъем. Сравнение графиков, полученных аналитически [7] и путем моделирования, представлено на рисунке 2.

Моделирование движения шасси по синусоидальному профилю. При компьютерном моделировании с помощью библиотеки SimMechanics, есть возможность задания движения, как посредством координат, так и посредством сил и моментов (прямая и обратная задачи динамики). В данном случае, был выполнен геометрический анализ, позволяющий корпусу сохранять горизонтальное положение при движении планетохода по произвольной поверхности (рисунок 3, а).

При решении обратной задачи кинематики получены выражения для определения углов φ_1 и φ_2 в зависимости от координаты точки C:

$$\varphi_1 = 2\pi - (\gamma - \beta) = 2\pi - \arccos\left(\frac{x'_1 c_1}{A_1 C_1}\right) + \arccos\left(\frac{A_1 B_1^2 + A_1 C_1^2 - B_1 C_1^2}{2 \cdot A_1 B_1 \cdot B_1 C_1}\right)$$

$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{A_1 B_1^2 + B_1 C_1^2 - A_1 C_1^2}{2 \cdot A_1 B_1 \cdot B_1 C_1}\right), A_1 C_1 = \sqrt{x'_1 c_1^2 + y'_1 c_1^2}$$

В качестве детерминированной опорной поверхности на данном этапе исследования была выбрана синусоида с амплитудой, равной половине радиуса колеса и периодом вдвое большим, чем длина колесной базы при режиме регулирования относительного положения колес и корпуса по вертикали.

В результате моделирования получены графики изменения кинематических и силовых характеристик МШ в зависимости от времени (рисунок 3, б). Расчет проводился без учета упруго-диссипативных свойств привода и рычагов механизмов шагания.

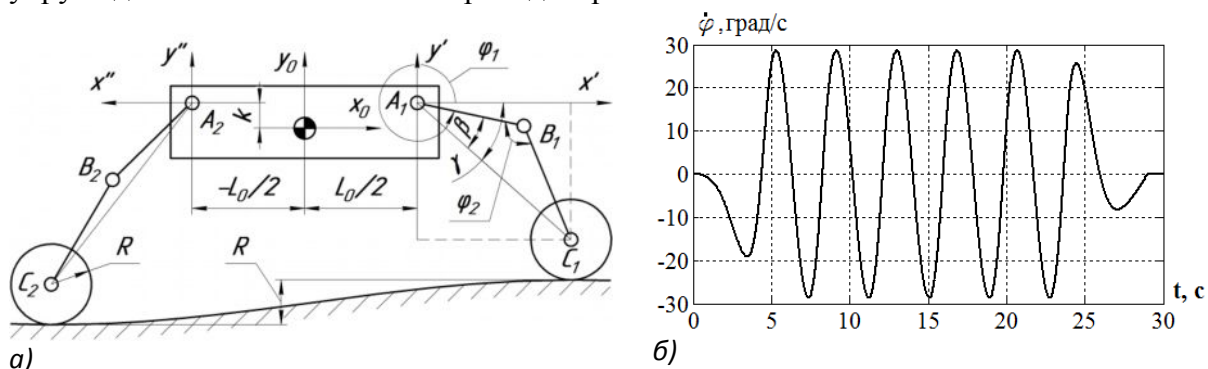


Рис. 3. Расчетная кинематическая схема (а) и полученная при моделировании функция угловой скорости шарнира бедра (б)

По полученным результатам моделирования можно определить законы управления приводными модулями МШ для адаптации колес к поверхности.

Выводы. Проведен анализ и выбрана концепция ходовой части и самоходного шасси в целом, базирующаяся на применении колесно-шагающего движителя с отдельными приводами двухрычажного механизма шагания. Показано, что компьютерное моделирование преодоления подъемов хорошо согласуется с аналитическим решением. Получены в упрощенной постановке данные для разработки алгоритмов управления приводами рычагов адаптивной подвески при движении планетохода по синусоидальному профилю.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Планетоходы / А.Л. Кемурджиан, В.В. Громов, И.Ф. Кажукало, М.И. Маленков и др. Изд. 2-е, перераб. и допол. - М.: Машиностроение, 1993. – 397 с.
2. Передвижение по грунтам Луны и планет / Громов В.Н., Забавников Н.А., Кемурджиан А.Л., Кажукало И.Ф., Маленков М.И., Наумов В.Н., и др., М.: Машиностроение, 1986.
3. B. Wilcox, T. Litvin, J. Biesiadecki et al. ATHLET: A Cargo Handling and Manipulation Robot for the Moon/ Journal of Field Robotics, vol. 24, p. 421-434, 2007.
4. A. Halme, L. Leppanen, J. Soumela, S. Ylonen and I. Kettunen. Workpartner. Interactive human-like service robot for outdoor applications. The International Journal of Robotics Research, vol.22,p.627-640, 2003.
5. Динамика планетохода / Авотин Е.В., Болховитинов И.С., Кемурджиан А.Л., Маленков М.И., Шпак Ф.П. М.: Наука, 1979. – 438 с.
6. Лазарев Ю.Ф. Моделирование процессов и систем в MATLAB// Учебный курс. – СПб.: Питер, 2005. – 512с.
7. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств: Пер. с англ.–М.: Машиностроение, 1982.–284 с.

Сведения об авторах

Кузьменко Дмитрий Николаевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: бакалавр

Электронная почта: dima_kuzmenko_69@mail.ru

Лазарев Евгений Алексеевич

ЗАО «НТЦ РОКАД»

Рабочий адрес:

Должность: технический директор

Электронный адрес: eugeny.lazarev@rocad.ru

Маленков Михаил Иванович

ЗАО «НТЦ РОКАД»

Рабочий адрес:

Ученая степень, звание: д.т.н., профессор

Должность: научный руководитель проекта

Электронный адрес: m.i.malenkov@gmail.com

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос организации системы управления манипулятором с исполнительным механизмом в виде шарнирной фермы переменной конфигурации. Проведен расчет управляющих сигналов для перемещения рабочей точки в заданное положение, согласованы скорости приводов звеньев шарнирной фермы, проанализированы программная и аппаратная реализации системы управления. Составлена схема аппаратной реализации системы управления.

Ключевые слова. Шарнирная ферма переменной конфигурации, система управления, координаты рабочей точки, согласование скоростей.

Для выполнения погрузочно-разгрузочных работ и сборочных операций чаще всего используются промышленные роботы, исполнительные механизмы которых представляют собой открытую кинематическую цепь с двигателями, расположенными в шарнирах или на основании. К недостаткам этих роботов следует отнести большие энергетические затраты, достаточно большие обслуживаемые объёмы, затрудняющие их размещение в составе автоматизированных технологических линий [2, 4]. С другой стороны находят применение роботы на базе механизмов параллельной структуры [4, 6], в которых звенья выполняются в виде гидроцилиндров или актюаторов, соединенных вращательными или сферическими парами и образующих замкнутый многоконтурный механизм.

В данной работе рассматривается система управления исполнительным механизмом робота, структурная схема которого представлена на рисунке 1. Исполнительный механизм для перемещения рабочего органа в вертикальной плоскости выполнен на основе шарнирной фермы переменной конфигурации [3], все звенья которой работают только на растяжение-сжатие, что повышает жёсткость конструкции и позволяет снизить массу исполнительного механизма. Целью данной работы является разработка системы управления исполнительным механизмом, воспринимающей программные сигналы, заданные в декартовой системе координат.

Система управления состоит из задающего устройства, устройства вычисления и согласователя скоростей (рисунок 2). Задающее устройство формирует программные значения координат. Устройство вычисления выдает фактические значения координат после соответствующей обработки сигналов с датчиков. После этого происходит сравнение фактических значений с программными, формируются управляющие сигналы Δx и Δz по разности этих значений. Согласователь скоростей обрабатывает сигналы рассогласования координат Δx и Δz и выдает на приводы значения скоростей изменения длин звеньев шарнирной фермы, чтобы компенсировать эту разницу и вернуться на заданную траекторию.

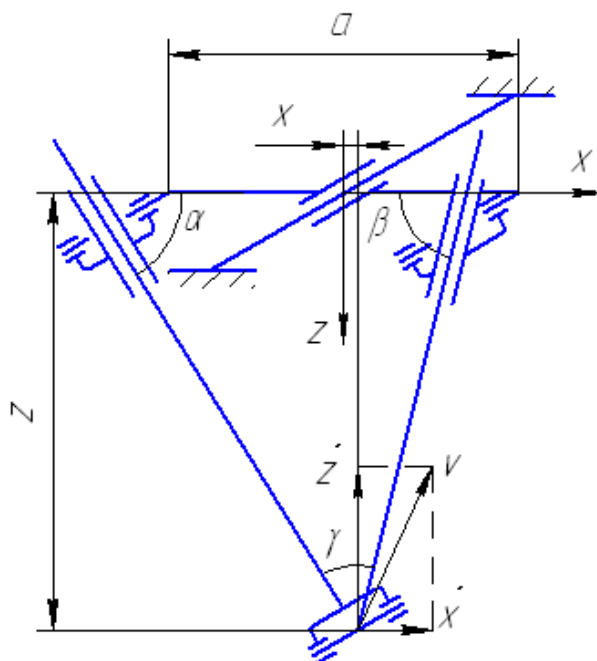


Рис. 1. Структурная схема манипулятора

Управление производится независимо по обеим координатам в соответствии с графиком траектории движения рабочего органа (рисунок 3). Определим фактические координаты рабочей точки в зависимости от постоянного параметра a и углов между звеньями шарнирной фермы (рисунок 1). Из рассмотрения геометрических параметров шарнирной фермы получаем следующие выражения.

$$x_{\Phi} = \frac{a \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta} \text{ или } x_{\Phi} = \frac{a \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta}{\sin \gamma}, \quad (1)$$

$$z_{\Phi} = \frac{a \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta} \text{ или } z_{\Phi} = \frac{a \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin \gamma}. \quad (2)$$

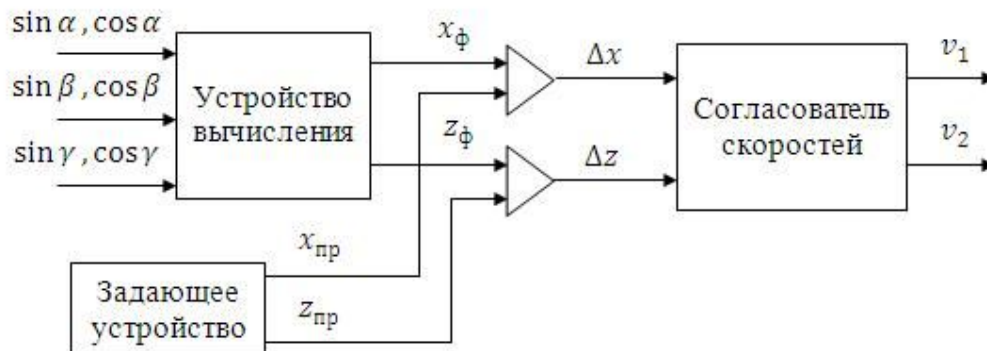


Рис. 2. Структурная схема системы управления

Рассмотрение уравнений 1 и 2 показывает целесообразность использования синусно-косинусных вращающихся трансформаторов (СКВТ) [1, 5].

Устройство вычисления можно организовать по-разному: программно или с помощью аппаратных средств. При аппаратной реализации необходимо минимум пять датчиков, которые в аналоговом виде будут осуществлять необходимые тригонометрические преобразования координат.

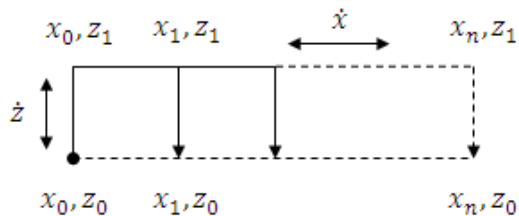


Рис. 3. Траектория движения рабочего органа манипулятора

Вычисления, осуществляемые в контроллере, будут минимальными и займут немного времени, но за счет использования большого количества датчиков это решение обойдется дороже. Для программной реализации необходимо всего два датчика: количество вычислений будет несколько больше, и соответственно, время на вычисления тоже увеличится. Однако на данном этапе не ясно, какой вариант будет обладать большим

быстродействием. В зависимости от предъявляемых к манипулятору требований, выбирается тот или иной вариант организации системы управления.

Граф рабочей операции при выполнении перегрузочных работ представлен на рисунке 3. Анализ показывает, что граф рабочей операции представляет собой набор прямолинейных траекторий, параллельных осям системы координат. В работе [5] шарнирная ферма переменной конфигурации использована для привода исполнительного механизма в виде механизма пантографа, и система согласования сигналов показана на рисунке 4. На входы СКВТ подаются напряжения U_a , пропорциональные значению параметра a . После необходимых тригонометрических преобразований полученные значения напряжения $U_{x\Phi}$ и $U_{z\Phi}$, соответствующие фактическим координатам рабочей точки, сравниваются с

программными напряжениями. Сформированные сигналы ошибки $U_{\Delta x}$ и $U_{\Delta z}$ используются для подачи управляющих импульсов на приводы звеньев исполнительного устройства.

В связи с тем, что мы имеем исполнительный механизм параллельной структуры, необходимо согласовать работу двух приводов, т.е. согласовать их скорости. Разложим произвольно направленный вектор скорости рабочей точки $\vec{v}$ (см. рисунок 1) на составляющие по соответствующим осям координат $\dot{x}$ и $\dot{z}$. Переменную длину левого и правого звеньев обозначим S_1 и S_2 соответственно. Тогда, согласно работе [3], получаем следующие зависимости для скоростей линейных приводов:

$$\dot{S}_1 = \dot{x} \cdot \cos \alpha + \dot{z} \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

$$\dot{S}_2 = -\dot{x} \cdot \cos \beta + \dot{z} \cdot \sin \beta. \quad (4)$$

На основании системы из четырех приведенных выше равенств можно реализовать систему управления для манипулятора с исполнительным механизмом в виде шарнирной фермы переменной конфигурации с электромеханическим или гидравлическим приводом.

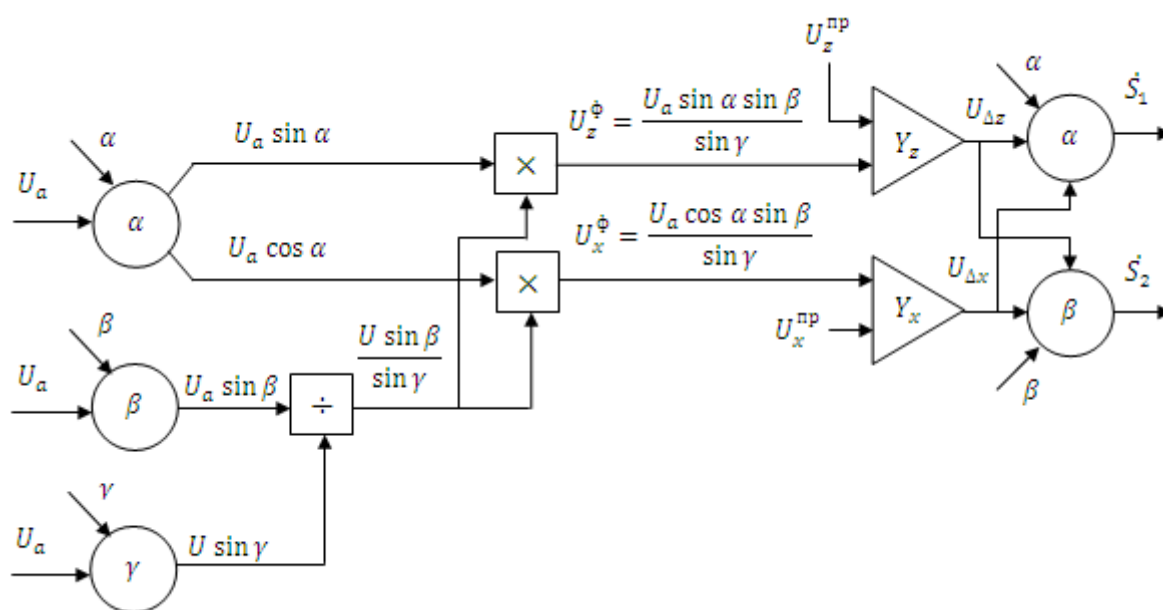


Рис. 4. Схема аппаратной реализации системы управления шарнирной фермой переменной конфигурации

ЛИТЕРАТУРА:

1. Баканов М.В. Информационные микромашины следящих и счетно-решающих систем / М.В. Баканов, В.А. Лыска, В.В. Алексеев. – Москва: Советское радио, 1977. – 88 с.
2. Жавнер В.Л. Погрузочные манипуляторы / В.Л. Жавнер, Э.И. Крамской. – Ленинград: Машиностроение, 1975. – 159 с.
3. Жавнер В.Л. Роботы и манипуляторы для погрузочно-разгрузочных работ: дис. ... докт. техн. наук / В.Л. Жавнер. – Санкт-Петербург, 1992. – 535с.
4. Корендяев А.И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. /А.И. Корендяев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес. – Москва: Наука, 2006. – Кн.1.
5. Манипуляционные системы роботов / А.И. Корендяев [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1989. – 472 с.
6. Тывес Л.В. Механизмы робототехники: Концепция развязок в кинематике, динамике и планировании движений / Л.В. Тывес. – Москва: ЛЕНАНД, 2014. – 208 с.

Сведения об авторах

Жавнер Виктор Леонидович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: VJavner@inbox.ru

Никитина Ксения Валерьевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: аспирант
Электронная почта: kasandra37@mail.ru

УДК: 621.7.077

Зиеп Хоанг Фи, А.Б. Смирнов

ДВУХКООРДИНАТНЫЙ СТОЛИК С ПЬЕЗОПРИВОДОМ

Аннотация. Цель работы - разработка двухкоординатного столика с пьезоприводом, имеющего простую конструкцию, низкую стоимость и возможность корректировки углового смещения при помощи управляющих сигналов. Рассмотрены конструктивные схемы и математические модели столика в квазистатическом режиме.

Ключевые слова: двухкоординатный столик, точное позиционирование, микрообъекты, биморфные пьезоэлектрические актюаторы.

Двухкоординатный столик с пьезоприводом предназначен для точного позиционирования микрообъектов (до 0,1 мкм) и может быть использован при биологических исследованиях с использованием микроскопов. Такие устройства имеют сложную конструкцию, высокую стоимость из-за высокоточного изготовления деталей. Предлагается создать мехатронный столик простой конструкции, в котором погрешности изготовления элементов конструкции компенсировались бы управляющими сигналами, подаваемыми на пьезоактюаторы.

В него входят (рис. 1 и рис. 2) биморфные пьезоэлектрические актюаторы (БПА) 1, 2 и 3, 4 закреплены консольно на основании 5 и контактируют выступами свободных концов со столиком 6. Пружина 7, выполненная, например, в виде упругого тонкого кольца, прижимает столик 6 к выступам БПА 1, 2. На основании закреплены датчики перемещения 8 и 9, которые определяют положение столика 6 по оси Y , а также датчик перемещения 10, определяющий положение столика по оси X .

Столик 6 установлен на шариках 11, которые находятся на плоскости основания 5. Шарик 11 находится в гнездах плоского сепаратора 12, который предотвращает их раскатывание. Прижим столика 6 к основанию 5 осуществляется, например, при помощи постоянного магнита 13, закрепленного в основании 5.

Рассмотрим перемещение столика по оси Y при одновременной подаче напряжения U_1 и U_2 на БПА 1 и 2. При подаче напряжения U_1 свободный конец БПА 1 (без столика) перемещается на величину ξ_0 :

$$\xi_0 = A \cdot U_1, \quad (1)$$

где

$$A = \frac{3}{4} \cdot \frac{d_{31} \left[\left(h_p + \frac{h_M}{2} \right)^2 - \frac{h_M^2}{4} \right] l^2}{\left[E_M s_{11}^E \frac{h_M^3}{8} + \left(h_p + \frac{h_M}{2} \right)^3 - \frac{h_M^3}{8} \right] h_p},$$

E_M – модуль упругости средней пассивной части (рессоры) БПА, s_{11}^E – податливость пьезокерамики, d_{31} – пьезомодуль, h_M и h_p – толщина рессоры и пьезоэлектрического элемента соответственно, b – ширина БПА.

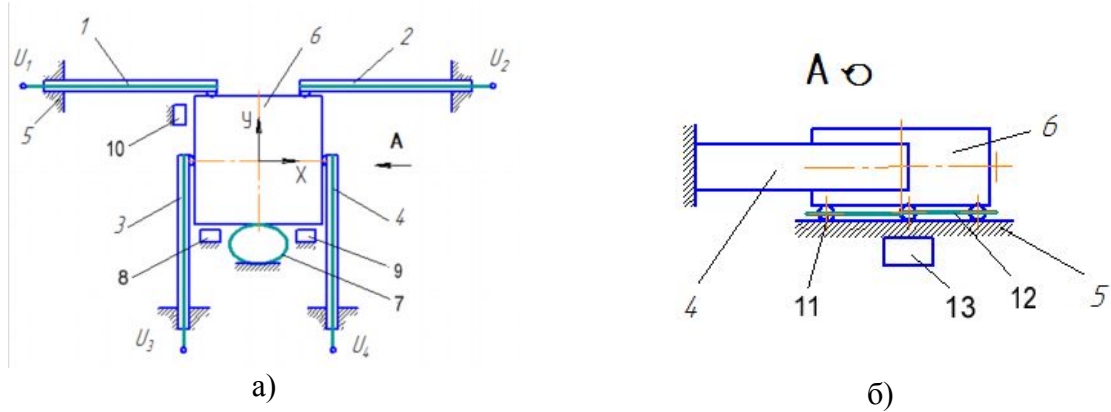


Рис. 1. Схема двухкоординатного столика: а) вид сверху, б) вид по стрелке А

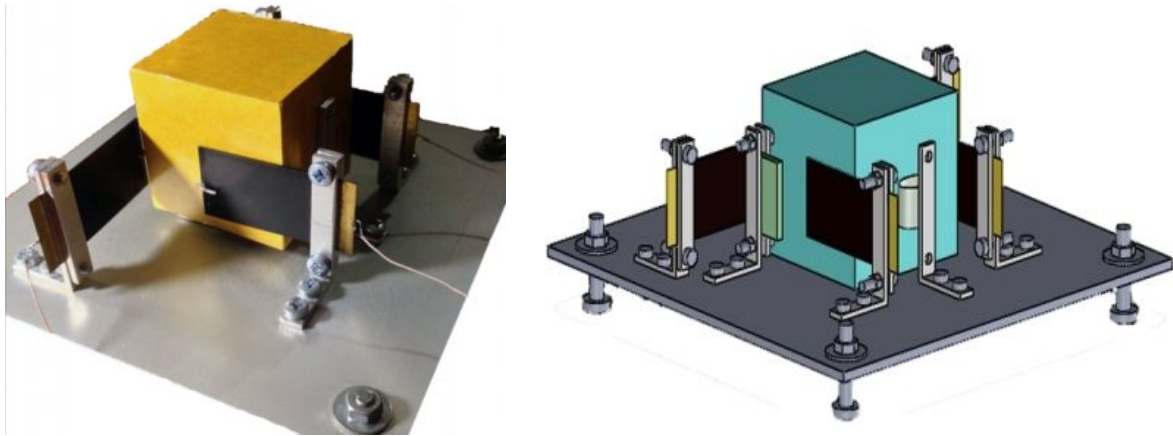


Рис. 2. Действующий макет и 3-D модель двухкоординатного столика

Условно будем считать, что перемещение $\xi_0 > 0$ в случае, когда свободный конец БПА 1 перемещается вниз (рис. 1), что соответствует напряжению $U_1 > 0$. Аналогично перемещению $\xi_0 < 0$ соответствует напряжению $U_1 < 0$. Для остальных БПА также будет справедливо (1), то есть: $\xi_0 = A \cdot U_i$, где $i = 1, 2, 3, 4$.

Для того, чтобы восстановить первоначальное положение свободного конца БПА 1, нужно приложить блокирующую силу F_0 , которую можно найти из формулы, определяющей перемещение консольно закрепленной упругой балки под действием силы F_0 :

$$\xi_0 = \frac{F_0 \lambda l^3}{3}, \quad (2)$$

где λ – податливость поперечного сечения БПА, являющаяся обратной величиной жесткости поперечного сечения БПА, она определяется из:

$$\lambda = \frac{12}{b \left\{ E_M h_M^3 + 2 \frac{h_P^3}{S_{11}^E} \left[1 + 3 \left(1 + \frac{h_M}{h_P} \right)^2 \right] \right\}}.$$

Если $U_1 = U_2$, то перемещение по оси Y с учетом (1) и (2) будет иметь вид

$$\xi_y = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\lambda l^3 c}{6}}. \quad (3)$$

Из графиков, построенных на основании формулы (3), на рис. 3, а и 3, б видно, что перемещение столика ξ по оси Y прямо пропорционально приложенному напряжению U_1 и U_2 при одинаковом значении приложенного напряжения, перемещение столика без пружина всегда больше, чем при наличии пружина за счет влияния жесткости пружины.

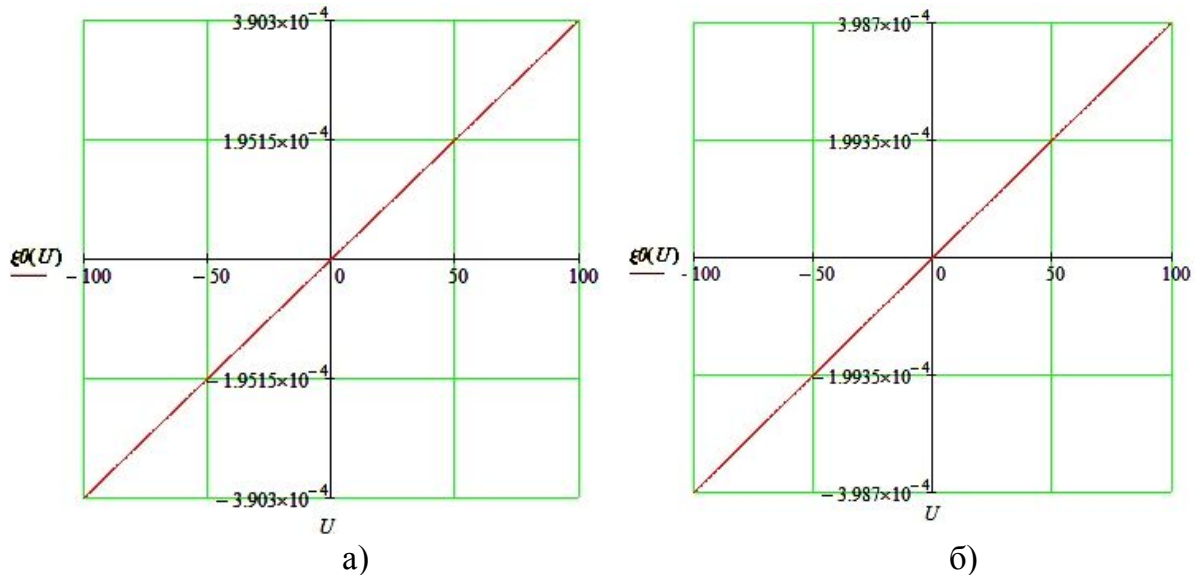


Рис. 3. Зависимость перемещения ξ_Y (м) от приложенного напряжения (В):
а) при наличии пружины (при $c = 150$ Н/м) б) U без пружины

Если $U_1 \neq U_2$ кроме перемещения вдоль оси Y возникает угловое перемещение α столика в плоскости XY , график показан на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что угол поворота столика α прямо пропорционален отклонению напряжений U_1, U_2 на БПА 1, 2 и не зависит от значения приложенного напряжения U_1 .

Рассмотрим перемещение столика по X при подаче напряжения U_3 и U_4 на БПА 3 и 4.

Учитывая принцип суперпозиции в линейных системах, при одновременной подаче напряжения U_3 и U_4 перемещение столика по оси X определяется выражением

$$\xi_x = \frac{A}{2}(U_3 + U_4). \quad (4)$$

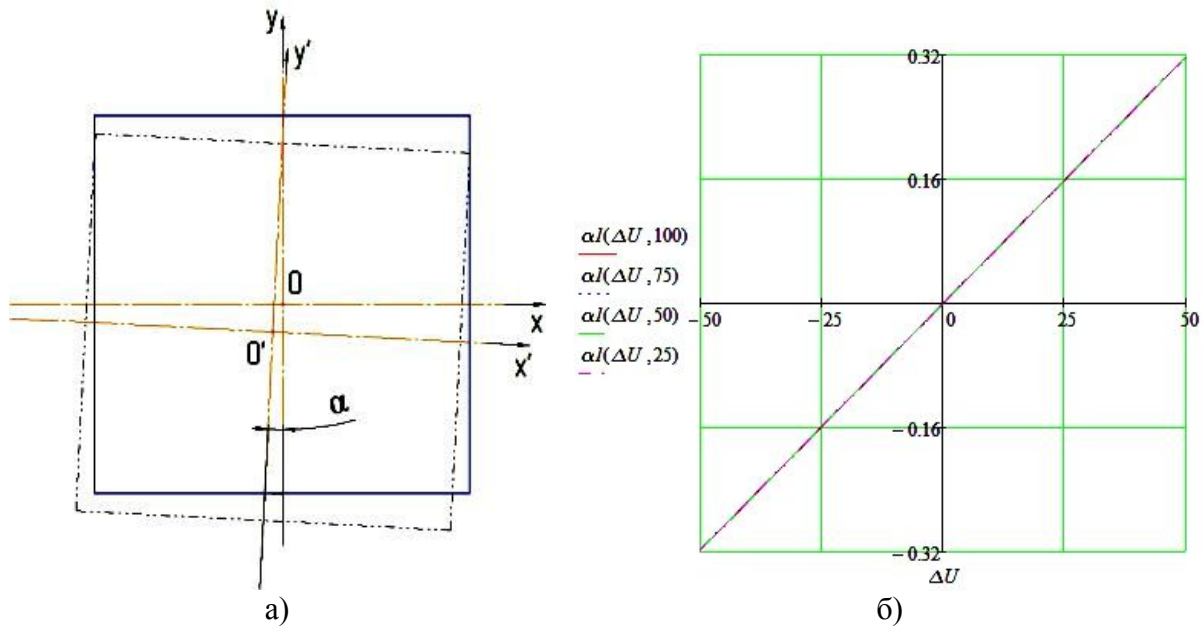


Рис. 4. Поворот столика при подаче $U_1 \neq U_2$: а) схема, б) зависимость α (град.) от ΔU (В)

Предположим, что свободные концы БПА 3 и 4 контактируют со столиком при $U_3 = U_4 = 0$. В частности, при $U_3 = U_4 > 0$ (или $U_3 = U_4 < 0$) перемещение столика ξ_X будет иметь вид как в случае без пружины (рис. 3, б). При $U_3 = -U_4$ столик останется на месте. На рис. 6 показана зависимость перемещение столика ξ_X от напряжения U_4 , на рис. 7 – от напряжения U_3 , рассчитанные при помощи формулы (4).

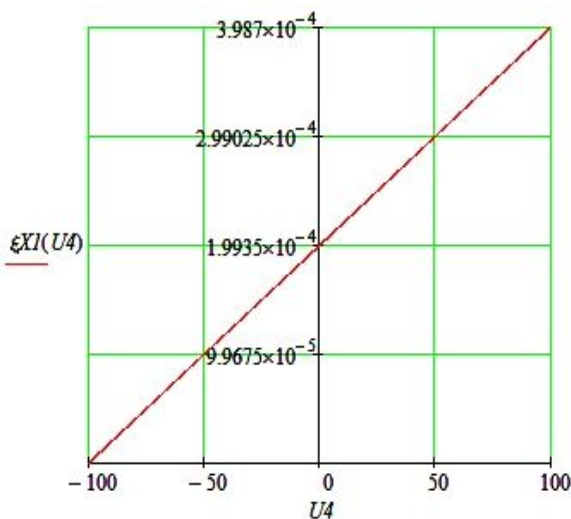


Рис. 6. Зависимость перемещения столика ξ_X (м) от напряжения U_4 (В) при фиксировании значения $U_3 = U_{\max}$

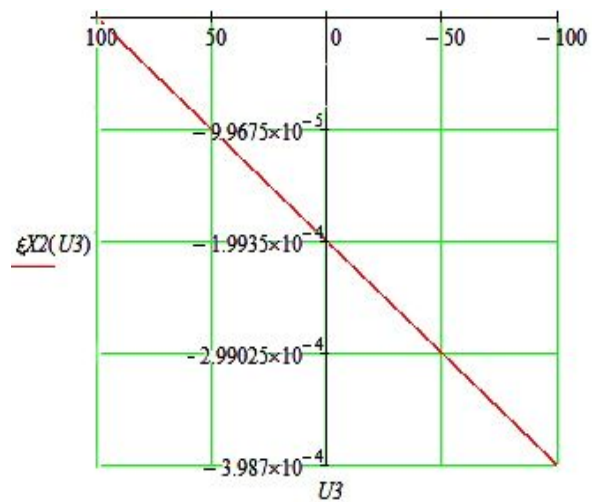


Рис. 7. Зависимость перемещения столика ξ_X (м) от напряжения U_3 (В) при фиксировании значения $U_4 = -U_{\max}$

Таким образом, полный диапазон перемещения столика по оси X достигается поочередным изменением напряжений U_3 и U_4 .

Разработанные математические модели столика позволяют создать алгоритмы управления перемещениями столика по двум координатам, а также сформулировать требования к системе управления для коррекции поворота столика.

Сведения об авторах

Зиенг Хоанг Фи

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: аспирант

Электронная почта: longhoang1791986@yahoo.com

Смирнов Аркадий Борисович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., доцент

Должность: профессор

Электронная почта: 123smirnov@list.ru

УДК: 621.7.077

Зиенг Хоанг Фи, Э.Ю. Егорова, А.Б. Смирнов

ИССЛЕДОВАНИЕ БИМОРФНЫХ ПЬЕЗОАКТЮАТОРОВ ДВУХКООРДИНАТНОГО СТОЛИКА

Аннотация. Цель работы – экспериментальное определение характеристик биморфных пьезоактюаторов двухкоординатного столика с параллельной кинематикой. Были определены зависимости микроперемещений пьезоактюаторов в квазистатическом режиме. Сделаны выводы по результатам экспериментов.

Ключевые слова: пьезопривод, двухкоординатный столик, пьезоактюаторы, микроперемещения.

Установка (рис. 1) представляет собой комплекс для исследований микроперемещений, состоящий из микроскопа 1, с помощью которого можно исследовать микроперемещения биморфных пьезоэлектрических актюаторов (БПА) и двухкоординатного столика 2, который установлен на установочной плите 3. Для исследования микроперемещений БПА подключены к регулируемому источнику напряжения 4. Изображение конца БПА 5 выводится на монитор 6, которое получается помощью видеокамеры 7. Для повышения качества изображения используется подсветка – лампа 8 с регулятором освещения 9.

Были исследованы четыре одинаковых БПА, с помощью которых при подаче напряжения совершаются микроперемещения подвижной платформы двухкоординатного столика с параллельной кинематикой. БПА 1 (рис. 2) крепится на опоре 2, установленной на основании столика, и затягивается с помощью пластины 3 винтами 4.

При исследовании микроперемещений произведен ряд опытов с БПА при изменении напряжения от -100 В...+100 В с шагом 10 В. В качестве БПА были использованы пьезоактюаторы фирмы APC (Stripe Actuator №40-2020 <https://www.americanpiezo.com/standard-products/stripe-actuators.html>). Первые результаты были не достоверными и имели большой разброс значений. Чтобы получить более точные результаты, потребовалось несколько раз сделать пробных прогонов. Начиная с третьего раза, были получены достоверные значения перемещений. Были исследованы четыре БПА.

Проделав несколько опытов с БПА 1 и БПА 2, можно было заметить, что значения перемещений отличаются на малую величину, что видно из графиков, представленных на рисунках 3 и 4.

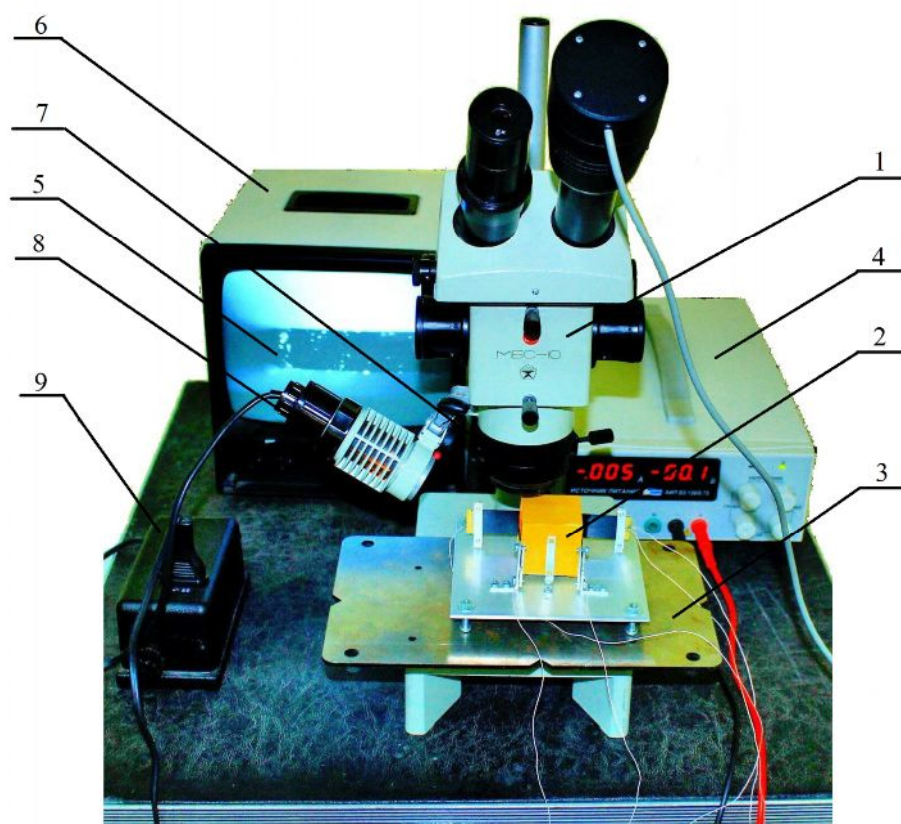


Рис. 1. Экспериментальная установка:

1 – микроскоп, 2 – двухкоординатный столик, 3 – установочная плита,
4 – регулируемый источник напряжения, 5 – изображение, 6 – монитор,
7 – видеокамера, 8 – лампа, 9 – регулятор освещения

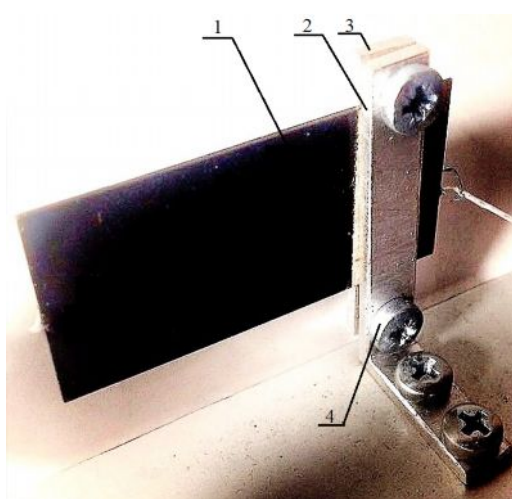


Рис. 2. Крепление БПА: 1 – БПА, 2 – опора, 3 – пластина, 4 – винты

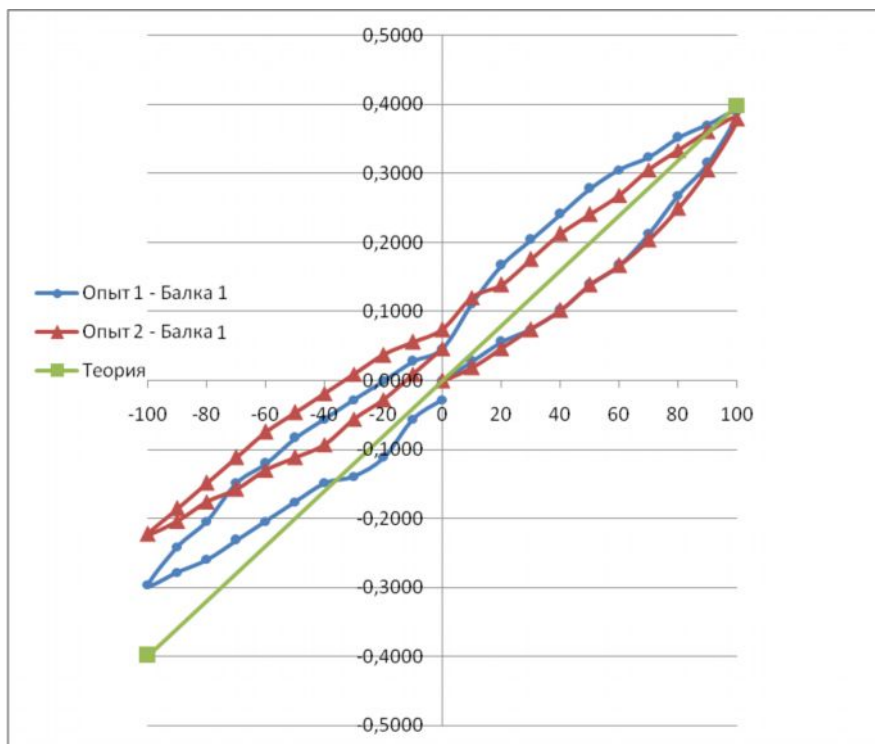


Рис. 3. Зависимость микроперемещения (мм) для БПА 1 от напряжения (В)

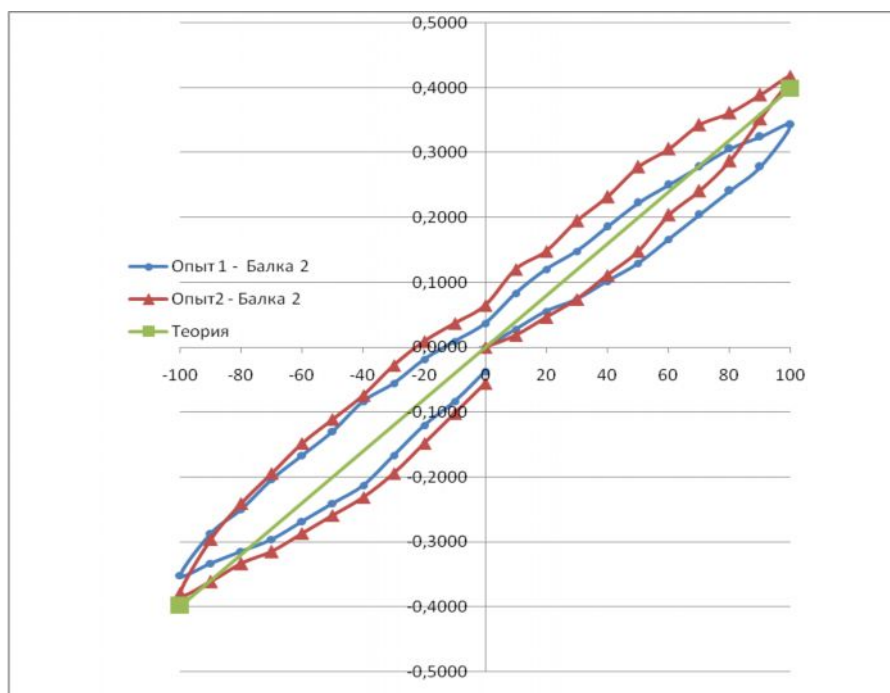


Рис. 4. Зависимость микроперемещения (мм) для БПА 2 от напряжения (В)

Из рисунков видно, что значения перемещения в проведенных опытах отличаются на величину не более 25%. График для БПА 2 отличается от графика для БПА 1 из-за разного усилия затяжки опор пластины винтами.

Результаты экспериментальных исследований сравнивались с расчетными значениями микроперемещений.

При подаче напряжения U_I в квазистатическом режиме свободный конец БПА I (без столика) перемещается на величину ξ_0 , которую можно определить по формуле [1]:

$$\xi_0 = A \cdot U_I, \quad (1)$$

$$A = \frac{3}{4} \cdot \frac{d_{31} \left[\left(h_p + \frac{h_M}{2} \right)^2 - \frac{h_M^2}{4} \right] l^2}{\left[E_M s_{11}^E \frac{h_M^3}{8} + \left(h_p + \frac{h_M}{2} \right)^3 - \frac{h_M^3}{8} \right] h_p},$$

где

E_M – модуль упругости средней пассивной части (рессоры) БПА, s_{11}^E – податливость пьезокерамики, d_{31} – пьезомодуль, h_M и h_p – толщина рессоры и пьезоэлектрического элемента соответственно, b – ширина БПА ($U_I = 100$ В, $E_M = 0,22 \cdot 10^{11}$ Па, $s_{11}^E = 17 \cdot 10^{-12}$ Па $^{-1}$, $d_{31} = 550 \cdot 10^{-12}$ м/В, $h_M = 0,16 \cdot 10^{-3}$ м, $h_p = 0,24 \cdot 10^{-3}$ м, $b = 20 \cdot 10^{-3}$ м, $l = 3 \cdot 10^{-2}$ м).

На графиках (рис. 3 и 4) кроме экспериментальных данных показаны линейные зависимости, рассчитанные по формуле (1).

Выводы:

В результате исследования получены зависимости микроперемещений от напряжения в диапазоне -100 В ... +100 В с шагом 10 В для ряда БПА и были сделаны следующие выводы:

- Для получения достоверных значений микроперемещения исследуемого объекта в зависимости от подаваемого напряжения, необходимо несколько раз сделать пробных заходов, тогда возможность получения более точных перемещений будет существенно больше.

- На точность перемещений и амплитуду перемещений сильно влияет сила затяжки опор (до 20%), на которых крепится БПА, поэтому стоит учитывать этот момент.

- Экспериментальные и теоретические значения имеют близкие значения (до 15%), что подтверждает правильность теоретических вычислений и экспериментального исследования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Смирнов А.Б. Элементная база автоматических машин и оборудования. Мехатронные модули микроперемещений технологических машин: Учеб. пособие. – СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 172 с. <http://elibrary.spbstu.ru/dl/2/3878.pdf/view>

Сведения об авторах

Смирнов Аркадий Борисович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., доцент

Должность: профессор

Электронная почта: 123smirnov@list.ru

Зиенг Хоанг Фи

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: аспирант

Электронная почта: longhoang1791986@yahoo.com

Егорова Эльвира Юрьевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: elvira.lk@mail.ru

УДК 620.1.052.4

А.Н. Попов, В.В. Кузнецова, Ю.В. Никитина

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ УДАРНЫЙ СТЕНД

Аннотация. Проведен структурный и параметрический анализ пневматических испытательных стендов, предназначенных для физического моделирования однократных и многократных ударов. Компьютерное моделирование структуры и влияния конструктивных параметров на выходные технические характеристики стендов выполнено в системе показателей качества: частота, грузоподъемность, высота подъема, расход и давление воздуха в магистрали и ряда других.

Ключевые слова: ударный испытательный стенд, структурный и параметрический анализ, компьютерное моделирование, пневматика, рекомендации.

Единственный путь получения объективной информации о поведении изделий при эксплуатации, транспортировании и хранении - физическое моделирование этих процессов с записью фактических значений параметров изделий в процессе испытаний и после них [1]. Физическое моделирование выполняется посредством испытаний на разных стадиях производства. Большинство ответственных изделий проходят такие комплексные испытания [2, 3]. Пневматические ударные стенды относятся к оборудованию, предназначенному для механических испытаний согласно ГОСТ 28215-89. Актуальность проведения испытаний на пневматических стендах, равно как и их исследования обусловлены широкими возможностями этого типа оборудования, быстрым совершенствованием элементной базы пневматики и отсутствием теоретических рекомендаций по синтезу оборудования данного типа.

Пневматические стенды позволяют моделировать многократные удары с небольшими ускорениями, которые при типовых испытаниях лежат в диапазоне 5...50g, при частоте - 0,5...2 Гц и длительности - 5...50 мс. Цикл испытаний обычно составляет несколько тысяч ударов и длится от десятков минут до нескольких часов.

Современные пневматические ударные стенды пришли на смену электромеханическим ударным машинам кулачкового типа, поскольку они имеют существенно лучшие регулировочные характеристики и диапазоны воспроизводимых параметров. В режиме одиночного удара с ускорителями пневматические стенды приближаются к копрам свободного падения.

Требуемую форму ударных импульсов из-за их малой длительности удается получить только за счет применения специальной оснастки и формователей (прокладок, крешеров, демпферов), размещаемых либо на столе ударного стенда, либо на наковальне.

В настоящее время пневматические стенды с грузоподъемностью от 50 до 500 кг выпускаются компаниями Lansmont Corporation (США), TIRA GmbH Vibration Test Systems, KNAUER ENGINEERING (ФРГ), Sonic Dynamics (КНР), а также по лицензии компаниями ENVIRONMENT EQUIPMENTS, DESPL, Vibration & Shock Technologies (Индия). Серийные пневматические ударные стенды показаны на рис. 1.

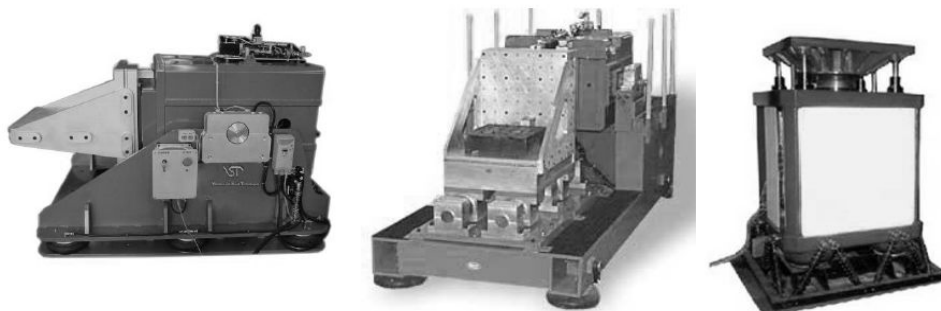


Рис. 4. Пневматические ударные стенды

Принцип действия пневматических ударных стендов иллюстрирует кинематическая схема, приведенная на рис. 2.

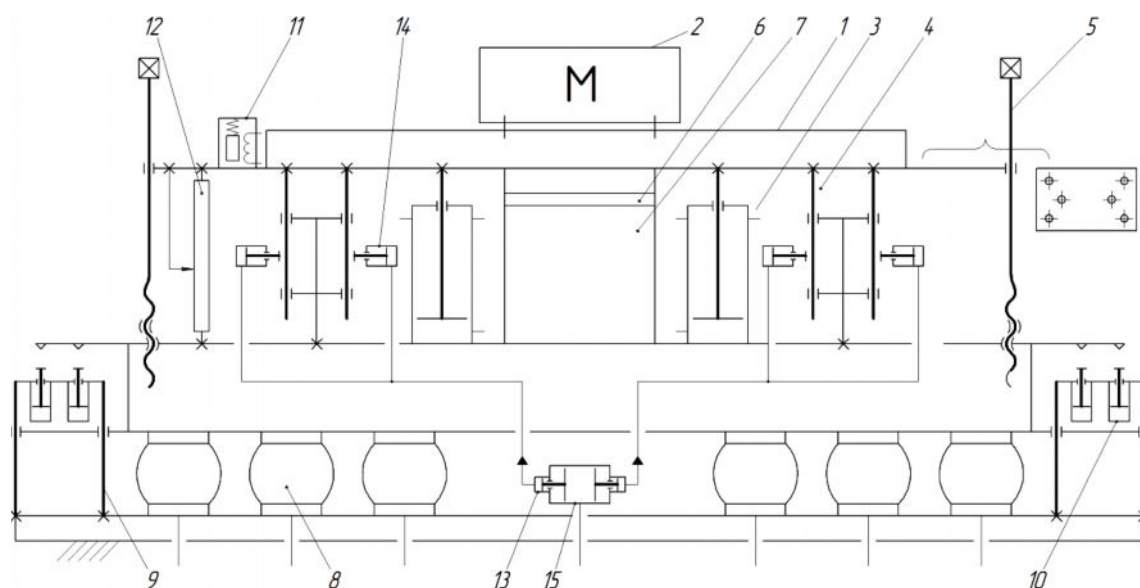


Рис. 5. Кинематическая схема пневматического ударного стенда

Схема обеспечивает подъем стола 1 с закрепленным на нем изделием 2 на заданную высоту, определяемую параметрами испытания, и последующее свободное падение стола на наковальню 7. Ударный импульс обеспечивается за счет формователя 6. Подъем стола по четырем направляющим 4 обеспечивают два пневматических цилиндра 3. Высота подъема задается с помощью регулируемых упоров 5 и контролируется датчиком 12. Акселерометр 11 позволяет записать фактический закон изменения ускорения во время удара. Для устранения колебаний стола в результате многократных отскоков в режиме одиночного удара и для остановки стола на нужной высоте в режиме ручного управления используются гидравлические тормоза 14, работающие от пневматического мультипликатора 13, 15. Уменьшение воздействия стенда на окружающее оборудование обеспечивается массивной станиной, находящейся в соотношении к падающему грузу 10:1. Станина установлена на пневматических подушках 8. Раскачка станины на подушках гасится гидравлическими демпферами 10 [4].

Для определения конструктивных параметров стенда, таких как схема привода и типоразмер подъемных цилиндров, тип коммутирующей и распределительной пневматической арматуры, сечение и оптимальная длина подводных трубопроводов и т. п.,

необходимы теоретические зависимости, связывающие основные параметры стенов. Сегодня такие зависимости в технической литературе не приводятся. Для решения этой задачи в работе выполнено компьютерное моделирование. Достаточный для моделирования расчетный пакет предоставляет компания SMC – один из мировых лидеров в производстве пневмооборудования и средств автоматизации [5], рис. 3.

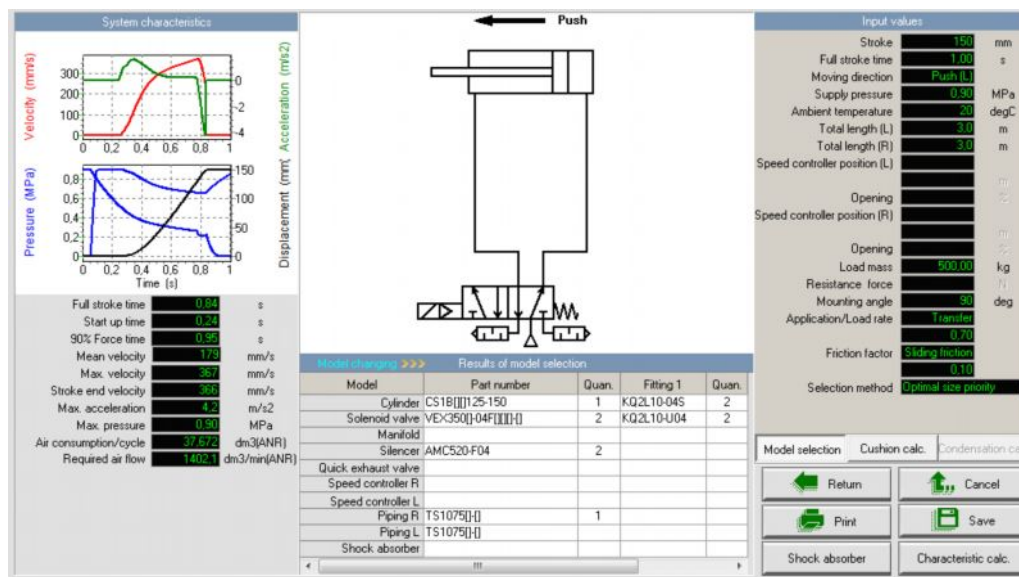


Рис. 3. Расчетное окно программы Model Selection Program Ver3.5

Принцип суперпозиции позволяет рассматривать привод стола от одного цилиндра. Структурный анализ показал, что максимальную частоту обеспечит схема привода, показанная на рис. 3.

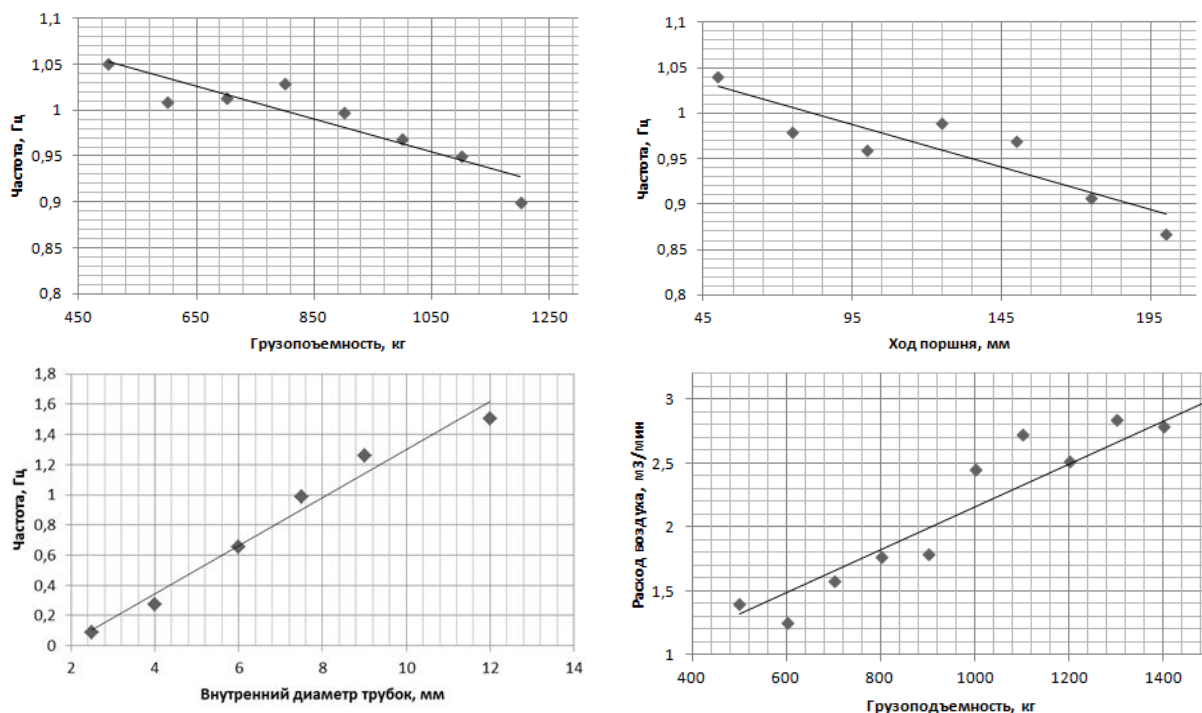


Рис. 4. Результаты компьютерного моделирования

На рисунке 4 представлены отдельные результаты расчетов. Важными являются результаты, полученные при грузоподъемности стендов более 600 кг, поскольку такие стенды не выпускаются серийно, а представляют собой оригинальные конструкции, выпускаемые "под заказ". Расчеты показывают, что на стандартной пневматической арматуре, только на пределе удастся достичь типовой для испытаний частоты в 1 Гц, при этом существенно уменьшается ход поршня и увеличивается расход воздуха. Основным ограничением в этом случае является пропускная способность стандартного пневмооборудования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ударный стенд свободного падения. Тимофеев А.Н., Попов А.Н., Полищук М.Н. Современное машиностроение. 2013. №3. С. 247-255.
2. Челпанов И.Б. Автоматические технологические машины и оборудование. Испытания машин: Учеб. пособие / под. ред. д-ра техн. наук. проф. В.Л. Жавнера. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 296 с.
3. Sonic Dynamics. Руководство пользователя. Пневматический стенд.
4. А.Н. Попов, А.Н. Тимофеев. Патент на полезную модель. "Стенд для ударных испытаний" №145751 от 16.04.2014.
5. SMC Pneumatic Model Selection Program Ver3.5.

Сведения об авторах

Попов Аркадий Николаевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., доцент

Должность: профессор

Электронная почта: popov@sntspb.ru

Кузнецова Валерия Вячеславовна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: valeri-kuznecova@mail.ru

Никитина Юлия Валерьевна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: yv-nikitina@yandex.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБКАТНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ СПОСОБОМ СОПРЯЖЕНИЯ

Аннотация: В работе предложен способ проектирования обкатных инструментов с ребрами возврата, названный способом сопряжения. Рассмотрены недостатки минимаксного способа при профилировании таких инструментов. Описана сама идея предложенного способа. Рассмотрен алгоритм расчета профиля инструмента. Приведен пример обработки способом сопряжения эвольвентного профиля долбяком. Выделены особенности, предложенного способа.

Ключевые слова: обкатной инструмент, траектория, эвольвентный профиль.

Минимаксный способ [1] при построении профилей с ребрами возврата иногда работает неустойчиво. Конечно, можно поставить вопрос и так: если профиль имеет вышеуказанные особые точки, то он не имеет никакой практической ценности и нет смысла его строить вообще. Наличие таких точек говорит лишь о том, что выбран неудачный набор станочных наладок и их надо изменить, тем более что наличие самопересечений и ребер возврата можно определить даже и без построения профиля, увидев лишь взаимное расположение всех траекторий, которые всегда выводятся на экран перед решением самой задачи.

Цель исследования: разработка способа профилирования обкатных инструментов, позволяющего проектировать сложнопрофильные инструменты [2], имеющие ребра возврата.

Задачи исследования: разработка метода аппроксимации при построении аппроксимирующей окружности; описание алгоритма проектирования инструмента способом сопряжения.

Классические методы профилирования «отрабатывают» все профили [1], в том числе и с особыми точками. Поскольку предлагается новый метод профилирования, то он не должен уступать по своим возможностям существующим. Кроме того, построение профиля с особыми точками может представлять для кого-то и теоретический интерес. Учитывая вышесказанное, был предложен еще один способ, названный способом сопряжения.

В этом способе также первым начинает работу блок построения первой аппроксимирующей окружности [3], касающейся первых трех траекторий. Но если в минимаксном способе она отыскивалась с помощью метода квадратичной аппроксимации, то в этом способе для этих целей разработан уже другой алгоритм.

Собственно сам способ сопряжения начинает свою работу с четвертой траектории и принципиально отличается от минимаксного способа поиска экстремальных точек [4]. Начинаем обрабатывать новую триаду траекторий, при этом координаты центра и найденные (рис. 1) координаты профиля на двух последних траекториях предыдущей триады становятся координатами центра и профиля двух первых траекторий в следующей триаде траекторий, т.е. каждая триада также смещается на одну последующую траекторию. В каждом новом цикле будем найденные и отыскиваемые точки на траекториях нумеровать как 1, 2 и 3 (рис. 1). Поскольку три первые траектории уже обработаны в блоке построения первой окружности, то таких циклов будет $N-3$, где N - количество траекторий.

Основная идея этого способа состоит в том, что после вычисления координат центра C_2 для двух первых предыдущих точек (рис. 1), центр C_3 аппроксимирующей окружности для

новой точки 3 отыскивается на прямой, соединяющей точку 2 с центром C_2 , чем обеспечивается плавность сопряжения предыдущей окружности с вновь отыскиваемой окружностью. Точка 3 отыскивается путем изменения угла обката φ .

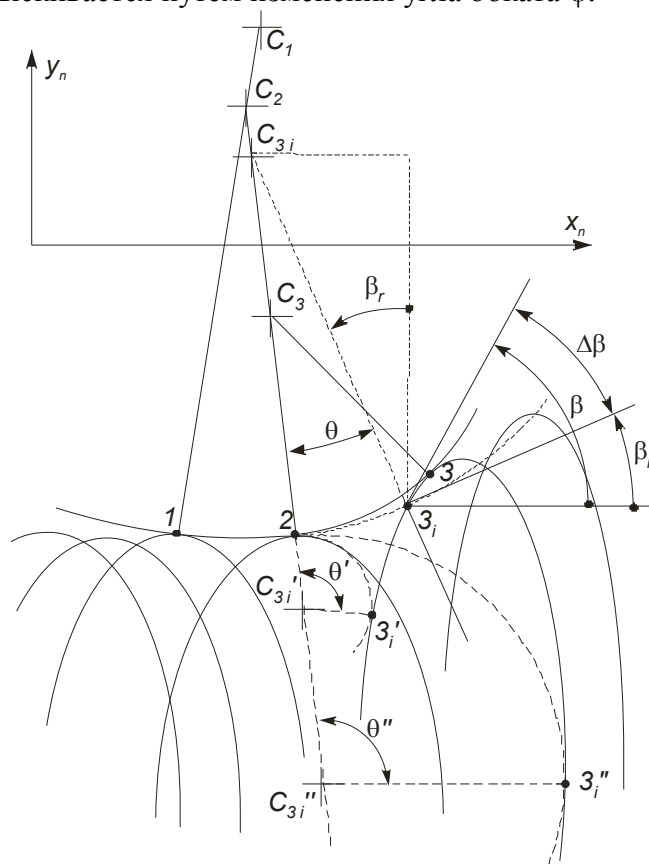


Рис. 1. Координаты центра триады траекторий

Присвоим углу φ некоторое начальное значение. Пусть при этом текущая точка на третьей траектории триады окажется в положении 3_i (рис. 1). Обозначим угол наклона касательной к траектории в этой точке как β , угол наклона касательной к окружности (показана штриховой линией) с центром C_{3i} и проходящей через точки 2 и 3_i как β_r . При этом центр C_{3i} для обеспечения плавности сопряжения смежных окружностей должен находиться, как уже отмечалось выше, на прямой, соединяющей точку 2 с центром C_2 предыдущей окружности. На рисунке сейчас эта окружность пересекает траекторию в точке 3_i . Чтобы добиться плавного касания этой окружности с траекторией в точке 3, необходимо добиться совпадения этих касательных. Это произойдет, когда разность между этими углами $\Delta\beta = \beta - \beta_r$ будет равна нулю. Т.о, задача сводится к варьированию угла обката φ , от которого и зависит положение точки 3_i , до тех пор, пока $\Delta\beta$ не станет равным нулю и точка 3_i не окажется в положении 3.

Этот способ хотя и немного сложнее минимаксного, зато более устойчиво обрабатывает нетривиальные профили с ребрами возврата. Продemonстрируем это на примере синусоидального профиля зуба колеса при нарезании его долбяком, который, как известно, более склонен к подрезанию ножки зуба колеса и образованию ребер возврата (рис. 2, а). Для каждой точки профиля на экран выводятся окончательные значения углов φ , θ , β . Для перехода к решению этой обкатной задачи достаточно только заменить функцию преобразования рейки на аналогичную функцию долбяка.

Приведем пример обработки способом сопряжения эвольвентного профиля [5] долбяком при количестве точек $N=20$, передаточном отношении $i_{10}=0,8$ и радиусе начальной

окружности колеса $r_{wl}=12$ мм (рис. 2, б). Как и следовало ожидать, профиль зуба долбяка приобрел форму эвольвенты.

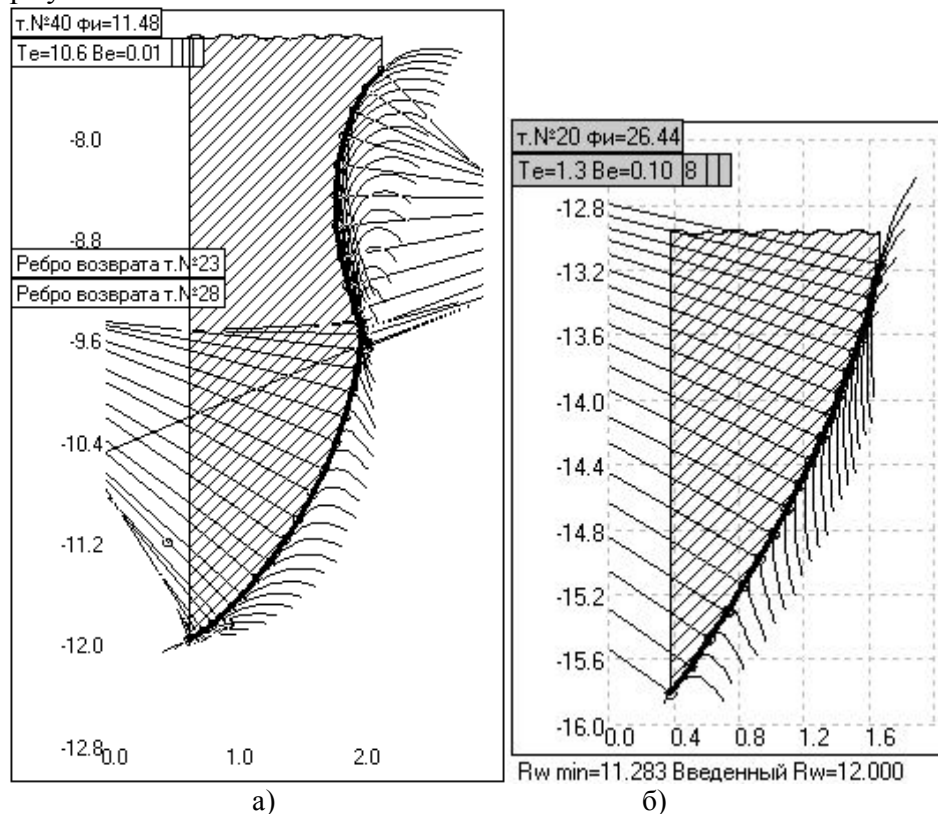


Рис. 2. а) Ребра возврата; б) Обработка способом сопряжения эвольвентного профиля долбяком

Вывод: способ сопряжения позволяет профилировать инструменты, имеющие ребра возврата.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Панкратов Ю.М. Профилирование обкатных инструментов. СПб.: Политехника-сервис, 2010. 158 с.
2. Фрайфельд И.А. Инструменты, работающие по методу обкатки. Л.: Машгиз, 1948. 252 с.
3. Панкратов Ю.М. САПР режущих инструментов. СПб.: Лань, 2013. 336 с.
4. Лашнев С.И., Юликов М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. М.: Машиностроение, 1975. 391 с.
5. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. М.: Наука, 1968. 584 с.

Сведения об авторах

Панкратов Юрий Михайлович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., проф.

Должность: профессор кафедры «Станкостроение»

Электронная почта: mmfgak@mail.ru

Ворфаламеева Яна Юрьевна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: yinka@mail.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ОДНОМЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СТАНОЧНЫХ НАЛАДОК

Аннотация: Рассмотрены параметры, влияющие на профиль осевого сечения дискового инструмента. Определена оптимизационная задача. Для решения задачи использована целевая функция и ее весовые коэффициенты для частных критериев. Найден минимум целевой функции трехточечным методом одномерной оптимизации для конкретного случая. Даны выводы и рекомендации по применению целевой многокритериальной функции.

Ключевые слова: профилирование, дисковый инструмент, целевая функция, трехточечный метод.

Повышение требований к качеству инструмента его производительности и стойкости требуют от создателей усилий по поиску новых технических и технологических решений, методов оптимизации и разработки современных подходов к решению поставленных задач с использованием компьютерных средств.

Цель исследования: профилирование дисковых инструментов [1] для обработки винтовых стружечных канавок с использованием весовых коэффициентов для частных критериев в целевой функции.

Задачи исследования: определение критериев профиля осевого сечения инструмента; формулирование оптимизационной задачи; решение задачи с использованием целевой многокритериальной функции.

На профиль осевого сечения дискового инструмента, обрабатывающего винтовые канавки, влияют две станочные наладки [2]: угол ε доворота исходного профиля изделия в положение профилирования и угол γp разворота дискового инструмента. Таким образом, оптимизационная задача является двумерной. Ниже рассматривается одномерная оптимизация [3], поэтому одну из станочных наладок придется зафиксировать и варьировать другую [4]. Пусть для определенности фиксированной наладкой будет угол ε доворота, который примем равным $\varepsilon = -6^\circ$.

В качестве примера рассмотрим профилирование дискового инструмента с наружным радиусом $Ra0 = 40$ мм для обработки любых конволютных винтовых поверхностей кинематическим методом. Варьируемой наладкой станет угол разворота γp . Спрофилируем инструмент при введенном значении, например, $\gamma p = 19^\circ$ (рис. 1). Профильные углы левой стороны $\alpha_{лев} = 5,34^\circ$ и правой стороны $\alpha_{пр} = 6,55^\circ$ оказались разными, а радиус скругления $R2$ оказался равным $R2 = 3,46$ мм (рис. 1).

Приходится признать, что профиль оказался не очень удачным. Поскольку профильные углы $\alpha_{лев}$ и $\alpha_{пр}$ разные, то и нормальные задние углы у инструмента на боковых сторонах (если это дисковая фреза) будут разными, что приведет к меньшей стойкости боковой стороны с меньшим профильным углом. Для повышения общей стойкости фрезы необходимо стремиться, во-первых, к равенству этих углов, а, во-вторых, — к их увеличению. Но увеличение этих углов приведет к уменьшению радиуса скругления R_2 , что, в свою очередь, также приведет к уменьшению общей стойкости фрезы, поскольку при малых значениях R_2 уже вершина фрезы станет концентратором износа. Конечно, наилучшее соотношение этих значений зависит от материалов детали и инструмента, формы и размеров канавок, геометрии инструмента, режимов резания и многих других параметров, которые для каждого конкретного случая определяются или из накопившегося опыта или даже проведения стойкостных испытаний. Наша задача сейчас — сформировать целевую функцию F [4], которая позволила бы добиваться равенства углов $\alpha_{лев}$ и $\alpha_{пр}$ ($\alpha_{лев} = \alpha_{пр}$) и

равенства радиуса скругления R_2 требуемому значению радиуса R_t ($R_2 = R_t$). Таким образом, целевая функция F будет зависеть от двух, к тому же взаимопротиворечащих, критериев и задача становится к тому же еще и многокритериальной. Одним из способов решения таких задач является использование весовых коэффициентов для частных критериев [5], позволяющих регулировать их вес в результирующей целевой функции. Составим целевую функцию $F = |\alpha_{лев} - \alpha_{пр}| \cdot W_\alpha + |R_2 - R_t| \cdot W_R$, где W_α — весовой коэффициент критерия равенства углов ($\alpha_{лев} = \alpha_{пр}$); W_R — весовой коэффициент критерия равенства радиуса скругления R_2 требуемому значению радиуса R_t ($R_2 = R_t$).

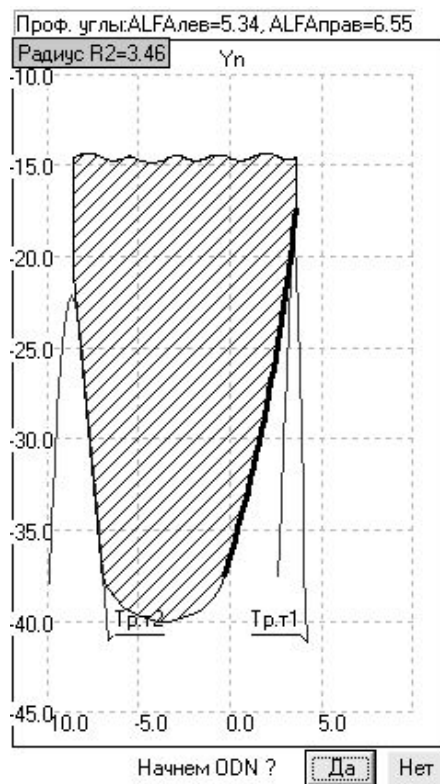


Рис. 1. Профиль инструмента

Поскольку мы зафиксировали угол доворота ε , то варьируемой станочной наладкой станет угол разворота γ_p , который будем изменять в диапазоне, например, в 4° по обе стороны от введенного нами угла $\gamma_{pв} = 19^\circ$, т.е. в пределах $(\gamma_{pв} - 4^\circ) \leq \gamma_p \leq (\gamma_{pв} + 4^\circ)$. Положим сначала в целевой функции F весовые коэффициенты $W_\alpha = W_R = 1$ и требуемый радиус скругления $R_t = 3$ мм. Запустим одномерную оптимизацию. Будет построена целевая функция F (ось ординат) при варьировании угла разворота γ_p от 15° до 23° (ось абсцисс) (рис. 2, а). При малых значениях γ_p мы попадаем в область подрезания. Здесь и далее в случае подрезания будем присваивать функции F значение, например, $F = 7$ с целью масштабирования выводимых по оси ординат результатов в разумных пределах, поскольку масштабирование в программе выполняется автоматически. Таким образом, горизонтальная линия с ординатой равной 7 и соответствует области углов γ_p , в которых имеет место подрезание. Транспарант в верхней части экрана сообщает о количестве точек профиля, которые будут подрезаны (рис. 2, а).

Найдем минимум целевой функции трехточечным методом [5] одномерной оптимизации (рис. 2, б). Все шаги поиска отображаются на экране вертикальными линиями синего цвета. Модуль разности профильных углов $\Delta\alpha$ оказался равным $\Delta\alpha = |\alpha_{лев} - \alpha_{пр}| =$

$|5,34-6,51| = 1,17^\circ$, модуль разности радиусов скругления $\Delta R_2 = |R_2 - R_t| = |3,30-3| = 0,30\text{мм}$; целевая функция $F = \Delta\alpha + \Delta R_2 = 1,17 + 0,30 = 1,47$. Вычисленное значение угла разворота, при котором достигнут минимум целевой функции $\gamma_{min} = 18,685^\circ$. Мы не добились ни равенства углов $\alpha_{лев}$ и $\alpha_{прав}$, хотя разница между ними и небольшая ($\Delta\alpha = 1,17^\circ$), ни равенства радиусов скругления $R_2 = R_t$, хотя и здесь разница всего $\Delta R_2 = 0,3\text{ мм}$.

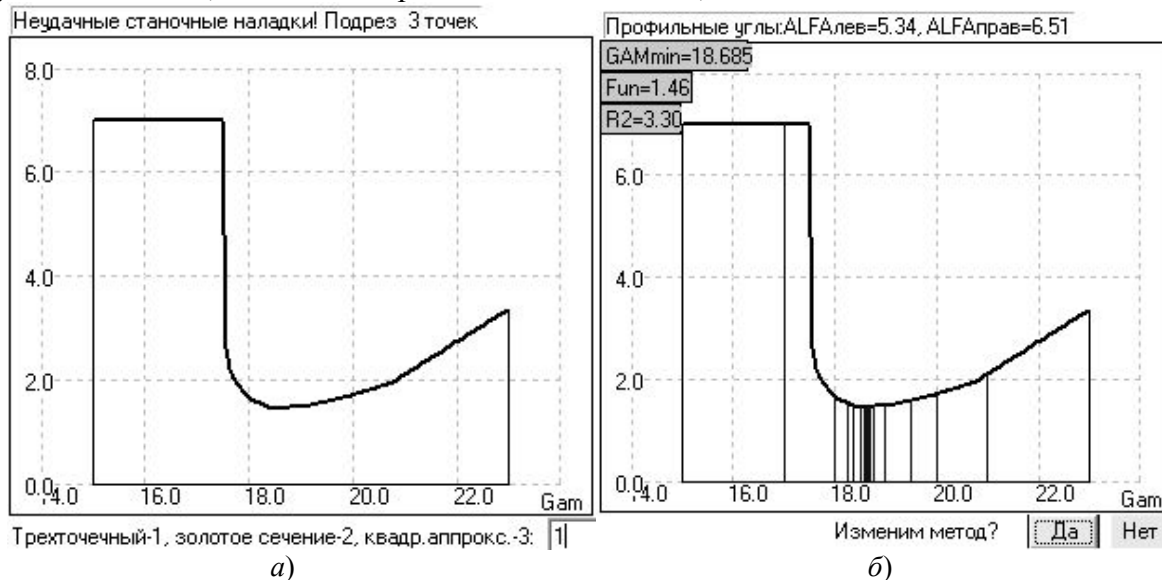


Рис. 2. а) Транспарант; б) Минимум целевой функции трехточечным методом

Целевую функцию в нашем случае можно составить и таким образом, чтобы поиск выполнялся только по одному критерию и тогда задача станет однокритериальной и одномерной.

Вывод: если мы хотим какому-то критерию отдать больший приоритет в целевой многокритериальной функции, то это можно сделать за счет увеличения его весового коэффициента.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Фрайфельд И.А. Инструменты, работающие по методу обкатки. Л.: Машгиз, 1948. 252 с.
2. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. М.: Наука, 1968. 584 с.
3. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1988. 128 с.
4. Панкратов Ю.М. Профилирование обкатных инструментов. СПб.: Политехника-сервис, 2010. 158 с.
5. Панкратов Ю.М. САПР режущих инструментов. СПб.: Лань, 2013. 336 с.

Сведения об авторах

Панкратов Юрий Михайлович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., проф.

Должность: профессор

Электронная почта: mmfgak@mail.ru

Ворфаламеева Яна Юрьевна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: yinka@mail.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ РАДИАЛЬНО-СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 2К52-1

Аннотация: В работе рассмотрена модернизация привода главного движения радиально-сверлильного станка на базе модели 2К52-1. Спроектирован и разработан привод главного движения с использованием асинхронного двигателя в комплекте с частотным преобразователем. Для расширения диапазона регулирования двигателя применена одна двухступенчатая зубчатая передача. Проведены соответствующие проверочные расчеты и показана целесообразность предложенных технических решений.

Ключевые слова: металлорежущий станок, модернизация, привод, асинхронный двигатель, частотный преобразователь.

В современных условиях повышение производительности достигается главным образом за счет интенсификации процесса резания путем повышения режимов резания [1] с целью наиболее полного использования ресурсов станков по мощности и скорости; режущего инструмента по прочности и стойкости. Другим направлением повышения производительности и эффективности использования металлорежущего оборудования является совершенствование конструкции с целью улучшения его конструктивных и эксплуатационных характеристик. Это может быть достигнуто как за счет разработки новых конструкции станков [2, 3], так и за счет их модернизации. Разработка и внедрение станков новых конструкции, как правило, связано с большими материальными и временными затратами. Модернизация существующего металлообрабатывающего оборудования позволяет при вложении не очень больших финансовых средств, материальных и трудовых ресурсов добиться существенного экономического эффекта, при этом сроки этих проектов значительно короче.

Цель работы: повышение производительности и эффективности обработки на станке за счет модернизации привода главного движения, позволяющей расширить диапазон регулирования частот вращения и улучшить его характеристики.

Задачи работы: выявление недостатков привода главного движения станка, разработка улучшенного привода с использованием асинхронного двигателя в комплекте с частотным преобразователем.

Вертикально-сверлильные станки предназначены для обработки разнообразных деталей в условиях индивидуального и мелко-серийного производства.

Привод главного движения станка осуществляется от асинхронного двигателя мощностью 1,5 кВт и частотой вращения 1440 об/мин. Коробка скоростей обеспечивает 8 частот вращения в диапазоне 63 до 1600 об/мин со ступенчатым регулированием со знаменателем ряда 1,58. Применяется простая множительная структура $8=4 \times 2$.

Ступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя [4] не дает возможности применять наиболее эффективной скорости резания в зависимости от конкретных условий обработки – материалов обрабатываемой заготовки и режущего инструмента, а также геометрических параметров инструмента и условия обработки. Это приводит к снижению производительности и эффективности обработки. Кроме того привод из двух передач, одна из которых – блок из 4-х колес является достаточно громоздким и требует изготовление дополнительных валов, зубчатых передач, подшипниковых опор, расточки дополнительных отверстий в корпусных деталях. Наличие большого числа передач приводит к дополнительным потерям на трение и снижению к.п.д. привода, что в свою очередь увеличивает энергетические потери и расход электроэнергии.

Большое значение знаменателя ряда частот вращения- 1,58 приводит к большим погрешностям при выборе экономически целесообразных значений скоростей резания, которые могут достигать значений 29%. Это приводит к существенному снижению производительности и эффективности обработки.

Поэтому в настоящей работе спроектирован и разработан привод главного движения с использованием асинхронного двигателя в комплекте с частотным преобразователем[5], позволяющим обеспечить бесступенчатое регулирование частоты вращения двигателя в широком диапазоне. Для расширения диапазона регулирования двигателя применяется одна двухступенчатая зубчатая передача с суммарным числом зубьев 120 и передаточными числами 1/4 (21/84) и 2/1 (70/35).

Регулирование частоты вращения двигателя осуществляется в диапазоне 1390-1600об/мин. При этом частота тока меняется от 50 до 6 Гц.

Для сохранения крутящего момента двигателя при уменьшении частоты вращения применяется принудительное охлаждения с помощью серво вентилятора, встроенного в двигатель.

В конструкции использован электродвигатель BN90 LA4 мощностью 1,5 кВт и частотой вращения 1390об/мин производства фирмы Bonfiglioli –Италия с встроенным сервоventильатором и частотный преобразователь Active 401-1 производства фирмы Vectron Германия.

Такое решение позволяет увеличить диапазон регулирования частот вращения от 20 до 2800 об/мин, при этом регулирование частот вращения производится практически бесступенчато.

В работе выполнены необходимые проектно-конструкторские и проверочные расчеты элементов привода.

Анализ экономической эффективности разработки подтвердил целесообразность предложенных технических решений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. Т. 1, 656 с.
2. Детали и механизмы металлорежущих станков/ Д.Н. Решетов [идр.]. М.: Машиностроение, 1972. Т.1, 664 с.
3. Расчет, моделирование и конструирование оборудования с компьютерным управлением : метод. указания / сост. Бундур М.С., Прокопенко В.А., Петков П.П., Пелевин Н.А. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 41 с.
4. Металлорежущие станки. Учебник для машиностроительных вузов / Под ред. В.Э. Пуша. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
5. М.С. Бундур, П.П. Петков. Применение частотных преобразователей в приводах главного движения металлорежущих станков // Конструктор- Машиностроитель, март 2008. С. 20-22.

Сведения об авторах

Петков Петр Петров

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., доц.

Должность: доцент

Электронная почта: mmfgak@mail.ru

Веденина Алена Игоревна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
 Должность: студент
 Электронная почта: alvedenina@yandex.ru

УДК: 621.91.01

Е.Н. Сенькин, Е.И. Данилова

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ СЛИВНОГО СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ И ЕГО ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Аннотация: В данной статье рассматривается численный метод построения опорного решения краевой задачи сливного стружкообразования (КЗСС), который находит широкое применение в вычислительной гидродинамике.

Ключевые слова: метод построения опорного решения КЗСС, области течения $\overline{D_z}$, кинематические параметры опорного решения.

Цель исследования: сформулировать алгоритм численного решения КЗСС и реализовать его.

Задачи исследования: установить граничные условия задачи, получить решение методом последовательных приближений Либмана, используя метод кусочно-линейной аппроксимации уточнить расчеты.

В работе [1] сформулирована КЗ построения опорного решения для целого класса областей течения D_z и выбран численный метод ее решения - метод конечных разностей.

Введем в области $D_z = \{(x_1; y_1): 0 \leq x_1 \leq H_m; 0 \leq y_1 \leq H_n\}$ (рис. 1, а) разностную сетку $\overline{M}_{h1,2}$ таким образом, чтобы границы $L_z^{(i)}$ принадлежат к классу прямых, образующих $\overline{M}_{h1,2}$ (это условие обеспечивает точную аппроксимацию ГУ). Сетка $\overline{M}_{h1,2}$ равномерна по направлениям x_1 и y_1 , причем в первом направлении шаг ее равен $-h_1 = H_m/m$, а в направлении y_1 $-h_1 = H_n/n$ (при $\delta = \pi/2, h_1 = h_2$ и оператор L - есть оператор Лапласа) (рис. 1, б). На построенном множестве $\overline{M}_{h1,2}$ $\{(x_1; y_1): x_1^{(i)} = ih_1; y_1^{(j)} = jh_2; i = \overline{0, m}; j = \overline{0, n}\}$ введем конечно-разностный аналог уравнения (6) [1] с применением крестообразного (пятиточечного) шаблона Π_{ij} :

$$\psi_{ij} = \frac{\lambda}{2(1+\lambda)} \left(\frac{1}{\lambda} (\psi_{i+1,j} + \psi_{i-1,j}) - \frac{\cos \delta}{2} (\psi_{i+1,j+1} - \psi_{i-1,j+1} - \psi_{i+1,j-1} + \psi_{i-1,j-1}) \right. \\ \left. + \frac{1}{\lambda} (\psi_{i,j+1} + \psi_{i,j-1}) \right) \quad (1)$$

где $\lambda = \frac{h_1}{h_2}$ ГУ (7) аппроксимируются точно, как

$$\psi / L_z^{(i)} = \psi(x_1; y_1), (x_1; y_1) \in A_h, \text{ где } A_h - \text{граничные узлы сетки } \overline{M}_{h1,2} \quad (2)$$

В результате решения разностной задачи (1, 2) методом последовательных приближений Либмана [2], который сокращает используемое машинное время по сравнению с другими методами, получаем массив значений ψ_{ij} функций тока, располагая которым,

строится линия тока $\psi(x_1; y_1) = \text{const}$, а затем определяются и кинематические параметры $V_{x_1}^0, V_{y_1}^0, \varepsilon_{ij}^0, H^0, \Gamma^0$ опорного решения.

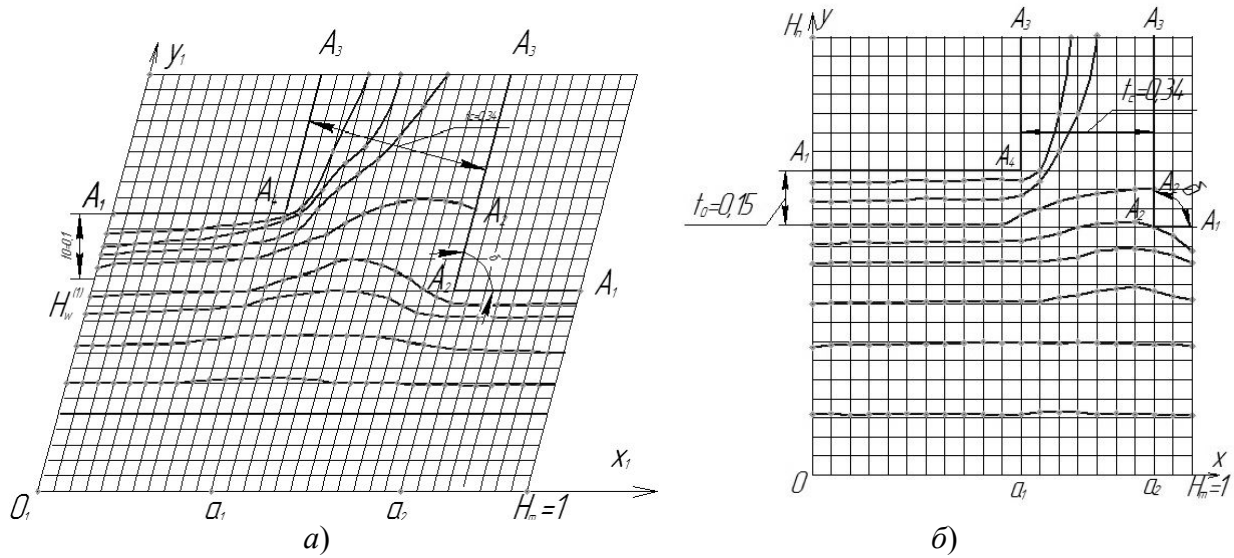


Рис. 1. Разностная сетка

Для сглаживания полученного массива ψ_{ij} , а значит и уточнения линий тока, использовался метод кусочно-линейной аппроксимации. Согласно принципу максимума для гармонической функции ψ для любого её значения $0 \leq \psi_c \leq H_w^{(2)}$ найдутся такие (i, j) , что либо $\psi_{ij} \leq \psi_c \leq \psi_{i,j+1}$, либо $\psi_{ij} \geq \psi_c \geq \psi_{i+1,j}$. Тогда полагая, что в пределах одного шага сетки $(h_{1,2})$ функция ψ меняется линейно, получаем следующие соотношения для определения уточненных ординат $(y_1^{(i)})_c$ (при фиксированном x_1) и абсцисс $(x_1^{(i)})_c$ (при фиксированном y_1) точек ψ_{ij} :

$$(y_1^{(i)})_c = \frac{\psi_c - \psi_{ij}}{\psi_{i,j+1} - \psi_{ij}} h_2 + j h_2; (x_1^{(i)})_c = \frac{\psi_c - \psi_{ij}}{\psi_{i+1,j} - \psi_{ij}} h_1 + j h_1. \quad (3)$$

Полей скоростей $\vec{V}^0(V_{x_1}^0, V_{y_1}^0)$ в области $\overline{D_z}$ должно удовлетворять условию не сжимаемости $-\text{div} \vec{V}^0 = 0$. Для выполнения этого условия, при вычислении компонент $V_{x_1}^0, V_{y_1}^0$ будем представлять функцию ψ в точках, образующих шаблон Π_{ij} , в следующем виде.

$$\psi_{i \pm k, j \pm k} = P_2(M_{i \pm k, j \pm k}), (k = \overline{0,4} - \text{точки шаблона } \Pi_{ij}), \quad (4)$$

где $P_2(M)$ - полином второй степени, вида:

$$P_2(M) \cdot P_2(x_1; y_1) = \beta_1 x_1^2 + \beta_2 x_1 y_1 + \beta_3 y_1^2 + \beta_4 x_1 + \beta_5 y_1 + \beta_6 \quad (5)$$

Накладывая на полином (5) условие гармоничности

$$\Delta P_2(x_1; y_1) = 0$$

получаем уравнение:

$$\beta_1 + \beta_3 = 0 \quad (6)$$

Замыкающее систему уравнений. Из решения системы линейных алгебраических уравнений (4-6) находятся коэффициенты β_{1-6} и искомое поле скоростей в области течения (в узлах

сетки или для $[(x)_1]_c; [(y)_1]_c$ определяется:

$$\begin{cases} V_{x_1}^0 = V_0 \frac{\partial P_2}{\partial y_1} = V_0(\beta_2 x_1 + 2\beta_3 y_1 + \beta_5) \\ V_{y_1}^0 = V_0 \frac{\partial P_2}{\partial x_1} = -V_0(\beta_1 x_1 + 2\beta_2 y_1 + \beta_4) \end{cases}, \quad (7)$$

где $V_0 \equiv V_p$ – скорость однородного течения материала при $x_1 \rightarrow -\infty$ (т.е. скорость резания).

Численная реализация изложенного метода построения опорного решения КЗСС осуществлена на персональном компьютере. В качестве тестовой задачи была рассмотрена область $\overline{D}_Z = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}^*$ (рис. 1, а) для значения угла резания $\delta = 72^\circ$ при прочих исходных данных:

$$m = n = 30; H_m = H_n = 1,0; H_w^{(1)} = 0,43; H_w^{(2)} = 0,53; a_1 = 0,363; a_2 = 0,726$$

точность расчета $-\varepsilon \leq 10^{-5}$. Картина линий тока $\psi(x_1; y_1) = \text{const}$ для этого случая представлена на рис. 1, а, а на рис. 1, б - картина распределений линий тока для этой же области, но для $\delta = 90^\circ$ и при $m=20$ и $n=25$ $h_1 = h_2 = 0,05$.

В качестве еще одной тестовой задачи, рассмотренный алгоритм решения задачи Дирихле для уравнения Лапласа для функций тока методом сеток был численно реализован на равномерных сетках с постоянным шагом h_1, h_2 или $(\Delta x = \Delta y)$ для простейшей области течения $\overline{D}_Z = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}^*$ с углом резания $\delta = 90^\circ$ (рис. 2, а).

Изложенный алгоритм построения опорного решения КЗСС можно распространить и на области D_Z , границы которых кроме полигональных участков $L_Z^{(i)}$ могут содержать и криволинейные участки границы. Но при этом точность такого решения уменьшается, т.к. ГУ на этих участках будут аппроксимированы не точно.

В этом случае, а также когда требуется получить более точные решения в той части области D_Z , где градиенты кинематических параметров течения сплошной среды изменяются быстрее, может потребоваться более высокая разрешающая способность сетки $M_{h1,2}$.

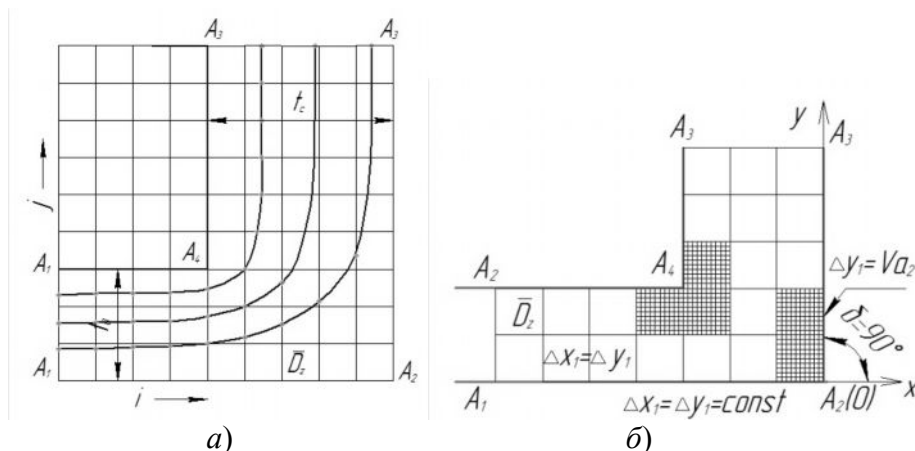


Рис. 2. а) Решения задачи Дирихле $t_0=0,3$ мм, $t_c=0,6$ мм, $k_f=2,0$, * - точки, найденные МКР, ° - точки, найденные с помощью функций $z(\zeta)$, $W(z)$;

б) Простейшая область течения $\overline{D}_Z$

Так, например, для простейшей области течения $\overline{D_z} = \{A_1, A_2, A_2', A_3, A_4\}$ (рис. 2, б) такими частями являются окрестность угловой точки A_4 (рис. 3) и пограничный слой в зоне контакта зоны стружкообразования с передней гранью РК (рис. 2, б). Самый простой способ разрешения этой проблемы - это видоизменение прямоугольной разностной сетки за счет изменения её шага в одном направлении, например, в направлении y (для пограничного слоя) или в других направлениях (Δx и Δy) (в окрестности точки A_4). Подобные идеи и методы перестройки сеток и как следствие преобразования дифференциальных уравнений, находят широкое применение в вычислительной гидродинамике [2].

В ряде случаев [3, 4], для определения массива функций тока ψ_{ij} , может оказаться достаточно эффективным решение задачи Дирихле методом Шварца [5].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сенькин Е.Н., Голубев А.Г. Постановка и граничные условия численного метода решения краевой задачи сливного стружкообразования // XLIII Неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. Публикация в этом сборнике.
2. Роуг П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980. 616 с.
3. Пластическое формоизменение металлов / Г.Я. Гун[и др.]. М.: Металлургия, 1968. 416 с.
4. Прессование алюминиевых сплавов. Математическое моделирование и оптимизация / Г.Я. Гунн [и др.]. М.: Металлургия, 1974. 336с.
5. Канторович Л.В., Крылов В.И., Приближенные методы высшего анализа. М.:Изд-во теоретико-технической литературы, 1950. 695 с.

Сведения об авторах

Сенькин Евгений Николаевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., доц.

Должность: доцент

Электронная почта: mmfgak@mail.ru

Данилова Елена Игоревна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент

Электронная почта: mmfgak@mail.ru

УДК: 621.91.01

Е.Н. Сенькин, А.Г. Голубев

ПОСТАНОВКА И ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ СЛИВНОГО СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ

Аннотация. Процесс резания, являясь замыкающим звеном системы обработки металлов резанием (станок – приспособление – деталь – режущий инструмент), в свою очередь является комплексом взаимосвязанных и различных по физической природе явлений. Описать такие явления с помощью одной математической модели задача сложная, не только потому, что для этого требуется применение эффективного математического

аппарата, но также и необходимость разработки алгоритма такой модели для персонального компьютера.

Ключевые слова: интеграл Кристоффеля – Шварца, алгоритм, модель.

Цель исследования: сформулировать краевую задачу сливного стружкообразования (КЗСС) и реализовать ее решение.

Задачи исследования: определить функцию, задающую КЗСС с помощью интеграла Кристоффеля – Шварца, свести решение к задаче Дирихле для уравнения Лапласа, поставить граничные решения для задачи.

Следуя общему алгоритму решения задачи пластического формоизменения [1, 2], рассматривается метод численного построения ее опорного решения.

В зависимости от практического применения математической модели пластического формоизменения (прессование, резание и т. д.), область течения D_z (рис. 1, а) представляется в виде полигональных многоугольников $\{A_1; A_2 \dots A_k\}^*$ или многоугольников $\{A_1; A_2 \dots A_k\}^o$ с криволинейными участками границы области D_z . Число k может быть достаточно велико, образуя тем самым гамму областей течения. Для полигональных областей течения с числом вершин $k \leq 5$ функцию $W(z)$, определяющую опорное решение, целесообразно конструировать с помощью интеграла Кристоффеля – Шварца [3], что позволяет определить кинематические параметры опорного решения, в некоторых случаях, аналитически. Однако с усложнением геометрии области D_z ($k > 5$), построение функции $W(z)$ указанным методом встречает математические трудности, как на этапе определения параметров a_k интеграла Кристоффеля – Шварца, так и при работе с функциями $Z(\zeta)$, $W(\zeta)$ или $Q(\zeta)$.

Здесь рассмотрим достаточно простой алгоритм построения функции $W(z)$ для полигональных областей, сведя это проблему к решению задачи Дирихле для уравнения Лапласа [4]. Введем в областях D_z и D_w , связанных между собой условием $D_z \xleftrightarrow{W(z)} D_w$, системы координат Oxy и $O\phi\psi$, как указано на рис. 1, а, б и сформулируем искомую задачу в терминах функции тока – $\psi = W(z)$. Выбор функции тока в данном случае продиктован простотой и однозначностью задания граничных условий для нее на границах практически любой области течения D_z , что вытекает из свойств комфортного отображения $D_z \leftrightarrow D_w$, в частности однозначного соответствия границ L_z и L_w областей D_z, D_w (рис. 1, а, б). Так, например, для простейшей области $D_z = \{A_1, (A_1^*), A_2, A_3, A_4\}^*$ (наша тестовая область) функция ψ на границе $L_z^{(1)}$ принимает значение $\psi = H_w^{(1)}$, а на границе $L_z^{(2)}$ – $\psi = H_w^{(2)}$. Таким образом для определения гармонической функции $\psi(x, y)$ в D_z приходим к внешней задаче Дирихле:

$$\begin{cases} \Delta\psi = 0, (\psi \in D_z) \\ \psi / L_z^{(1)} = H_w^{(1)}; \psi / L_z^{(2)} = H_w^{(2)} \end{cases} \quad 1)$$

где $\Delta = \frac{\partial^2 \dots}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dots}{\partial y^2}$ – оператор Лапласа.

Для более сложных областей течения функция тока $\psi(x, y)$ может иметь на некоторых участках границы L_z разрывы первого рода. В этом случае задача (1) называется обобщенной задачей Дирихле.

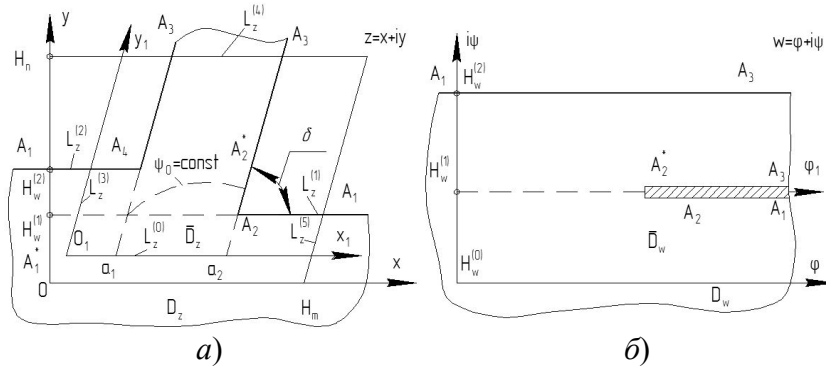


Рис. 1. Схема сливного стружкообразования

Найдя из решения задачи (1) функцию ψ , можно в односвязной области течения D_z построить вторую гармоническую функцию $\varphi(x, y)$, доопределяющую $W(z)$, как:

$$\varphi(x, y) = \int_{(x_0, y_0)}^{(x, y)} -\frac{\partial \psi}{\partial y} dx + \frac{\partial \psi}{\partial x} dy + C,$$

то есть с точностью до постоянного слагаемого C , определяемого из ГУ.

Численное решение задачи (1) осложняется наличием в D_z бесконечно удаленных точек $x = \pm\infty$ и $y = \pm\infty$. Поэтому перейдем к соответствующей задаче Дирихле для замкнутой области $\overline{D_z} = D_z + L_z^{(i)}$ ($i = 0, 1 \dots k$), когда в качестве примера выбрана область $D_z = \{A_1, A_2, A_2^*, A_3, A_4\}^*$ (рис., а), учитывающая распространение пластической деформации ниже линии среза $y=0$ (т.е. рассмотрение такой области D_z можно определить как задачу обтекания режущего клина). Учитывая эффект затухания волны пластической деформации ниже линии $y = 0$, область D_z может быть ограничена линией тока $\psi = L_z^{(0)}$, которая на некотором удалении от вершины РК (точка A_2) близка к прямой линии $\left|H_w^{(0)}\right| \approx k \left(H_w^{(2)} - H_w^{(1)}\right), 0 < k \leq 2$.

Особенностью данной области течения является наличие разделяющей линии тока $\psi_0(x, y) = \text{const}$, которой в области фиктивного течения D_w (рис. 1, б) соответствует разрез по оси φ . Учитывая, что зона активной пластической деформации (зона стружкообразования) локализуется в окрестности вершин РК, а при удалении от нее как в направлении $x \rightarrow \pm\infty$, так и $y \rightarrow +\infty$ обрабатываемый материал можно считать абсолютно жестким (недеформируемым), то ограничения области течения D_z в этих направления не вызывает затруднений.

Переход от области D_z к $\overline{D_z}$ позволяет уточнить ГУ задачи (1) для функции ψ ; а именно: $\frac{\partial \psi}{\partial n} = 0$ на участках: $L_z^{(2)}, L_z^{(5)}, L_z^{(4)}$. Кроме того, в $\overline{D_z}$, можно определить и вторую гармоническую функцию $\varphi(x, y)$, также из решения КЗ Дирихле для уравнения Лапласа, для области $D_z = \{A_1, (A_1^*), A_2, A_3, A_4\}^*$:

$$\begin{cases} \Delta \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0, & (\varphi \in \overline{D_z}) \\ \varphi / L_z^{(3)} = \varphi_1; \varphi / A_3 A_3 = \varphi_2 \text{ и } \frac{\partial \varphi}{\partial n} / A_1^* A_2 A_3; A_3 A_4 A_1 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Очевидно, что ГУ для задачи (2) вычислить сложнее, нежели ГУ для функции тока $\psi(x, y)$ задачи (1).

Для определения граничных условий функции ψ на $L_z^{(i)}$ можно, представив область $\overline{D_z}$ как объединение трех прямолинейных полос (рис., а), используя решение задачи Дирихле для полосы в виде:

$$\psi(x, y) = A \cdot x + B \cdot y + C, \quad (3)$$

где коэффициенты A, B, C определяются с учетом выполнения ГУ на L_z на полосы и расположения ее относительно осей координат (x, y) . Так для полосы $A_2A_3 - A_3A_4$ (рис. 1, а), наклоненной на угол резания δ относительно оси абсцисс уравнение (3) принимает вид:

$$\psi = \frac{\psi_2 - \psi_1}{a_2 - a_1} (x - y \cdot \operatorname{ctg} \delta - a_1) + \psi_1, \quad (4)$$

где $\psi/A_3A_4 = \psi_2$, $\psi/A_2A_3 = \psi_1$, а значения $a_{1,2}$ – точки пересечения A_3A_4 и A_2A_3 полосы с осью x . Для полосы, границы которой параллельны оси x функция тока определяется:

$$\psi = \frac{\psi_2 - \psi_1}{b_2 - b_1} (x - b_1) + \psi_1, \quad (5)$$

где $b_{1,2}$ – точки пересечения границ полосы с осью ординат (рис., а).

В соответствии со сказанным выше, замкнем область течения D_z (рис., а) и зададимся ГУ для функции ψ на участках $L_z^{(i)}$. Учитывая наличие угла $\delta > 0$, введем косоугольную систему координат $O_1x_1y_1$, таким образом, чтобы участки $L_z^{(i)}$ границы области совпадали с координатными линиями $x_1 = 0, y_1 = 0$. Тогда уравнение (1), после очередных преобразований [5] примет вид:

$$L\psi = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x_1^2} - 2 \cdot \cos \delta \frac{\partial^2 \psi}{\partial x_1 \partial y_1} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y_1^2}, \quad (6)$$

где его оператор L есть эллиптический оператор со смешанной производной, так как для всех, практически встречающихся в резании углов δ , выполняется условие $\cos^2 \delta - 1 < 0$.

Границы $L_z^{(i)}$, замыкающие область D_z определяют так:

$$L_z^{(0)} - y_1 = 0; L_z^{(3)} - x_1 = 0; L_z^{(4)} - y_1 = H_n; L_z^{(5)} - x_1 = H_m.$$

Используя соотношения (4 – 5), граничные условия для функции тока запишутся в виде (рис. 1, а):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\psi}{L_z^{(1)}} = H_w^{(1)}; \frac{\psi}{L_z^{(2)}} = H_w^{(2)}; \frac{\psi}{L_z^{(6)}} = \psi(x_1; 0) = 0 \\ \frac{\psi}{L_z^{(3)}} = \psi(0; y_1) = y_1 \cdot \sin \delta; \frac{\psi}{L_z^{(4)}} = \psi(x_1; H_n) = \frac{H_w^{(2)} - H_w^{(1)}}{a_2 - a_1} (x_1 - a_1) + H_w^{(1)} \\ \frac{\psi}{L_z^{(5)}} = \psi(H_m; y_1) = y_1 \cdot \sin \delta \end{array} \right. \quad (7)$$

Уравнение (6) и ГУ (7) определяют КЗ, решением которой есть функция $\psi \in \overline{D_z}$. Эффективным методом численного решения этой КЗ следует считать метод конечных разностей (или еще – метод сеток).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Прессование алюминиевых сплавов. Математическое моделирование и оптимизация / Г.Я. Гун [и др.]. М.: Металлургия, 1974. 336 с.
2. Пластическое формоизменение металлов / Г.Я. Гун [и др.]. М.: Металлургия, 1968. 416 с.
3. Приближенные методы конформных отображений: справочное руководство / под ред. П.Ф. Фильчакова. Киев. М.: Наукова думка, 1964. 530 с.
4. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. М.: Физматгиз, 1963. 400с.
5. Смирнов В.С. Курс высшей математики. М.: Наука, 1965. Т. 1-IV.

Сведения об авторах

Сенькин Евгений Николаевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., доц.

Должность: доцент

Электронная почта: mmfgak@mail.ru

Голубев Артем Геннадьевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент

Электронная почта: gamer-artem@mail.ru

УДК 621.8.032

М.С. Бундур, Н.А. Пелевин, В.А. Прокопенко

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА ПРИ НЕ КОНЦЕНТРИЧНОМ ПОЛОЖЕНИИ ШПИНДЕЛЯ ДЛЯ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ «НАСОС-КАРМАН» И «ДРОССЕЛЬ-НАСОС-КАРМАН»

Аннотация. В работе предложен алгоритм расчета величин давления, расходов и установившихся зазоров в опорах гидростатического подшипника для схем управления «насос-карман» и «дроссель-насос-карман» со смещением оси шпинделя относительно оси втулки. Данные параметры напрямую оказывают влияние на модель системы автоматического регулирования подшипника, и тем самым правильность их расчета обеспечивает получение наиболее достоверных динамических характеристик системы.

Ключевые слова: гидростатический подшипник, схема управления, смещение, динамические характеристики.

Смещение оси шпинделя относительно оси втулки гидростатического подшипника (ГСП) позволяет значительно повысить динамическое качество системы автоматического регулирования (САР) [1]. При этом возникают дополнительные особенности в расчете величин давления, расходов и установившихся зазоров в опорах ГСП в схемах «насос-карман» и «дроссель-насос-карман», которые в литературе в достаточной степени не рассмотрены. Упомянутые величины напрямую влияют на динамические характеристики САР, так как они учитываются при расчете коэффициентов и постоянных времени [2] линеаризованной модели ГСП.

Цель работы: разработать алгоритм расчета давления, расходов и установившихся зазоров в схемах управления ГСП «насос-карман» и «дроссель-насос-карман» при не концентричном положении шпинделя.

Задачи работы: на основе известных методов расчета схем управления ГСП [2] для симметричных вариантов реализовать алгоритм расчета упомянутых параметров; выполнить алгоритм в виде программы в среде математических вычислений на персональном компьютере (ПК).

Рассмотрим схему управления «насос-карман» с концентричным положением оси шпинделя (рис. 1, а). Задавая расход насоса Q_H , например, из каталога [3], рассчитаем давление в кармане ГСП, по следующей формуле [4]:

$$p_0 = \frac{k_{\Phi} \cdot \mu \cdot Q_H}{60000 \cdot (h_0)^3} \quad (1)$$

где k_{Φ} – коэффициент формы опоры, μ – вязкость рабочей жидкости, h_0 – начальный зазор в опоре.

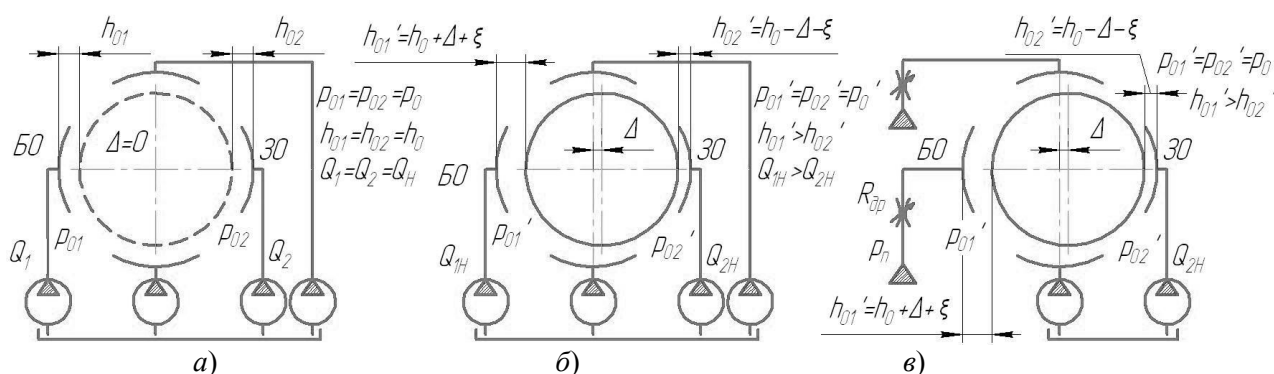


Рис. 1. Схемы: а) «насос-карман» для концентричного положения шпинделя;
б) «насос-карман» для шпинделя со смещением;
в) «дрозсель-насос-карман» для шпинделя со смещением

Далее рассмотрим не концентричную схему (рис. 1, б). Преобразуем выражение (1) и выразим из него расход Q_H , зададим величину смещения шпинделя Δ и подставим начальные зазоры $h_{01} = h_0 + \Delta$, $h_{02} = h_0 - \Delta$ в (1) при неизменном давлении p_0 (как в концентричной схеме), получим расчетные величины расходов насосов Q_1 и Q_2 для базовой и замыкающей опор (БО и ЗО) соответственно:

$$Q_1 = \frac{60000 \cdot p_0 \cdot (h_{01})^3}{k_{\Phi} \cdot \mu}; \quad Q_2 = \frac{60000 \cdot p_0 \cdot (h_{02})^3}{k_{\Phi} \cdot \mu} \quad (2)$$

Причем $Q_1 > Q_2$, так как $h_{01} > h_{02}$. Назначим близкие к расчетным величинам (2) значения и (2) по каталогу [3].

С учетом того что давления в карманах равны $p_{01} = p_{02} = p_0$, уравняем (2) по давлению p_0 , подставим выбранные Q_{1H} и Q_{2H} :

$$\frac{k_{\Phi} \cdot \mu \cdot Q_{1H}}{60000 \cdot (h'_{01})^3} = \frac{k_{\Phi} \cdot \mu \cdot Q_{2H}}{60000 \cdot (h'_{02})^3} \quad (3)$$

Зададим малое приращение ξ начальным зазорам, при котором равенство (3) будет выполняться:

$$h'_{01} = h_{01} + \xi; \quad h'_{02} = h_{02} - \xi. \quad (4)$$

Найдем ξ , подставив (4) в (3). Такую процедуру легко реализовать на ПК с применением пакета Mathcad (рис. 2).

Given

$$\frac{K\phi_1 \cdot \mu \cdot Q_{H1}}{60000 \cdot (h_{01} + \xi)^3} = \frac{K\phi_2 \cdot \mu \cdot Q_{H2}}{60000 \cdot (h_{02} - \xi)^3}$$

$$\xi := \text{Find}(\xi) \rightarrow (-0.0000019383030329093316024 \quad 0.000016504865802168949962$$

$$\xi = \left(-1.938 \times 10^{-6} \quad 1.65 \times 10^{-5} + 3.963i \times 10^{-5} \quad 1.65 \times 10^{-5} - 3.963i \times 10^{-5} \right)$$

$$\xi := \left| \text{Re}(\xi^{(0)}) \right| = -1.938 \times 10^{-6}$$

Рис. 2. Процедура нахождения приращения ξ в Mathcad

В соответствии с [5], в среде MATLAB аналогичная процедура выглядит как на рис. 3.

```
syms ksi; %создание символьного массива
[ksi]=solve(k_f1*Q_n1_/(h01+ksi)^3==k_f2*Q_n2_/(h02-ksi)^3,...
    ksi, 'Real', true);
ksi=double(ksi); %создание числового массива
```

Рис. 3. Процедура нахождения приращения ξ в MATLAB

Остальные вычисления, рассматриваемые в статье, легко реализуются и не требуют особых знаний программных продуктов Mathcad и MATLAB, поэтому рассматриваться не будут.

Согласно (4), рассчитаем фактические величины начальных зазоров h'_{01} , h'_{02} в подшипнике. Далее найдем давление в карманах p'_0 согласно (1). Например, для БО, при выбранном расходе:

$$p'_0 = p'_{01} = p'_{02} = \frac{k_\phi \cdot \mu \cdot Q_{H1}}{60000 \cdot (h'_{10})^3}.$$

Рассмотрим схему управления «дроссель-насос-карман» с не концентричным положением оси шпинделя (рис. 1, в). Расчеты будем производить с учетом величины жесткости [6] сопоставимой жесткости схемы «насос-карман», то есть примем давление в карманах для схемы «дроссель-насос-карман» p'_0 . Получим давление питания для дросселя p_n [6]:

$$p_n = \frac{p'_0}{m_0},$$

где m_0 – настроечная точка дросселя.

Величины начальных зазоров в БО и ЗО h'_{01} , h'_{02} останутся те же. Далее вычисляем параметр настройки дросселя – сопротивление дросселя, по формуле [6]:

$$R_{др} = k_\phi \frac{\mu \cdot (1 - m_0)}{(h'_{01})^3 \cdot m_0}.$$

Величину давления в опоре с дросселем p'_{01} получим по формулам [6], при этом она получается равной давлению p'_{02} в опоре с насосом (с расходом).

Выполнив расчеты по представленному алгоритму для схемы «насос-карман» получим: требуемые величины расходов Q и , начальные зазоры h'_{01} , h'_{02} и установившееся давление p'_0 для БО и ЗО ГСП. Для схемы «дроссель-насос-карман» получим: сопротивление дросселя R_d , требуемую величину расхода, начальные зазоры h'_{01} , h'_{02} и установившееся давление в карманах ГСП p'_0 .

Таким образом, алгоритм расчета для схем «насос-карман» и «дроссель-насос-карман» с не концентричным положением шпинделя, позволяет корректно рассчитывать коэффициенты и постоянные времени [2] и вследствие этого получать более достоверные динамические характеристики САР ГСП, с последующей оценкой динамического качества.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бундур М.С., Пелевин Н.А., Прокопенко В.А. Влияние радиального смещения оси шпинделя на динамическое качество гидростатического подшипника // Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах. Материалы Международной научно-методической конференции. 5 - 7 июня 2014 года, Санкт-Петербург. Том 3. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2014. С. 30 - 31.
2. ЛюВэй. Гидростатические подшипники высокоскоростных шпиндельных узлов автоматического станочного оборудования : дис . канд. техн. наук: 05.03.01 / ЛюВэй ; СПбГТУ; науч. рук. А.И. Федотов. СПб. 1998. 223 с. ил. Библиогр.: С. 181-197.
3. Станочные гидроприводы: справочник./ под ред. В.К. Свешникова 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2008. 640 с.
4. Методические указания по выполнению расчётов и проектированию подшипников современных высокопроизводительных металлорежущих станков / сост. Л. Дудески, П.П. Петков, В.А. Прокопенко, А.А. Яцкевич Л.: ЛГТУ, 1990. 37 с.
5. Бундур М.С., Пелевин Н.А., Прокопенко В.А. Возможности и особенности пакета MatlabSimulink при моделировании систем управления гидростатическими несущими узлами // Материалы 4-й Международной научно практической конференции «Современное машиностроение. Наука и образование». – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2014. С. 815 - 825.
6. Расчет и исследование статических и динамических характеристик гидростатических направляющих станочного оборудования: методические указания / сост. М.С. Бундур, В.А. Прокопенко, И.А. Чернов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 20 с.

Сведения об авторах

Бундур Михаил Семенович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., доц.

Должность: заведующий кафедрой «Станкостроение»

Электронная почта: mmfgak@mail.ru

Пелевин Никита Александрович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: аспирант

Электронная почта: twic@inbox.ru

Прокопенко Вячеслав Алексеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доц.
Должность: доцент
Электронная почта: mmfgak@mail.ru

УДК: 62-34

И.А. Котовс, Ю.В. Пересадыко

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ СЛЕДЯЩИЙ ПРИВОД ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

Аннотация. В данной работе рассматривается вопрос повышения точности гидравлической следящей системы на примере обработки лопастей гребного винта на вертикально-фрезерном станке. Так как современные методы копирования не позволяют обрабатывать ответственные детали с такой высокой точностью, существует необходимость в повышении точности слежения. На первом этапе решается задача повышения качества динамических характеристик путем изменения системы слежения и минимизации хода гидроцилиндра. На втором этапе повышается точность следящего привода путем полной компенсации тяговой ошибки, которая оказывает определяющее влияние на точность слежения привода. В результате проведенной работы спроектирован гидравлический следящий привод высокой точности.

Ключевые слова. Гидравлический следящий привод, компенсация тяговой ошибки, корректирующее устройство, высокая точность.

При обработке ответственных деталей со сложным профилем, например лопастей гребных винтов, пропеллеров и др., ключевым моментом является точность их изготовления, так как точность профиля детали напрямую сказывается на качестве ее динамических характеристик.

Цель работы – спроектировать гидравлическую следящую систему с компенсацией тяговой ошибки для получения высокой точности обработки.

За основу для проектирования гидравлического следящего привода высокой точности возьмем процесс обработки лопастей гребных винтов [1] на вертикально-фрезерном станке. При современных методах копирования управление и регулирование осуществляется, как правило, по скорости (шаговые двигатели, высокомоментные двигатели, двигатели постоянного тока и т.д.) [2]. Это приводит к тому, что появляется ошибка положения, то есть практически профиль обрабатывается с накапливающейся погрешностью.

Для решения этих проблем (увеличение точности) предлагается данный гидравлический следящий привод, схема которого представлена на рис. 1.

В предлагаемом приводе каретка 1 через шуп 2 отслеживает профиль заготовки 3. Координаты заготовки непосредственно поступают в датчик рассогласования 4, туда же направляем точные координаты детали из базы данных, а золотник 5 получает перемещение на разность этих сигналов. Затем через золотник получает перемещение и сам корпус гидроцилиндра 6. Следовательно, значительно повышается динамическая характеристика привода, так как уменьшена до минимума длина гидроцилиндра.

Разная глубина припуска при обработке поверхности винтов приводит к разной величине тяговой ошибки, которая оказывает определяющее влияние на точность слежения, что не позволяет получить требуемую точность [3].

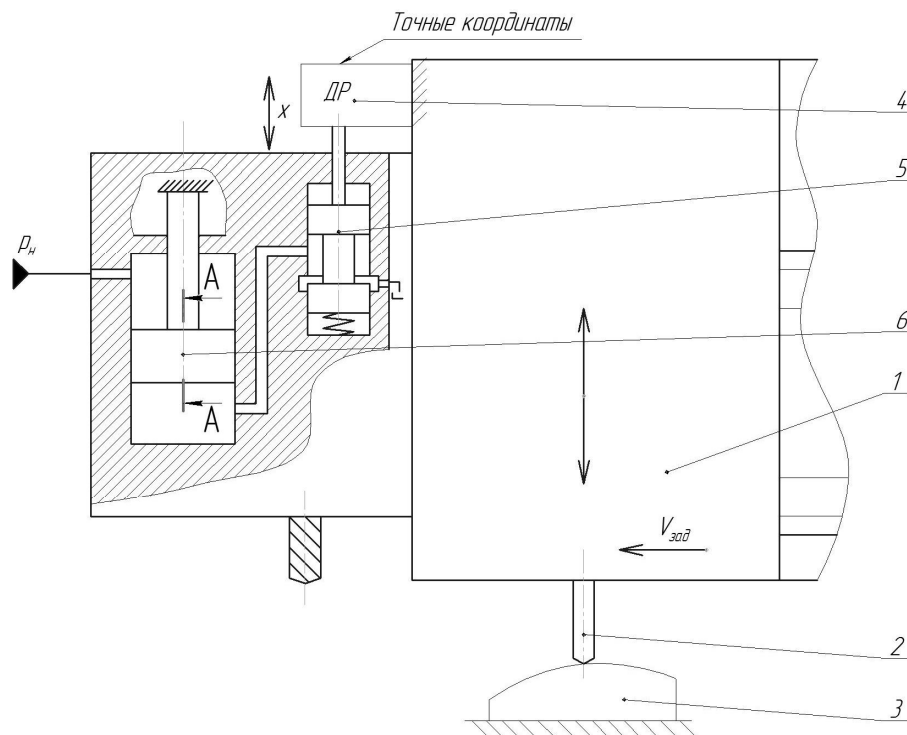


Рис. 1. Схема следящего привода

Известно, что наибольшую точность обеспечивает следящий привод с четырехкромочным золотником, но в этом случае очень сложно добиться требуемых динамических характеристик качества. В данном приводе точность обеспечивается приводом с однокромочным золотником, у которого тяговая ошибка практически полностью компенсируется (аннулируется) за счет корректирующего устройства, показанного на рис. 2 (разрез А-А на рис. 1).

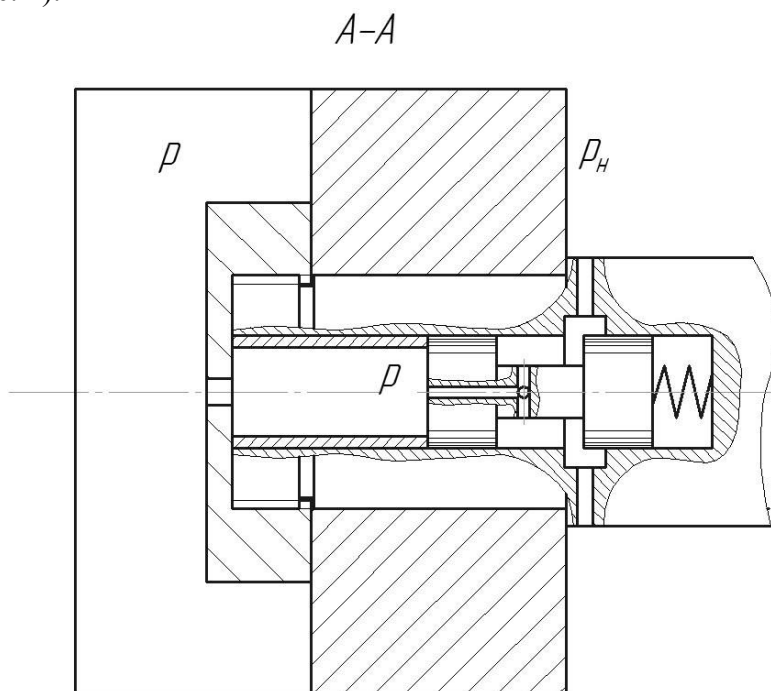


Рис. 2. Корректирующее устройство

При нагрузке увеличивается давление p в приводе. В обычном следящем приводе это давление обеспечивается смещением следящего золотника, то есть за счет ошибки [4, 5]. В этом же приводе увеличение давления приводит к тому, что корректирующий золотник смещается вправо и открывает дросселирующую щель от давления насоса к давлению в бесштоковой полости. Таким образом, разность давления обеспечивается не смещением золотника (ошибкой), а за счет автоматической работы корректирующего устройства.

Данная конструкция привода позволит значительно улучшить качество его динамических характеристик, а также обеспечить высокую точность обработки за счет компенсации примерно 92% тяговой ошибки [3].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Богораз И.И., Кауфман И.М. Производство гребных винтов: Справочник: - Л.: Судостроение, 1978. 192 с.
2. Следящие системы приводов: учеб. пособие / Г.О. Трифонова, О.И. Трифонова; МАДИ. – М., 2013.- 142 с.
3. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков / В.А. Федорец, М.Н. Педченко, А.Ф. Пичко, Ю.В. Пересадько, В.С. Лысенко; Под ред. д-ра техн. наук В.А. Федорца.- К.: Вицашк. Головное изд-во, 1987.- 375 с.
4. Свешников В.К., Усов А.А. Станочные гидроприводы: Справочник. - 3-е изд., перераб. и доп. - М: Машиностроение. 1995. - 448 с.: ил.
5. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник. 2-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 1982. - 423 с.

Сведения об авторах

Котовс Илья Александрович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: i.kotovs@mail.ru

Пересадько Юрий Васильевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к. т. н.

Должность: доцент

Электронная почта: peressadko2006@rambler.ru

**РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
РУКОВОДСТВА ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ КРАНА СУДНА**

Аннотация: В проекте поставлена задача создания интерактивного электронного технического руководства (ИЭТРа) на базе технологий дополненной реальности для регулировочного крана, входящего в состав узла корабля и сравнение его с ныне существующими руководствами по эксплуатации. В статье описывается технология дополненной реальности, процесс разработки руководства. Показаны его преимущества и недостатки и сделаны выводы о целесообразности таких руководств.

Ключевые слова: интерактивное электронное техническое руководство, дополненная реальность, обслуживание.

Целью проекта является разработка программы, упрощающей работу инженера по ремонту и обслуживанию клапана и оценка ее эффективности.

В проекте поставлена задача создания интерактивного электронного технического руководства (ИЭТРа) на базе технологий дополненной реальности для регулировочного крана, входящего в состав узла корабля. Исходя из предоставленной документации на данное устройство, необходимо изучить работу устройства, создать по исходной 3D (CAD) модели макет для трекинга и интегрировать ее в виртуальную среду дополненной реальности (совместную среду реального изделия и его CAD-модели), в которой будет реализован интерактивный процесс по руководству обслуживания и ремонта. ИЭТР по обслуживанию оборудования изделий машиностроения создаются на основе технологий дополненной реальности (augmented reality, AR) и представляют собой новейшие технологии в машиностроении при создании руководств. В России нам неизвестны примеры применения этих технологий при создании руководств по обслуживанию сложного машиностроительного оборудования. Не следует путать интерактивные электронные руководства на базе технологий дополненной реальности (ИЭТР) и обычные электронные руководства, которые не имеют интерактивной функциональности. Технологии дополненной реальности это – современный подход, как в области машиностроения, так и в других сферах инженерной деятельности (авиастроение, судостроение, автомобилестроение, двигателестроение и т.д.) и в высшей степени востребованы на рынке. Дополненная реальность AR – сочетание объектов реального и виртуального миров, что очень привлекательно при создании электронных руководств по обслуживанию сложных машиностроительных изделий. В области машиностроения AR используется для создания ИЭТРа [5], которое существенно облегчает понимание устройства изделия, процессы его обслуживания и ремонт, благодаря наглядному представлению в дополненной реальности.

Для создания интерактивной инструкции необходимо было выбрать соответствующий «софт» на основе технологий дополненной реальности. Нами были рассмотрены несколько вариантов: «D’Fusion» от компании Totalimmersion, «ARmedia 3D Software Development Kit» и продукты компании Metaio. В результате анализа были выбраны следующие программы компании Metaio: «Creator», «Toolbox», «Junaio» [2]. «Creator» необходим для создания самой программы, а «Toolbox» и «Junaio» для её воспроизведения на мобильных устройствах под управлением операционных систем Android и iOS. Почему Metaio? Всё просто – AREL.AREL (Augmented Reality Experience Language) – язык дополненной реальности,

основанный на передовых веб-технологиях таких как HTML5, XML и Javascript [4]. Написав программу на этом языке, можно перенести её на любую платформу, будь то Android, iOS, Unity или Windows.

Проанализировав CAD-модель крана и документации по его обслуживанию, был составлен перечень требований, которые наиболее важны для рабочего, осуществляющего ремонт и обслуживание крана. В состав требований вошло:

1. Полная разборка и сборка крана с подробными инструкциями.
2. Регулировка крана.
3. Частичная разборка крана для устранения выявленной неисправности и замены непригодных деталей.
4. Перечень стандартизированных деталей входящих в сборку.

Следующим этап – создание анимации, которая будет наложена на реальный объект на экране девайса. Creator может воспроизвести анимации в двух форматах: .fbx и .md2. Файлы с такими форматами создаёт «Blender» [3], который находится в свободном доступе и «3dsMax», полученный нами по студенческой лицензии. Мы использовали обе программы.

Выбранные программы основываются на объектно-ориентированном методе программирования, то есть все элементы программы представляют собой объекты со своими свойствами и методами (объекты с одинаковой спецификацией могут иметь различную реализацию). Такой вид программирования достаточно удобен в данном случае, поскольку язык AREL представляет смесь JavaScript, HTML5 и XML. Так, для написания рабочей программы (Рис. 1) нам пришлось ознакомиться с каждым из этих языков [1] и научиться применять их на деле.

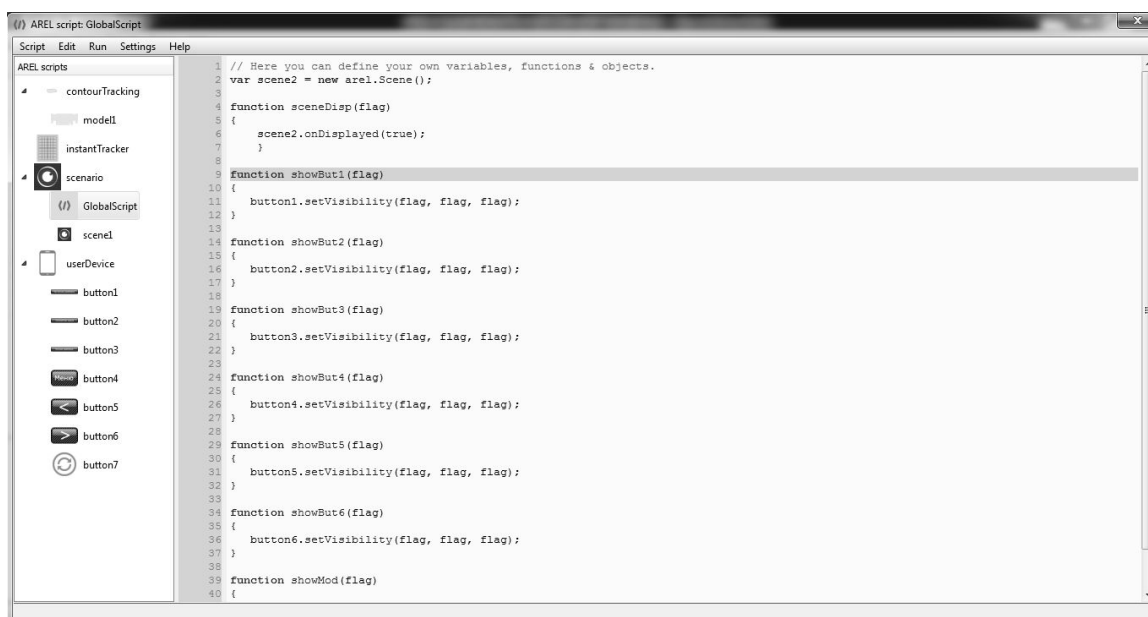


Рис. 1. Редактор кода AREL script editor

При разработке дизайна программы учитывались следующие факторы:

- Меню программы не должно быть запутанным.
- Должны использоваться стили различные при любом освещении.
- Должно быть достаточно свободного места на экране девайса для четкого отображения CAD-модели (Рис. 3).

Испытание программы проходило на платформе Android. На ранней стадии разработки программы, как и предполагалось, было реализовано три основных пункта:

1. Устройство крана (Рис. 2), при нажатии на соответствующую кнопку можно рассмотреть детали крана в сечении. Также, при нажатии на соответствующую выноску, можно узнать подробную информацию о детали (Рис. 4).
2. Разборка и сборка крана (Рис. 3).
3. Частичная разборка крана для замены различных деталей.

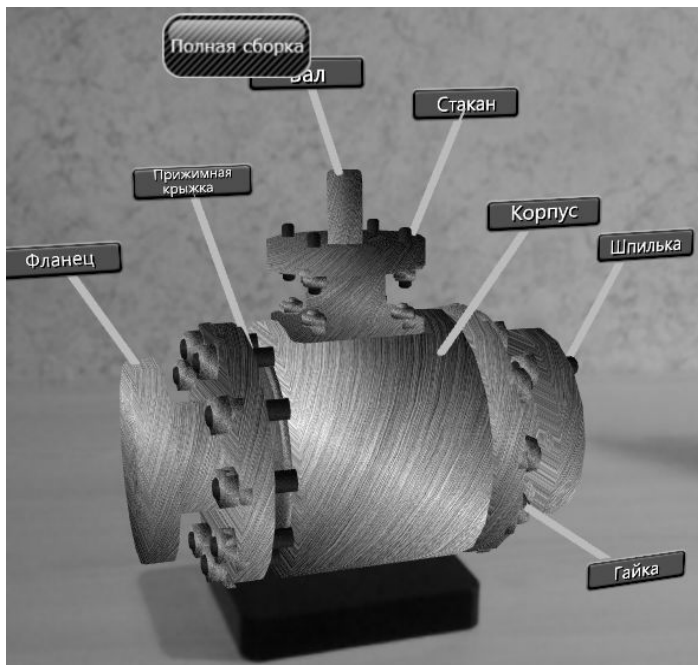


Рис. 2. Скриншоты программы (устройство крана)

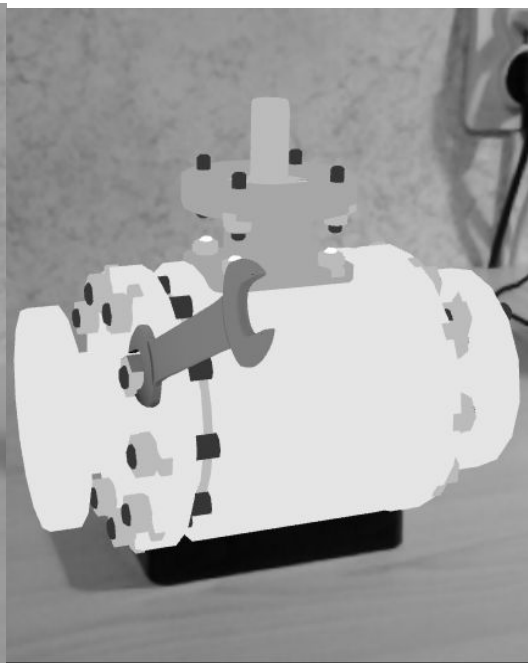


Рис. 3. Скриншоты программы (полная разборка крана)



Рис. 4. Скриншот программы с планшета

В результате анализа работы были сделаны следующие выводы. Главные преимущества программы в интерактивности и наглядности. Можно посмотреть все составляющие крана и информацию о них. При ремонте узла на экран выводится пошаговая инструкция с подробной информацией о инструменте, процессе и т.д. (Рис. 3). Это сводит ошибку при ремонте к минимуму. Также плюсами является компактность (нет необходимости носить документацию по обслуживаемой детали), простота использования (большая часть населения умеет пользоваться девайсами) и легкий доступ к руководству (по средствам считывания QR-кода приложение автоматически запускается, т.е. QR-код можно размещать прямо на оборудовании или вблизи него, если оно не транспортируется). Недостатки программы: несовершенство технологий. Сопоставление картинки на экране с реальным объектом иногда не точно. Это происходит по следующим причинам: несовершенство алгоритма трекинга, недостаточное качество камеры и быстродействие процесса, отсутствие дополнительных источников о положении отслеживаемого объекта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://dev.metaio.com/>
2. <http://www.junaio.com/augmented-reality/>
3. Хроницер. Д. Основы Blender. Учебное пособие // http://b3d.mezon.ru/index.php/Blender_Basics_4-rd_edition
4. Флэнаган. Д. JavaScript. Подробное руководство // Санкт-Петербург-Москва, Изд-во Символ, 2008, стр. 34–45.
5. <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/481361/2>

Сведения об авторах

Ошуев Андрей Михайлович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, пр. Непокоренных 8.к.2
Должность: студент.
Электронная почта: muigel92@gmail.com

Югов Иван Дмитриевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, пр. Непокоренных 8.к.2
Должность: студент.
Электронная почта: yugov-vanya@mail.ru

УДК : 21474

В.И. Решетников

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ В ТРАНСПОРТЕ

Аннотация. В статье рассматривается использование магнитной левитации в транспорте, раскрыты преимущества использования данной технологии, ее недостатки, а также методы решения некоторых из них.

Ключевые слова: транспорт, магнит, левитация, устойчивость.

1. История начала использования и применение в нынешнее время в транспорте.

К настоящему времени, распространение получили системы с электромагнитным подвесом (ЭМП) (Трансрапид, построенный в Германии и Китае) и с электродинамическим подвесом (ЭДМ) (Маглев система, Япония). Недостатками ЭМП являются наличие сложных

систем стабилизации и контроля рабочего зазора, а также необходимость электроснабжения. Недостатком ЭДП является зависимость силы левитации от скорости движения поезда (разгон осуществляется на колёсах). К новому направлению относятся подвесы с использованием объёмных ВТСП элементов, переведённых в сверхпроводящее состояние в присутствии магнитного поля – режим fc .

Следующий шаг транспортной эволюции – бесконтактный электромагнитный подвес. Но простые электромагниты обладают существенным недостатком – большие тепловыделения пропорциональные квадрату тока. Для создания достаточной подъёмной силы необходимы токи значительной величины. Использование обмоток из низкотемпературного сверхпроводника позволяет решить эту проблему, но в этом случае затраты на охлаждение чрезмерно высоки. Качественных и доступных проводов из высокотемпературных сверхпроводников в достаточном количестве для обмоток электромагнитов в настоящее время не существует. В настоящее время наиболее перспективным является использование для магнитного подвеса объёмных ВТСП элементов.

Существуют различные варианты взаимного расположения ПМ и ВТСП элементов, заохоложенных в присутствии магнитного поля. Вертикальный, боковой, и обращённый вертикальный подвес. Магнитная система может состоять из 1, 2 и 3 рядов ПМ.

2. Преимущества, получаемые при использовании магнитной левитации в транспорте.

Внедрение магнитной левитации в поезда даст нам следующие преимущества:

- высокая скорость;
- экологическая безопасность;
- бесшумность;
- хорошая интеграция за счёт расположения пути на столбах в существующий ландшафт;
- высокая надёжность при движении с высокими скоростями, обусловленная отсутствием колёс с действующими на них знакопеременными ударными, и центробежными нагрузками;
- повышенный КПД;
- отсутствие износа рельс, из-за отсутствия контакта с ними.

3. Проблемы, возникающие при использовании магнитной левитации в транспорте.

- необходимость перманентной левитации;
- нижний предел начальной скорости возникновения левитации;
- контроль номинального левитационного зазора;
- вертикальная и горизонтальная устойчивость транспортного средства;
- необходимость снижения магнитодинамического торможения узла левитации;
- унификация магнитных полюсов для систем левитации, боковой стабилизации и линейной тяги;
- метод и устройство активации (намагничивания) объёмных высокотемпературных сверхпроводников по месту штатного расположения;
- необходимость средств обеспечения режима «незатухающего тока» сверхпроводниковых катушек магнитных полюсов;
- экранирование магнитных полей рассеяния в пассажирском салоне и на грузовой платформе;

4. Решение проблем.

4.1. Перманентная левитация. Под термином «перманентная левитация» в данном контексте понимается левитация транспортного средства, обеспечиваемая на стоянке, участках разгона и торможения и в пути следования. В технологиях «Transrapid» (ФРГ, КНР) и «HSST» («Linimo» - Япония, «Rotem» - Республика Корея, «AMT» - США) перманентная левитация обеспечивается электромагнитами с ферромагнитными сердечниками на

постоянном токе, амплитудное значение которого регулируется в небольших пределах с высокой частотой, 5-10 КГц. Недостатком названных технологий является принципиальная невозможность создания воздушного зазора более 10 мм. Зазор до 100 мм обеспечивает технология «Maglev» (Япония). Однако он достигается при относительно высокой начальной скорости движения транспортного средства, 22-27 м/с (80-100 м/ч). На стоянке, во время набора и снижения скорости транспортное средство движется на колесах. В технологии «Inductrack» (США) начальная скорость левитации на порядок ниже, чем в технологии «Maglev». Воздушный зазор составляет 30-50 мм. Во всех технологиях предусматривается использование ходовых и стабилизирующих колес, выполняющих, исключая «Maglev», вспомогательную роль. Таким образом, все, без исключения, магнитолевитационные транспортные средства – экспериментального и коммерческого назначения снабжаются колесами.

Новая отечественная технология «МагТранСити» аккумулирует достоинства выше названных магнитолевитационных транспортных технологий. Малую начальную скорость возникновения левитации $\sim 1-2$ м/с (3,5-7 км/ч) обеспечивают полюса, собранные из постоянных магнитов (и, как перспективный вариант, из объемных высокотемпературных сверхпроводников) по простейшей схеме «array Halbach» ($\uparrow \rightarrow \downarrow$) 1 за счет присущего ей небольшого полюсного деления, а также путевые треки из поперечных «граммовских» катушек 4 (рис. 1, а). Такие треки устанавливаются на остановочных пунктах, обеспечивая левитацию во время разгона транспортного средства и его замедления по прибытии на станцию.

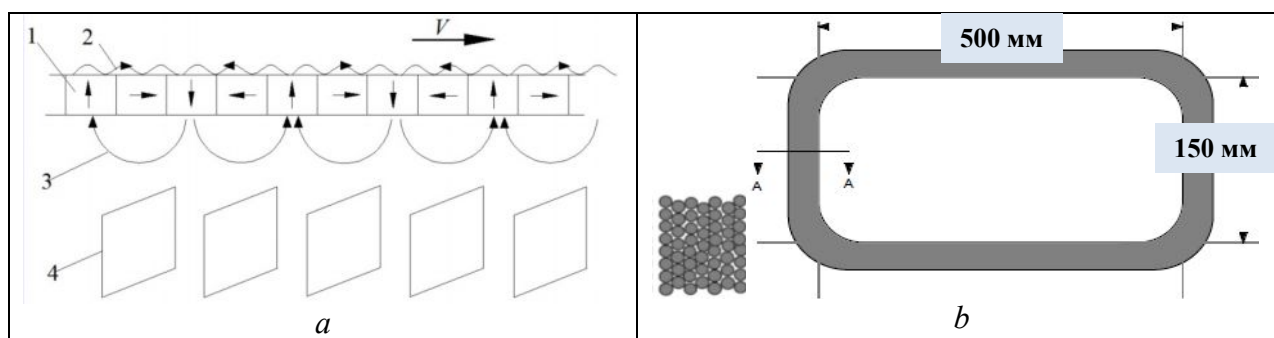


Рис. 1. Система магнитодинмической левитации с «array Halbach» ($\uparrow \rightarrow \downarrow$).

а) 1- чередующиеся магнитные полюса по схеме «array Halbach»; 2 – магнитное поле рассеяния; 3 – магнитное поле в левитационном зазоре; 4 – поперечные короткозамкнутые катушки путевого трека; V – скорость транспортного средства.

б) типовая поперечная короткозамкнутая катушка путевого трека

4.2. Боковая устойчивость. По ряду вариантов решения этой проблемы имеются предложения, сформулированные и в разной степени разработанные в ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения». Решению данной важной проблемы может способствовать применение ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком для высокоскоростных поездов с магнитной левитацией.

ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком помимо тяговых и левитационных усилий способны развивать усилия поперечной автоматической самостабилизации. Усилия поперечной самостабилизации для транспортного экипажа, подвешенного в магнитном поле, обеспечивают точную его ориентацию относительно путевой структуры за счет того, что при боковом смещении поезда, например, из-за сильного бокового ветра, магнитное поле индуктора ЛАД при взаимодействии с токами, им индуктированными во вторичном

элементе, создает механическое усилие, возвращающее высокоскоростной состав в исходное состояние. Причем величина усилия, возвращающего экипаж на магнитном подвесе в положение, когда он располагается симметрично относительно путевой структуры, будет пропорциональна величине бокового смещения. Это значительно повышает безопасность движения высокоскоростного транспорта. В качестве примера рассмотрим конструктивную схему ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком для системы высокоскоростного наземного транспорта, развивающего усилия поперечной самостабилизации экипажа, разработанную специалистами РГУПС.

ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком (рисунок 1) содержит магнитопровод индуктора, образованный сочетанием шихтованных в поперечном направлении сердечников 1, соединенных между собой шихтованными в продольном направлении сердечниками 2, имеющими форму гребенки. Катушки 3 многофазной (трехфазной) обмотки охватывают зубцы как поперечных, так и продольных сердечников. У вторичного элемента - ВЭ (якоря) электропроводящая часть 4 имеет в поперечном сечении форму равнобедренной трапеции, большее основание которой обращено к индуктору ЛАД, а меньшее прилегает к магнитопроводящей части ВЭ. Катушки 3 многофазной (трехфазной) обмотки образуют продольные и поперечные ряды. Катушки 3 каждого продольного ряда обмотки образуют одинаковые порядки следования фаз А, В и С. А катушки 3 поперечных рядов имеют до середины каждого ряда один, а после середины – противоположный порядок следования фаз.

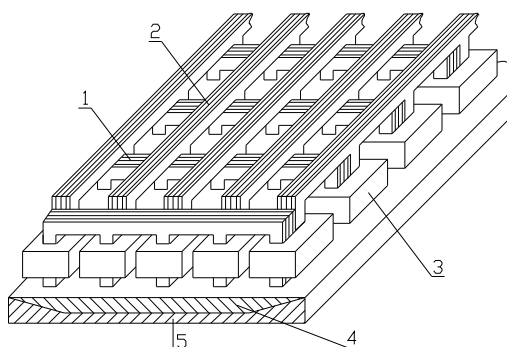


Рис. 1. -ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком для ВСНТ

1 – сердечник, шихтованный в поперечном направлении; 2 – сердечник, шихтованный в продольном направлении; 3 – катушка многофазной обмотки; 4 – электропроводящая часть ВЭ (якоря);
5 – магнитопроводящая часть вторичного элемента

Принцип действия данного ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком заключается в следующем. При подключении обмотки индуктора к источнику трехфазного напряжения по ее катушкам потечет трехфазный ток, который создаст бегущие магнитные потоки. Магнитный поток индуктора, бегущий в направлении движения (в продольном направлении), пересекая электропроводящую часть 4 ВЭ (якоря), будет наводить в ней электродвижущие силы (ЭДС), которые вызовут протекание вихревых токов. Магнитный поток, бегущий в продольном направлении, при взаимодействии с вихревыми токами, индуцированными им во вторичном элементе, создает тяговое и подъемное (левитационное) усилия. Левитационное усилие (усилие магнитного подвеса) отталкивает индуктор (транспортный экипаж) от ВЭ (путевой структуры) и под действием тягового усилия приводит его в движение в направлении, противоположном направлению продольно бегущего магнитного потока. Магнитные потоки, бегущие в поперечном движению высокоскоростного экипажа направлении, навстречу друг другу при пересечении ими

электропроводящей части 4 ВЭ наводят в ней ЭДС и вихревые токи. Магнитные потоки, бегущие в поперечном направлении, при взаимодействии с вихревыми токами, ими индуктированными, создают механические усилия, направленные навстречу друг другу. В том случае, если вагон высокоскоростного экипажа расположен симметрично (в поперечном направлении) относительно путевой структуры (ВЭ), то поперечные механические усилия одинаковы, взаимно уравниваются и не оказывают никакого влияния на движение экипажа на магнитном подвесе. При смещении индуктора линейной машины в поперечном направлении относительно путевой структуры (например, при сильном боковом ветре, действующем на вагон высокоскоростного поезда, подвешенный в магнитном поле, или при вписывании в кривой участок пути) равновесие встречно направленных поперечных механических усилий нарушается. Это происходит из-за того, что часть индуктора ЛАД располагается при боковом его смещении над участком путевой структуры (электропроводящей части якоря), активное сопротивление которого будет большим, чем части ВЭ под основной частью индуктора. При этом поперечное боковое усилие, возникающее в результате взаимодействия бегущего в поперечном направлении магнитного потока с токами электропроводящей части якоря (ВЭ), имеющей большее магнитное сопротивление, увеличится. В то же самое время величина поперечного бокового усилия, создаваемого при взаимодействии магнитного поля, бегущего в поперечном направлении, с вихревыми токами в центральной части ВЭ, имеющей меньшее активное сопротивление, будет оставаться на прежнем уровне (как и до бокового смещения экипажа). Под действием разности поперечных усилий индуктор ЛАД (экипаж) плавно возвратится в прежнее положение и будет располагаться симметрично относительно путевой структуры. Трапециевидальная форма поперечного сечения электропроводящей части ВЭ (якоря) обеспечивает плавное увеличение ее сопротивления от центрального сегмента ВЭ к его краям. Тем самым достигается плавность изменения усилий поперечной (боковой) самостабилизации левитирующего экипажа относительно путевой структуры и исключается возникновение боковых колебаний. Все эти процессы происходят автоматически и повышают безопасность при движении левитирующих высокоскоростных экипажей.

Данная система боковой стабилизации на основе ЛАД с продольно-поперечным магнитным потоком, по нашему мнению, имеет хорошие перспективы для использования в высокоскоростных поездах с магнитной левитацией как самостоятельно в качестве тягово-левитационного привода, так и в качестве дополнительного устройства, предназначенного только для боковой стабилизации.

5. *Вывод.* По проведенному исследованию можно сказать, что при использовании магнитной левитации возникает множество проблем, которые необходимо решать. Однако перспективность данной технологии толкает человечество на скорейший поиск методов устранения ее недостатков.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://www.transssyst.ru/> Транспортные системы и технологии
2. Козорез В.В. Динамические системы магнитно-взаимодействующих свободных тел. – Киев: Наук. думка, 1981. – 140 с.
3. Михалевич, В.С. «Магнитная потенциальная яма» – эффект стабилизации сверхпроводящих динамических систем [Текст] / В.С. Михалевич, В.В. Козорез, В.М. Рашкован и др. – Киев: Наукова думка, 1991. – 336с.
4. Е.Ю. Сундуков «Некоторые технические решения для повышения эффективности транспорта на магнитном подвесе» 2013
5. В.А. Соломин, В.Н. Носков, М.Ю. Пустоветов, Н.С. Флегонтов «Система боковой стабилизации высокоскоростного экипажа с магнитной левитацией» 2013
6. К.Л. Ковалев, В.Н. Полтавец, Л.К. Ковалев, Р.И. Ильясов, В.Т. Пенкин «Магнитные подвесы для систем высокоскоростного наземного транспорта» 2013

Сведения об авторах

Решетников Вячеслав Игоревич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент.
Электронная почта: bmx_tricks@mail.ru

УДК:66-8

В.Ю. Бажин, М.Н. Назарова, С.С. Родин

**ДИАГНОСТИКА И ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ ГАЗОПРОВОДОВ**

Аннотация. Объектом исследования является диагностика и оценка остаточного ресурса работы электромеханических приборов и агрегатов, входящих в состав компрессорных станций магистральных газопроводов, позволяющая уменьшить число внезапных (вынужденных) отказов и оптимизировать техническое обслуживание и ремонта. Надежность и бесперебойность этого оборудования обеспечивает непрерывность всего технологического процесса. Компрессорные станции с газотурбинным приводом (КСГП) широко распространены на объектах магистральных газопроводов.

Ключевые слова: диагностика, оценка остаточного ресурса, компрессорная станция, газопровод.

Актуальность работы. Значительная часть затрат предприятия приходится на эксплуатацию оборудования, вследствие чего возникает острая необходимость в информации о состоянии работающего электроприводного оборудования с целью избегания аварийных и предаварийных режимов работы. Эта информация даст необходимую координацию в организации заблаговременного ремонта или замены оборудования, планировании капиталовложений на производственно-технические нужды предприятия в будущем. Как показывает практика, своевременный переход к техническому обслуживанию приносит выгоду, эквивалентную стоимости 30% общего парка электрооборудования.

Большой вклад в решение теоретических вопросов планирования ремонтов технического оборудования и систем внесли отечественные и зарубежные исследователи, такие как И.А. Биргер, В.А. Русов, И.П. Копылов. Научные и прикладные вопросы организации планово-предупредительных ремонтов и диагностики электрооборудования рассмотрены в трудах Московского государственного горного университета, ООО «ВНИИГАЗ», сотрудниками Национального минерально-сырьевого университета «Горного» во главе профессором А.Е. Козяруком, ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», ОАО «Гипрогазцентр».

Цель работы. Развитие методического обеспечения планирования технического обслуживания и ремонта электрооборудования для обеспечения надежного и эффективного функционирования компрессорных станций магистральных газопроводов.

Задачи работы.

1. Рассмотреть общие алгоритмы организации диагностики и оценки электрических машин, электрических агрегатов, приборов с упором на создание подсистемы оценки остаточного ресурса работы с учетом новизны и сложности решения;

2. Анализ существующих методов диагностики и определения остаточного ресурса работы электрооборудования;

3. Техничко-экономическое обоснование внедрения системы диагностики и оценки остаточного ресурса;

4. Аппаратная и программная реализация в тяжелых эксплуатационных условиях.

Количество КГСП составляет более 80% [1] от общего числа компрессорных станций магистральных газопроводов. В настоящее время идет замена газотурбинных приводов электроприводами. Это достигается путем применения мощного инвертора напряжения (GCT/ IGBT инвертора) и высокооборотного синхронного/асинхронного двигателя.

Сложность диагностики и мониторинга электрооборудования обусловлена условиями эксплуатации. Поэтому используют неразрушающие методы контроля, основанные на физическом принципе. Физический принцип работы заключается в следующем: любые возмущения, как электрического так и механического характера, приводят к возникновению магнитного потока в воздушном зазоре электрических машин и слабой модуляции тока. Такой принцип позволяет получать информацию об объекте в штатных режимах работы, не останавливая и не разбирая оборудование.

Основными методами диагностики по физическому принципу будут являться:

- Диагностика повреждений по электрическим параметрам;
- Метод ваттметрографии;
- Метод конечных элементов;
- Вейвлет-анализ.

К примеру, основными повреждениями электрических машин являются:

– Повреждения, вызывающие несимметрию электрических цепей статора (двигатель, вышедший из строя на автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС-8) предприятия ООО «Газпром Газэнергосеть» Санкт-Петербург из-за короткого замыкания в обмотках статора представлен на рис. 1.);

- Повреждения, вызывающие несимметрию электрических цепей ротора;
- Повреждения, вызывающие несимметрию магнитных полей.



Рис. 1. Повреждения двигателя

Так как важна достоверность результата диагностики, то весь объем информации, обработка его и принятие решений целесообразно технически реализовывать на современной системе автоматического управления с программным комплексом «SCADA-система».

Эффективность внедрения системы мониторинга и диагностики оценивается по отношению величины снижения суммарного финансового ущерба от возможных аварий за прогнозируемое время эксплуатации компрессорной станции, к величине затрат на ее внедрение и обслуживание за это время.

Основными показателями, определяющими целесообразность внедрения системы диагностики являются:

- Прогнозируемое снижение величины риска отказа;
- Снижение себестоимости продукции за счет эффективности при техническом обслуживании.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бабури́н С.В. Повышение надежности электроснабжения компрессорных станций с газотурбинным приводом // Электроснабжение предприятий НГП. СПб, 2007. 20 стр.
2. А.Е. Козярук, А.В. Кривенко, Ю.Л. Жуковский, С.В. Бабури́н, М.С. Черемушкина, А.А. Коржев. Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования машин и механизмов // Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2013. 90 стр.
3. Тарасов Ю.Д., Докулин В.П., Николаев А.К. Напорные гидротранспортные установки в горной промышленности // Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2008, 104 стр.
4. Таджибаев А.И. Автоматизированные системы распознавания состояний электроустановок. СПб.: Энергоатомиздат, 2001. 176 стр.
5. И.П. Копылов. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высшая школа, 1994.

Сведения об авторах

Бажин Владимир Юрьевич

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Рабочий адрес: 199106, Санкт-Петербург, 21-линия В.О., д.2.

Ученая степень, звание: д.т.н., профессор

Должность: декан Химико-металлургического факультета

Электронная почта: bazhin-alfoil@mail.ru

Назарова Мария Николаевна

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Рабочий адрес: 199106, Санкт-Петербург, 21-линия В.О., д.2.

Ученая степень, звание: к.т.н., доцент

Должность: доцент каф. ТХНГ

Электронная почта: nmn_oilrb@mail.ru

Родин Сергей Сергеевич

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Рабочий адрес: 199106, Санкт-Петербург, 21-линия В.О., д.2.

Должность: студент

Электронная почта: ssrodia@gmail.com

УДК: 681.5.08

Н.А. Юдкина, С.В. Филиппов, А.Г. Колосько, Е.О. Попов

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО И ПОЛЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Аннотация. Разработан блок автоматизации эксперимента по исследованию термического и полевого воздействия на углеродные наноструктуры. Данный блок позволяет

осуществлять программное управление выходным напряжением силового автотрансформатора, который регулирует температуру в термодеструкционной камере или напряжение на электродах автоэмиссионной установки.

Ключевые слова. углеродные наноструктуры, автоматизация эксперимента, LabView, термодеструкция, автоэмиссия.

Проблема управления силовыми блоками питания является непростой задачей. Особенно это касается управления высоковольтными блоками питания и блоками питания, рассчитанными на низкоомную нагрузку (нагревательный элемент). ЛАТР является удобным устройством для регулирования питания как понижающих трансформаторов, так и высоковольтных.

В нашей установке, предназначенной для исследования термического и полевого воздействия на углеродные наноструктуры, мы используем высоковольтный трансформатор, а также трансформаторы для питания нагревательных элементов.

Целью данной работы являлась разработка блока автоматизации, позволяющего плавно и равномерно изменять температуру исследуемых образцов для построения термодеструкционных спектров, с одной стороны, а с другой стабилизировать ток по напряжению в полевых эмиссионных экспериментах. Разработка блока автоматизации и его отладка проводились в четыре этапа.

Первым этапом работы была сборка блока. На этом этапе на ЛАТРе был смонтирован шаговый двигатель с контроллером, имеющим драйвера в программной среде графического программирования LabView. Для осуществления контроля выходного напряжения ЛАТРа с помощью компьютера и дополнительной обратной связи к автотрансформатору был подключен резистивный делитель напряжения.

На втором этапе было налажено компьютерное управление блоком. Для этого на языке графического программирования LabView 2013 была разработана специальная программа, которая позволяет программировать направление и скорость поворота штока автотрансформатора (на рис. 1 представлен фрагмент её кода). Впоследствии эта программа была включена в более общую программу многоканальной системы сбора данных (рис. 2).

На третьем этапе блок был подключён к нагревателю вакуумной термодеструкционной камеры, который нагревал тигель с исследуемым веществом. К тиглю была подключена термопара, усиленный сигнал которой подавался на плату сбора данных. На рис. 2 представлена блок-схема автоматизированной установки по исследованию термодеструкции.

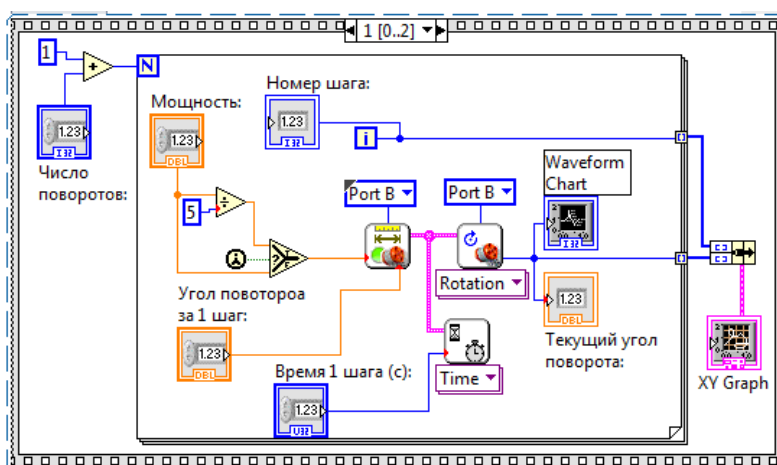


Рис. 1. Фрагмент кода программы, управляющей блоком автоматизации

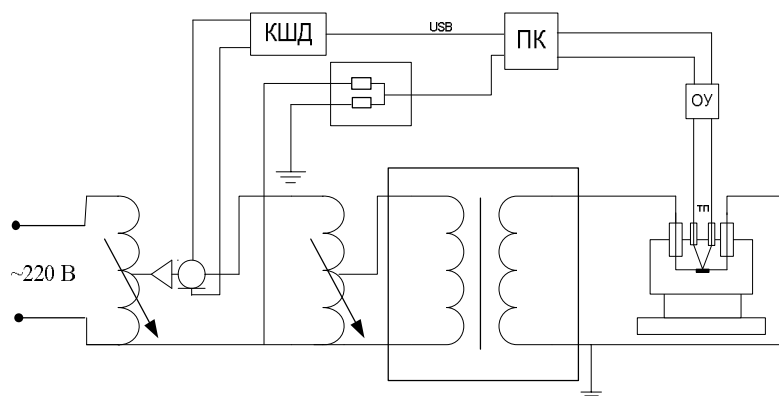


Рис.2. Блок-схема установки по исследованию термодеструкции (КШД - контроллер шагового двигателя, ОУ - операционный усилитель)

Четвёртым этапом являлась демонстрация работы собранного прибора, запись экспериментальных данных, построение графиков и анализ результатов.

В результате отладочных экспериментов были получены временные зависимости угла поворота вращающегося шагового двигателя, выходного напряжения автотрансформатора и соответствующего роста температуры. На рис. 3 представлен "принт-скрин" программы с полученными графиками.

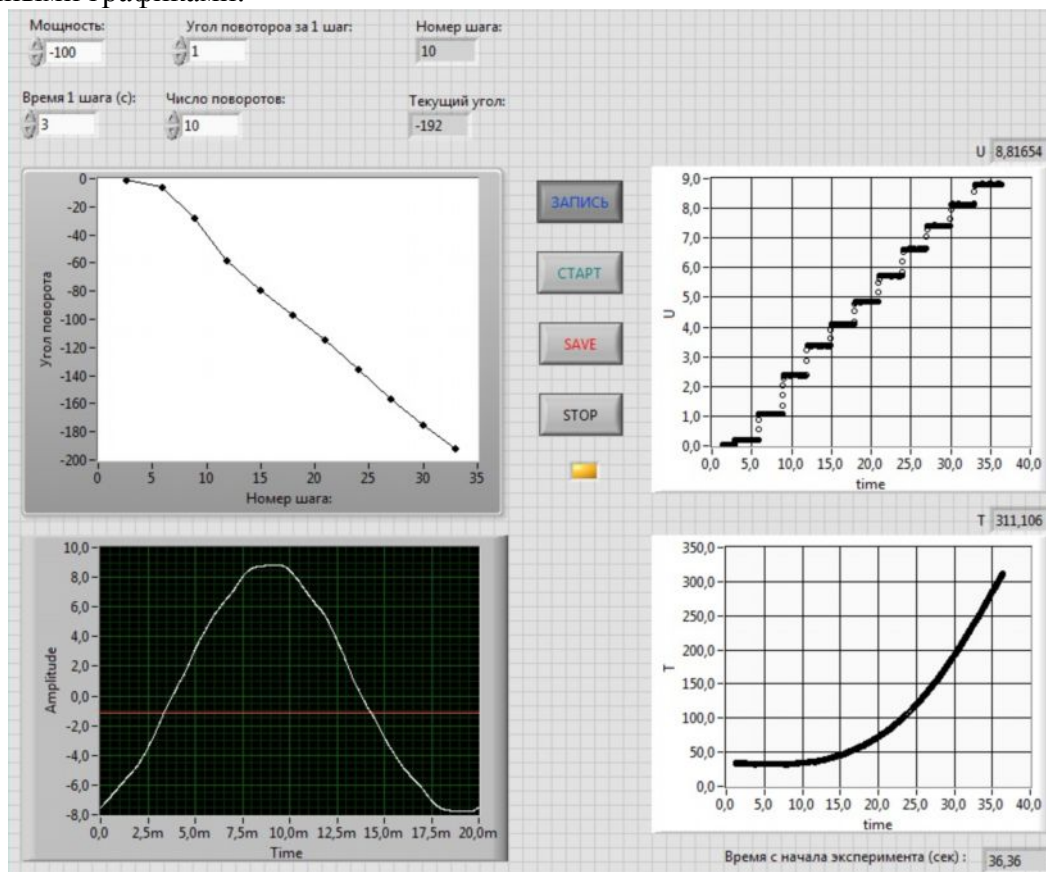


Рис. 3. Графический интерфейс программы, управляющей установкой по исследованию термодеструкции

На рисунке: (слева сверху) зависимость угла поворота штока ЛАТРа от номера шага, (справа сверху) временная зависимость амплитуды напряжения ЛАТРа, (слева снизу) синусоидальный профиль выходного напряжения ЛАТРа, (справа внизу) временная зависимость температуры в тигле термодеструкционной камеры

Изменение угла поворота и числа поворотов штока ЛАТРа позволяет задавать скорость роста температуры в термодеструкционной камере, а изменение времени "шага" меняет максимальную достигаемую температуру, так как температура зависит от времени прогрева тигля.

Возможность управления скоростью роста температуры даёт определённые преимущества при проведении научных термодеструкционных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Р.Ш. Загидуллин, Multisim, Labview, Signal Express. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств, 2009. – 368.
2. А.Г. Колосько, М.В. Ершов, С.В. Филиппов, Е.О. Попов, Письма в ЖТФ, том 39, вып. 10, 2013. – 65.

Сведения об авторах

Юдкина Нина Александровна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

Должность: студент

Электронная почта: yohaasaura2009@gmail.com

Филиппов Сергей Владимирович

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

Рабочий адрес: 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

Должность: аспирант, старший лаборант с ВПО, ассистент каф. ПиК СПбПУ

Электронная почта: s.filippov@mail.ioffe.ru

Колосько Анатолий Григорьевич

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

Рабочий адрес: 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

Ученая степень, звание: к.ф.-м.н.

Должность: научный сотрудник, доцент

Электронная почта: agkolosko@mail.ru

Попов Евгений Олегович

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

Рабочий адрес: 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

Ученая степень, звание: к.ф.-м.н., доцент

Должность: с.н.с., доцент

Электронная почта: e.porov@mail.ru

УДК: 004.4

Л.А. Мячина

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ МОДЕЛИРУЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. Данная работа посвящена обзору способов визуализации движений моделируемых динамических систем. Рассматриваются наиболее часто используемые подходы к представлению полученных результатов моделирования при решении различных задач динамики, а также визуализации пространственных перемещений сложной

механической системы, особенно обладающей большим количеством степеней свободы. Приводятся примеры наиболее популярных современных пакетов программного обеспечения, реализующих возможность анализа динамических систем.

Ключевые слова: визуализация, анимация, MATLAB, Simulinc, SimMechanics, OpenModrlica, NX.

Важнейшую роль в исследовании задач, в том числе, путем их компьютерного моделирования, играют способы представления полученных результатов. Для анализа результатов моделирования различных динамических систем необходима визуализация не только результатов моделирования, но и самих исследуемых явлений. Это связано с тем, что многие закономерности в механике носят геометрический характер, связаны со свойствами определенных геометрических структур. Таким образом, графическое представление информации позволяет проследить связи механики и геометрии, столь плодотворные для обеих наук. [1]

Наиболее широко традиционно используется визуализация в форме временных зависимостей исследуемых параметров. Графические зависимости, которые не отражают наглядно суть процесса, происходящего в объекте, а позволяют судить о работоспособности системы только по косвенным признакам, таким как устойчивость, колебательность, чувствительность, время переходного процесса и т.п. [5] Однако, если моделируются пространственные движения механической системы, наибольшей наглядностью в представлении результатов будет обладать трехмерная анимация. Указанный способ визуализации пространственных перемещений механической системы, особенно обладающей большим количеством степеней свободы, позволяет качественно оценить все ее перемещения сразу и сделать вывод о степени адекватности модели. При этом не требуется сопоставление множества временных зависимостей отдельных координат, описывающих положение системы, то есть представление результатов в форме анимации может существенно сократить время, затрачиваемое исследователем для анализа. [2]

Существует много подходов к визуализации движения динамической системы. Можно ли выявить универсальный подход, обладающий простотой построения математической модели и задания входных параметров, высокой вычислительной мощностью и точностью, а также удобством наблюдения результатов? Рассмотрим несколько.

Первый подход предполагает визуализацию в любом пакете прикладных математических программ, предоставляющем окружение для решения задач технических вычислений и расчётов, кроме того оснащённом инструментом построения 2d и 3d графиков и анимации. Перед непосредственной работой в таком пакете проводится довольно большая самостоятельная подготовка. Существует необходимость создания математической модели исследуемой динамической системы. В результате аналитических вычислений должны быть получены уравнения движения. Следующий этап работы заключается в решении этих уравнений и реализуется уже в самой программе. Наиболее продуктивно использование таких программ, которые предоставляют пользователю встроенные функции для анализа данных, в частности решения дифференциальных уравнений. Примером таких пакетов математических программ могут служить Scilab, MATLAB, Mathematica. На следующем этапе, полученные численные результаты перемещений используются для построения графиков зависимостей и создания самой анимации движения.

Второй подход предполагает использование визуальных сред на основе объектно-ориентированного языка для моделирования сложных физических систем. Такие среды являются, по сути, конструкторами. Механическая система в этом случае представляется связанной блочной диаграммой, что практически устраняет аналитическую подготовку. Модель, построенная первым способом, отображает математические данные движения механизма, т.е. алгебраические и дифференциальные уравнения, которые рассчитывают

будущее состояние механизма в зависимости от его настоящего состояния. Модель второго типа изображает физическую структуру механизма, геометрические и кинематические отношения его компонентов. Программа автоматически преобразует это структурное изображение во внутреннюю, эквивалентную математическую модель. Это экономит время и усилия исследователя по самостоятельной разработке математической. В окно создаваемой модели переносятся отдельные блоки и затем рисуются линии для соединения блоков между собой. Для корректного решения необходимо, чтобы модель содержала следующие блоки:

- блоки, описывающие структуру механизма,
- блоки, моделирующие какие-либо воздействия,
- блоки, снимающие показания,
- блоки задания стационарных и нестационарных связей,
- блоки упруговязких элементов и др.

В качестве задаваемых параметров механических блоков выступают массово-инерционные свойства тел (звеньев механизмов), координаты характерных точек тел (такие, как центры масс, точки приложения внешних и управляющих воздействий, точки присоединения сочленений). Чтобы избежать ошибок при моделировании, необходимо быть уверенным, что топология построенной блочной диаграммы правильная. Блочная диаграмма будет правильна, если все механизмы, из которых она состоит, адекватны. Чтобы определить, является ли модель адекватной, сначала необходимо получить основное дерево каждого механизма, составляющего модель, и затем определить адекватность каждого дерева.[1] Вычисления производятся решателем, встроенным в программный пакет. Далее пользователю предоставляется возможность визуализировать движения моделируемых машин и механизмов. Движения механизма можно наблюдать в процессе моделирования в специальном окне визуального наблюдения. Примерами таких сред могут служить: Simulinc (Раздел, SimMechanics) и OpenModrlica.

Третий подход предполагает использование для моделирования программных комплексов для динамического и кинематического анализа механических систем, которые позволяют:

- создавать компьютерную модель системы из жестких и деформируемых элементов, соединенных между собой различными связями,
- создавать параметризованную модель,
- визуализировать модель конструкции мощными средствами трехмерной графики,
- задавать вынужденные перемещения и движения элементов системы и прикладывать активные внешние силы и моменты,
- проводить статический, динамический и кинематический анализ системы,
- визуализировать движение системы и фиксировать заданные события
- оптимизировать изделие по заданному критерию,
- получать результаты анализа в удобном для оценки и интерпретации виде: графики, таблицы, анимация. [4]

В эти системы содержат себе модули проектирования CAD, что позволяет создавать в них 3d модели отдельных элементов системы, объединять их в сборки, проводить анализ пересечений и расчет массы, на ранних этапах проектирования выполнить первоначальные физические проверки и провести симуляцию работоспособности конструкции. Так же содержат модуль CAE для решения задач механики твердых деформируемых тел, тепловых задач и задач гидрогазодинамики. Примерами так называемого «SoftwareforMultibodySystemSimulation» являются NX (Unigraphics), ADAMS, MBDyn, Robotran, Универсальный механизм.

В статье были рассмотрены наиболее общие подходы к решению задач динамики сложных механических систем и визуализации их движения и результатов расчётов.

Сравнивая их, нельзя однозначно назвать один универсальный, можно выявить определённые достоинства и недостатки и попытаться найти область применения каждому:

- первый способ – наиболее трудоёмкий и требует достаточной подготовки, визуализация движения примитивна; однако вычисления не занимают много времени;

- второй способ обладает существенным недостатком визуализации строенными средствами, поскольку происходит очень сильное снижение скорости моделирования при включенной анимации, кроме того, внешний вид тел при стандартной визуализации недостаточно реалистичен; преимуществом способа является отсутствие необходимости аналитических изысканий, а также создания геометрических моделей отдельных частей механизма, что обусловлено использованием готовых блоков;

- третий способ требует минимум знаний в области математики и механики, поскольку является самым наглядным, все параметры модели, связи и нагрузки задаются в режиме 3d визуализации, и, следовательно, имеется возможность непосредственного контроля модели на каждом этапе её создания; однако, скорость вычислений на много меньше, чем у предыдущих способов, а также этот способ наименее точный, так как увеличивает суммарную ошибку, связанную с аппроксимацией геометрии. [3]

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности использования каждого подхода в конкретном случае:

- первый способ подходит для систем с небольшим числом звеньев и степеней свободы, когда аналитическое построение математической модели займет меньше времени, чем компьютерное, а так же для получения наиболее точного решения;

- второй способ подходит для систем, состоящих из большого числа стандартных звеньев, обладающих большим числом степеней свободы, когда необходимо понять сам характер движения;

- третий способ наиболее удобен для сложных систем, состоящих из большого числа нестандартных звеньев, обладающих большим числом степеней свободы, когда необходимо понять все тонкости движения системы, оценить его устойчивость, или узнать о невозможности перемещения.

Так или иначе, все подходы к визуализации движения обладают несомненным достоинством: возможностью быстрого изменения параметров системы и выявления их оптимальных значений, а также качественно оценить все ее перемещения сразу. Но необходимо помнить, что использование анимации не исключает необходимости применения традиционных способов представления результатов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.С. Щербаков, М.С. Корытов. Моделирование и визуализация движений механических систем в MATLAB: Учебное пособие – Омск: Изд-во СиБАДИ, 2007. – 84с.
2. В.Л. Голо, Д.О. Сеницын. Компьютерное моделирование и визуализация задач механики и геометрии. – М.: Изд-во ЦПИ при механико-математическом ф-те МГУ, 2009, – 120 стр.
3. А.А. Исаков, Ю.Б. Сениченков. Открытый проект OpenMVL - конструктор сред визуального моделирования сложных динамических систем. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 5стр.
4. <http://real.uwaterloo.ca/~mbody/#Software> - Multibody System Dynamics: Research Activities
5. <http://msd.com.ua/inzhiniring-zlektroprivodov/kompyuternye-metody-issledovaniya-s-vizualizaciej-dvizhenij-mexanizmov-i-processov-obrabotki-veshhestva-materiala/> - Компьютерные методы исследования с визуализацией движений механизмов и процессов обработки вещества

Сведения об авторах

Мячина Любовь Александровна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент. Электронная почта: Amog_mio@inbox.ru

УДК: 621.922

А.К. Петров, Ю.А. Фадин

**КОНТРОЛИРУЕМОЕ ШЛИФОВАНИЕ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ
ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ**

Аннотация. Рассмотрен подход к механической обработке волокнистых композитов с учетом минимизации повреждений. Предполагается, что обрабатывающая система будет иметь обратную связь по уровню повреждений. В качестве примера такого подхода рассмотрен процесс шлифования волокнистого композита находящийся под контролем акустической эмиссии. Определены информативные параметры процесса шлифования, которые могут быть положены в основу организации обратной связи.

Ключевые слова. Волокнистый композит, шлифование, повреждения, акустическая эмиссия.

В последние годы наиболее ответственные детали современных машин и механизмов изготавливают из композиционных материалов (КМ). Эти материалы могут обеспечить высокие, недостижимые ранее, эксплуатационные значения прочности при высоких температурах и при одновременном воздействии агрессивной среды, что достигается путем соответствующего выбора матрицы и упрочнителя и технологии их соединения [1]. Композиционные материалы относятся к труднообрабатываемым. Это обусловлено с одной стороны наличием в их составе очень прочных и, как правило, хрупких компонентов – волокон, и с другой стороны присутствием в матрице большого количества пор и отслоений, которые возникают на стадии изготовления материала. Использование лезвийного инструмента для обработки КМ приводит к появлению большого количества повреждений. Можно ожидать, что механическая обработка КМ шлифованием вызовет в нем более деликатные повреждения, т.к. процесс шлифования обычно описывается как одновременная работа множества микрорезцов из абразивных зерен [2]. Но и в этом случае при постоянных силовых и скоростных воздействиях повреждения будут значительно зависеть от состояния композиционной микроструктуры материала в данной обрабатываемой области. Для минимизации повреждений режимы процесса шлифования должны управляться специальной системой автоматического регулирования, которая включает в себя обратную связь, отражающую уровень текущих повреждений. Такой подход к решению актуальной проблемы механической обработки композитов является современным и соответствует основным тенденциям развития металлообработки. Поэтому целью настоящей работы является поиск методов и информативных параметров, которые позволяют оценивать момент времени появления повреждения в композите и его количественные характеристики непосредственно в процессе механической обработки

В качестве метода наблюдения, позволяющего выявлять повреждения непосредственно в процессе обработки материала, использовался метод акустической эмиссии [3].

В качестве модельного волокнистого композита использовалась направленно-кристаллизованная эвтектика $Al-Al_3Ni$ [4], полученная методом Чохральского. Композиционная структура материала образована монокристалльными волокнами интерметаллида Al_3Ni диаметром 0,5 мкм, заполняющих 11 объемных % всего материала и монокристалльной алюминиевой матрицей.

На рис.1 показана схема возможных областей появления повреждений в волокнистом КМ при сверлении отверстий перфорированным алмазным сверлом. В области I волокна

расположены под тупым углом к набегающим абразивным зернам, в области II волокна расположены, наоборот, под острым углом. Предполагается, что размеры областей и обширность повреждений (разрушение волокон и их отслоение от матрицы) зависят от угла атаки.

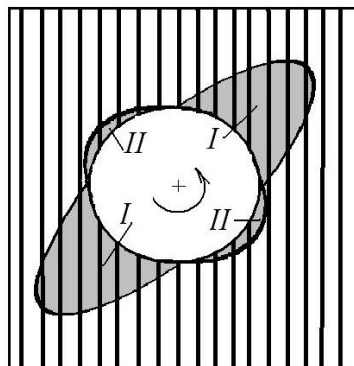


Рис. 1. Схема расположения возможных областей повреждений при сверлении волокнистого композита

При сверлении перфорированным сверлом сигналы акустической эмиссии возникают сразу по всему контуру отверстия, произвести разделение сигналов, связать их с определенными областями (I и II) и определить информативные параметры процесса весьма затруднительно. Но это можно сделать в модельных экспериментах при плоском шлифовании рис.2. Фактически производится исследование по абразивному износу и трению пары волокнистый композит – абразивный корундовый диск. На рис.3 приведены спектры сигналов АЭ, соответствующие схемам опыта, показанным на рис.2. Оказывается, что при остром угле атаки, что соответствует области II, повреждения минимальны, при тупом угле атаки, что соответствует области I, появляются хорошо выраженные спектральные пики процессов повреждаемости материала.

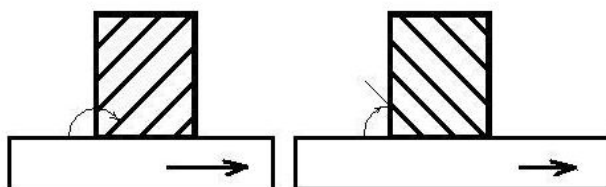


Рис. 2. Различная ориентация волокон композита относительно направления шлифования

Следует отметить, что процессы, происходящие в областях I и II, сопровождаются изменениями и других диагностических признаков. Так в области I весовой износ и коэффициент трения на 30% больше, чем в области II. Еще большее значение имеет качество поверхности. Так использование нового акустического метода оценки шероховатости [5] показывает, что значение R_z для угла атаки $>90^\circ$ на 50% больше, чем для угла $<90^\circ$.

Таким образом, первые опыты по применению шлифования для механической обработки волокнистых композитов показывают, что повреждаемость волокнистого композита может сильно меняться от условий шлифования и существует много информативных параметров, которые отражают этот процесс. Поэтому реализация предложенного выше подхода к механической обработке волокнистых композитов на основе

контролируемого шлифования с использованием системы с обратной связью по степени повреждаемости материала, вполне реальна.

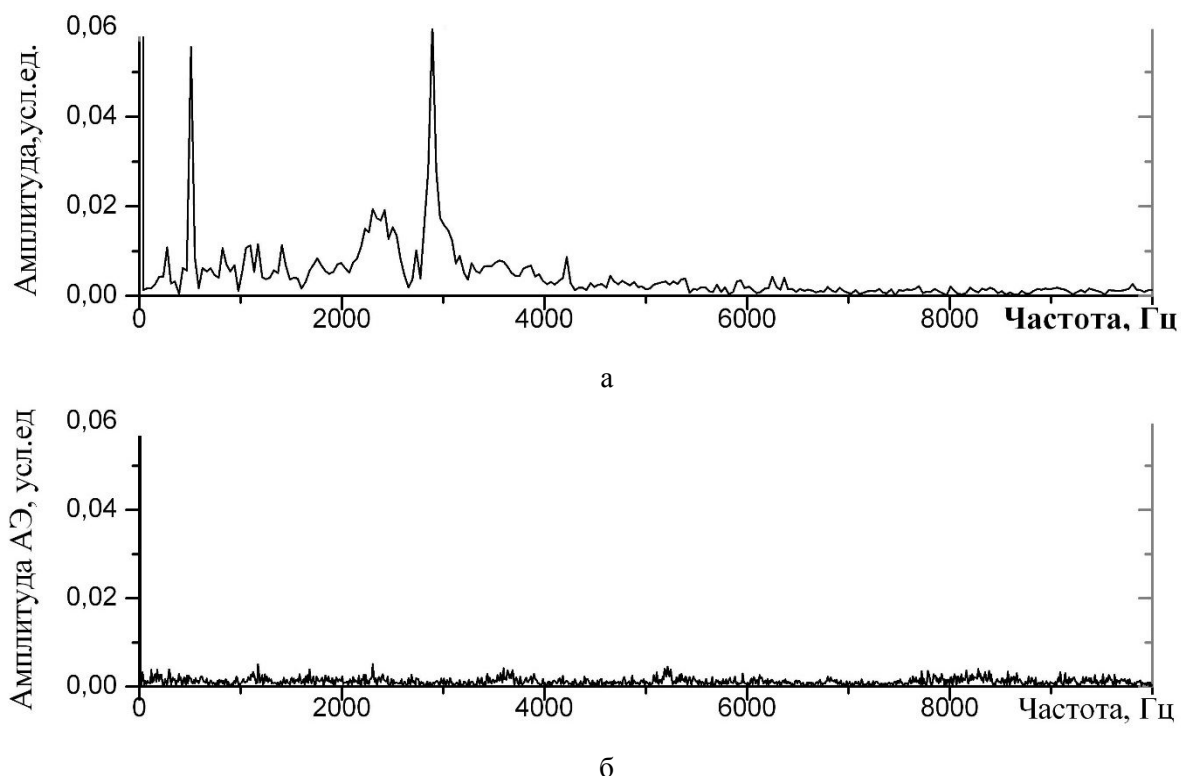


Рис. 3. Спектральный состав сигналов акустической эмиссии при абразивном трении (шлифовании)
а) угол атаки $>90^0$, б) угол атаки $< 90^0$

Работа выполнена в рамках государственного задания при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Коды проектов: № 933-2014, № 1972-2014

ЛИТЕРАТУРА:

1. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. Учеб. для вузов. М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1998, 516 с.
2. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1976, 271 с.
3. Баранов В.М., Кудрявцев Е.М., Сарычев Г.А., Щавелин В.М. Акустическая эмиссия при трении, М.: Энергоатомиздат. 1998, 256 с.
4. Курц В., Зам П.Р. Направленная кристаллизация эвтектических материалов. М.: Metallurgy, 1980. 272 с.
5. Фадин Ю.А., Киреев О.Ф., Сычев С.В., Бреки А.Д. Акустическая эмиссия и шероховатость поверхности хрупких материалов// Письма в ЖТФ, 2014, том 40, вып. 24 , С.1-6.

Сведения об авторах

Петров Александр Кириллович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность аспирант
Электронная почта: laverus@rambler.ru

Фадин Юрий Александрович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., звания нет
Должность профессор
Электронная почта: fadinspb@yandex.ru

УДК 621.855

В.В. Шейнфиш, В.В. Елисеев

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ РАЗРЫВА ЦЕПИ МОТОКУЛЬТИВАТОРОВ

Аннотация. Рассмотрены возможные причины разрыва цепей мотокультиваторов. Проведены проверочные и проектировочные расчеты. Для высоконагруженных передач предложена модель упругой нити.

Ключевые слова. Цепная передача, разрыв цепи, механика нити.

Введение. В процессе эксплуатации мотокультиваторов случаются выходы из строя цепной передачи. Это бывает связано с перегрузками на выходе механизма или с конструктивными недоработками в редукторе.

Для решения возникающих проблем прочности цепи необходимо уточнить инженерно-технические расчеты передачи [1-3], а также провести углубленное исследование с учетом возникающих деформаций [5,6]. В этом и состоит цель данной работы.

Расчеты проводились по методике, разработанной на кафедре «Машиноведение и основы конструирования». Для учета деформаций цепной передачи рассмотрены уравнения механики растяжимой упругой нити [4].

Технические расчеты. На заводе «Красный Октябрь-Нева» столкнулись с проблемой разрыва цепи в мотокультиваторах МК-200. Попытки внесения изменений в конструкцию самой цепи путем увеличения размеров внутреннего и внешнего звена не дали положительных результатов. На рис.1 представлен фрагмент стандартной цепи ПР-12,7-18,2 ГОСТ 13568-97. Здесь наблюдается усталостное разрушение пластин цепи по проушинам вследствие их циклической перегрузки. После утолщения звеньев излому стал подвергаться валик. Разрушение обусловлено ударами шарниров о зубья звездочек при входе в зацепления.

Были поставлены вопросы, связанные с повышением запаса прочности цепи, а также с оценкой влияния звездочек на прочность и ресурс цепи, когда параметры звездочек не соответствуют рекомендуемым.

Выполнены энерго-кинематические расчеты передач с определением моментов на валах и найдены цепи, подходящие для использования в данной конструкции [4].

При этом проверочные расчеты показали, что по коэффициенту запаса прочности ни одна цепь не будет функционировать безотказно (табл. 1)

В ходе проектного расчета были получены варианты безотказной работы. При этом межосевое расстояние и числа зубьев звездочек сильно отличаются от тех, которые используются в редукторе.

Контурное движение упругой нити [3]. Для расчета динамики цепной передачи при наличии деформаций рассмотрена модель упругой нити. Уравнения механики нити имеют вид [4]:

$$\mathbf{Q}' + \mathbf{q} = \rho \ddot{\mathbf{r}}, \mathbf{Q} = \hat{Q} \mathbf{r}', \hat{Q} = \frac{\partial \Pi}{\partial \varepsilon}, \varepsilon = \frac{1}{2}(|\mathbf{r}'|^2 - 1) \quad (1)$$

Здесь $\mathbf{q}$ – интенсивность внешних сил, $\mathbf{Q}$ – внутренние силы, ρ – погонная масса, Π – энергия деформации, ε – деформация Коши, $\mathbf{r} = \mathbf{r}(s, t)$ – радиус-вектор (зависит от материальной координаты s и времени t). Рассматривается именно растяжимая нить, поскольку для высоконагруженных передач необходим учет деформаций [5, 6].

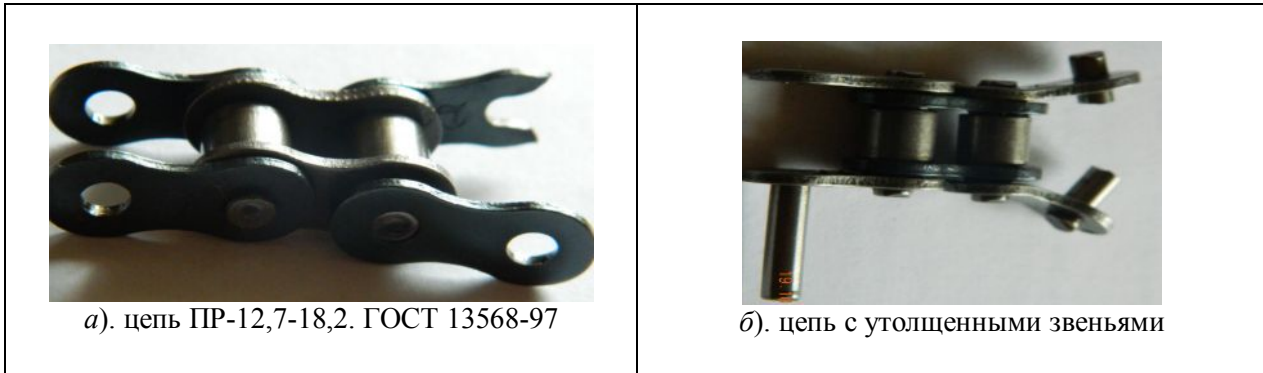


Рис. 1. Фрагменты цепи

Табл. 1. Сравнение расчетных коэффициентов запаса прочности разных типов цепей

Тип цепи	Роликовая однорядная ПР- 12,7-18,2; ГОСТ 13568-97 (58 звеньев)	Роликовая однорядная ПР-12,7-18,2; ГОСТ 13568-97 (60 звеньев)	Роликовая двухрядная 2ПР-12.7-3180-1	Втулочная двухрядная 2ПВ-9.525-200
Коэффициент запаса прочности цепи	0.5	0.5	0.8	0.4

Схема передачи с двумя шкивами – на рис. 2:

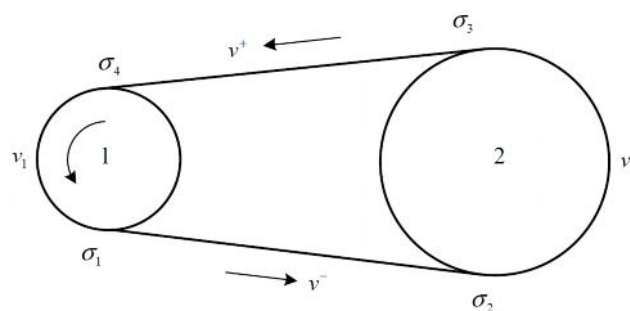


Рис. 2. Схема передачи

Участки 1-2, 3-4 – свободные пролеты, 0-1 и 2-3 – участки на шкивах.

Для уравнений (1) ограничимся контурным движением [7]. При этом точки движутся по фиксированной плоской кривой с уравнением $\mathbf{r} = \mathbf{R}(\sigma)$. Все определяется зависимостью $\sigma(s, t)$ – это закон движения точек нити.

Чтобы перейти к более удобному описанию по Эйлеру, введем обратную функцию: $t = \text{const} : s = S(\sigma, t)$. Отметим соотношения для производных: $\partial_s \sigma = 1/S'$, $\partial_t (\dots) = v(\dots)' + (\dots) \cdot$. Тогда $\varepsilon = 1/2((S')^{-2} - 1)$, $\mathbf{Q} = Q\boldsymbol{\tau}$, $Q = (Q_0 + b\varepsilon)/S'$, $\mathbf{Q}' = Q'\boldsymbol{\tau} + kQ\mathbf{n}$. Введены обозначения: $\boldsymbol{\tau}, \mathbf{n}$ – орты касательной и нормали, Q_0 – начальное натяжение, b – жесткость, k – кривизна.

Выражение касательного ускорения $w_\tau = vv' + \dot{v} = (v^2/2)' + \dot{v}$ подставим в систему (1). Получим

$$Q'/S' + q_\tau = \rho w_\tau, kQ/S' + q_n = \rho w_n \quad (2)$$

Решая эти уравнения, учтем условия на шкивах – там заданы скорости. На ведомом шкиве может быть задан момент нагрузки.

Далее рассмотрим стационарное движение. В этом случае скорость, сила и деформация не зависят от времени явно: $v = v(\sigma)$ и т.д., но $S = S(\sigma, t)$. Методом разделения переменных можно найти решение

$$S = c \left(\int d\sigma / v(\sigma) - t \right), \quad (3)$$

где c – некоторая постоянная. Тогда $Q = (Q_0 + b/2(\eta^2 - 1)\eta)$, $\eta = v/c$. Необычно, что сила зависит только от скорости. На свободных пролетах имеем скорости v^+ сверху и v^- снизу; это разные константы – в отличие от элементарных представлений.

Далее выясняется, что контактные силы на шкивах сосредоточены в точках касания с верхним пролетом, где имеют место разрывы. Условия на разрывах выражают те же законы, что и дифференциальные уравнения (но в разностной форме) и сводятся к следующему

$$2Q_0 + (b\eta - \rho v_1^2)(1 + \eta) = 2F_0/(\eta - 1), \eta = v^+/v_1 \quad (4)$$

После численного решения этого уравнения получим весь набор параметров движения: скорости, натяжения, контактные силы.

Заключение. В работе представлены расчеты цепей мотокультиватора и модель упругой нити для анализа динамики передачи. Произведена проверка прочности различных типов цепей. При решении уравнений упругой нити установлены новые закономерности распределения скоростей и сил в передаче.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Метильков С.А., Бережной С.Б. Прогнозирование ресурса цепных передач. // Вестник машиностроения. 2014. № 3. с. 22-25.
2. Хабрат Н.И., Умеров Э.Д. Основы проектирования цепных передач с повышенными передаточными отношениями. // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 1. с. 26-28.
3. Некрасов А.Я., Арбузов М.О. К вопросу о схеме нагружения зубьев звёздочек цепных передач. // Вестник МГТУ СТАНКИН. 2012. № 3. с. 33-36.
4. Иванов М.Н. Детали машин. М.: Высш. шк., 1991. – 383.
5. Елисеев В.В. Механика деформируемого твердого тела. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006. – 231 с.
6. Vetyukov Yu., Eliseev V. Effects of deformation in the dynamics of belt drive. // Acta Mechanica, Vol. 223, № 8 (2012), 1657 – 1667.
7. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. М.: Наука, 1981. 240 с.

Сведения об авторах

Шейнфиш Вадим Владимирович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: sheynfish@gmail.com

Елисеев Владимир Васильевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.ф.-м.н., проф.

Должность: профессор

Электронная почта: yeliseyev@inbox.ru

УДК 62-762.4, 62-762.8, 678

М.К. Чувакова, А.А. Ашейчик

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДУЛЯ И МОДУЛЯ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ЭЛАСТОМЕРОВ

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы экспериментального определения динамического модуля и модуля внутреннего трения резин. Получены экспериментальные зависимости динамического модуля, модуля внутреннего трения и тангенса угла потерь для пяти составов резин.

Ключевые слова: динамический модуль, модуль внутреннего трения, эластомеры, тангенс угла потерь, метод конечных элементов.

Наиболее важными характеристиками вязкоупругого материала, определяющими его поведение под действием динамических нагрузок, являются частотные и амплитудные зависимости действительной E' и мнимой E'' частей комплексного модуля [1]

$$E^* = E' + i E'',$$

где E' – действительная часть комплексного модуля (динамический модуль); E'' – мнимая часть комплексного модуля (модуль внутреннего трения).

Динамический модуль, совпадающий по фазе с деформацией, характеризует упругую энергию, запасаемую при деформировании. Модуль внутреннего трения характеризует величину рассеянной энергии. Значительный интерес в качестве характеристик эластомера представляют величины динамического модуля и тангенс угла потерь определяемый по формуле

$$\operatorname{tg} \delta = E'' / E',$$

где δ – угол фаз с частотой для эластомера, не проявляющего текучести.

В данной работе подлежит исследованию изменение динамического модуля и модуля внутреннего трения пяти резин фирмы FMC под условными названиями «56», «101», «985», «205», «207», в зоне вязкоупругого состояния в определенном диапазоне частот и заданных амплитудах деформации. Схема установки для исследования динамического модуля эластомеров при знакопеременном изгибе с вращением [2, 3, 4] представлена на рис.1.

Испытывались стандартные образцы диаметром 8 мм и длиной рабочей части образца 23,5 мм при изгибе с заданной амплитудой деформаций и заданными частотой вращения и температурой окружающей среды. Образец 1 закрепляется в зажимах 5 таким образом, что создается угол изгиба α , имитирующий величину угловой несоосности валов. Один из зажимов установлен на роторе электродвигателя 2, а другой на свободной оси, подшипники которой установлены в стойке 6.

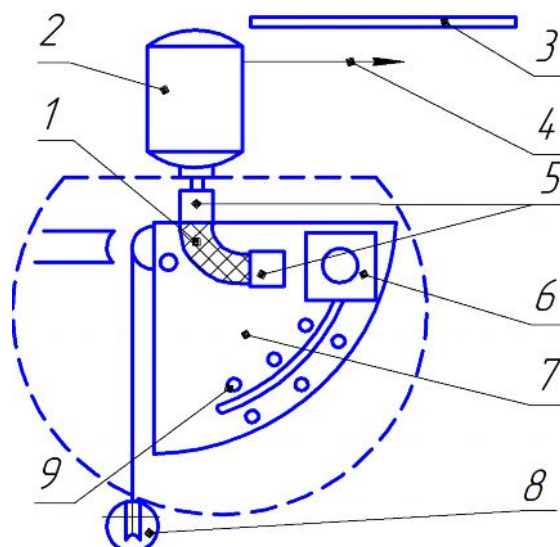


Рис. 1. Схема установки для исследования динамического модуля и модуля внутреннего трения эластомеров

Стойка 6 крепится в пазу подвижной платформы 7, закрепленной на вертикальной оси. Стойку 6 можно перемещать по криволинейному пазу для задания произвольных углов α , шкала которых 9 нанесена вдоль паза. Паз представляет собой геометрическое место точек, в которых требуется удерживать свободный зажим для создания деформаций чистого изгиба образца из эластомера. То есть форма паза такова, чтобы перерезывающих сил при изгибе не возникало. Изгибающий момент, необходимый для расчета динамического модуля, определяется по весу грузов 8, уравнивающих положение платформы 7. Платформа установлена в термокамере, ограничивающей объем, указанный на рис. 1 пунктиром. Установка обеспечивает: задание угла α до 90 градусов (деформации до 30%); частоту вращения до 6000 об/мин; температуру в камере до 150°C.

Согласно ГОСТ 10828-95 динамический модуль определялся, исходя из предположения о линейном характере распределения полной деформации и напряжений в поперечном сечении образца, с учетом размеров основного узла на данной установке по формуле

$$E' = P / a ,$$

где P – уравнивающий груз, Н; a – амплитуда деформации на поверхности образца ($a = 0,1 \div 0,3$).

Модуль внутреннего трения рассчитывался по формуле

$$E'' = 0,001 \frac{M_r}{\pi \cdot a^2} ,$$

где M_k – крутящий момент, определяемый по индикаторной шкале установки с учетом трения в подшипниках качения.

В результате экспериментальных исследований получены зависимости динамического модуля для всех пяти резин от частоты вращения (рис. 2) и от амплитуды деформации (рис. 3).

После получения зависимостей модуля внутреннего трения этих резин от указанных факторов был рассчитан тангенс угла потерь. Зависимости тангенса угла потерь от частоты вращения для всех исследованных резин приведены на рис.4.

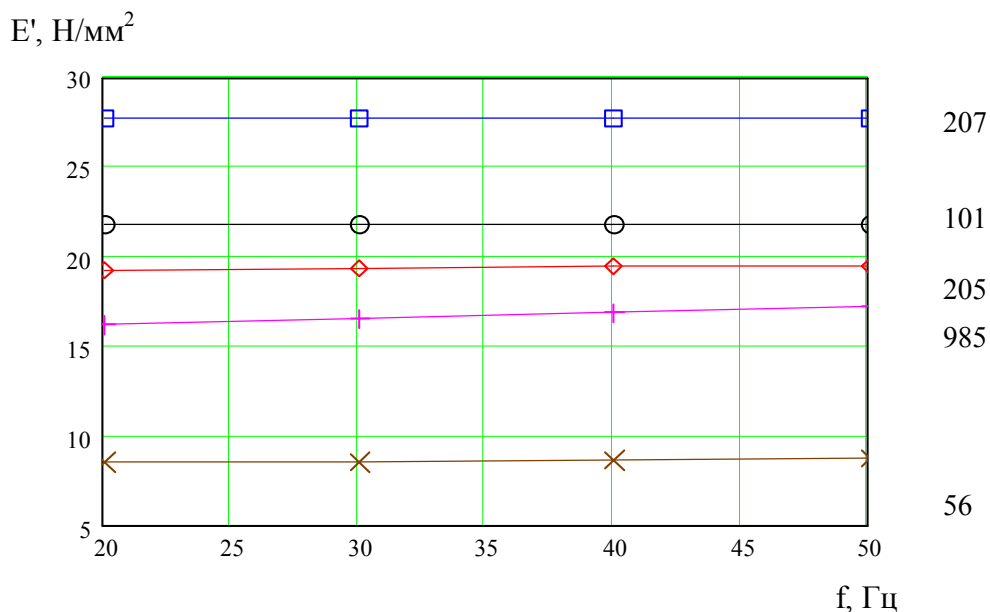


Рис. 2. Изменение динамического модуля для различных эластомеров от частоты вращения при амплитуде деформации $a = 0,1$

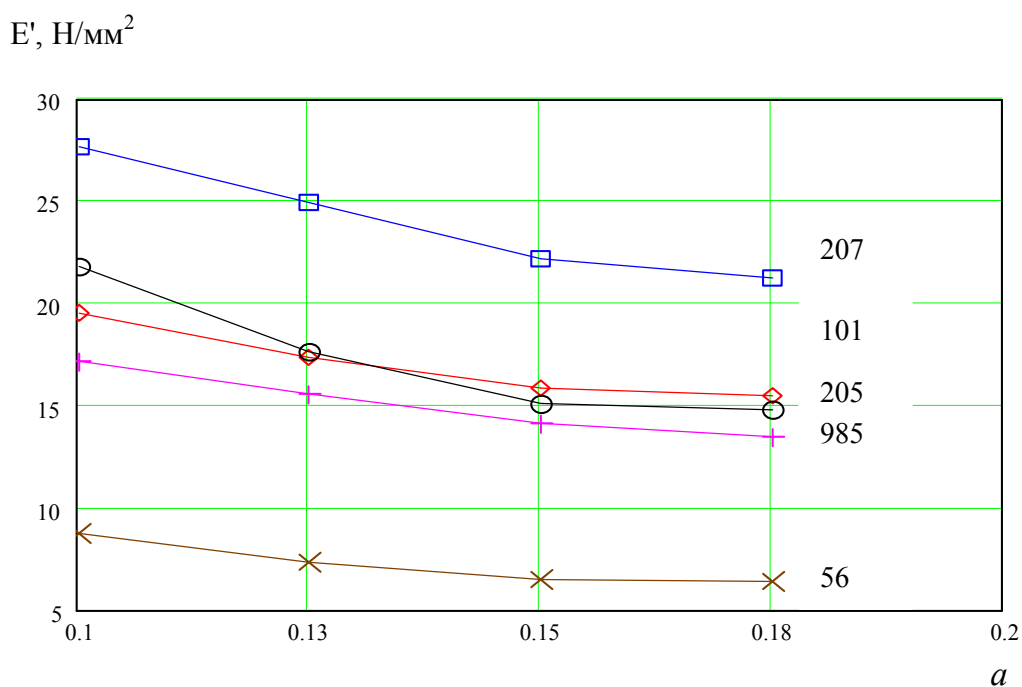


Рис. 3. Изменение динамического модуля для различных эластомеров от амплитуды деформации при частоте $f = 50\text{Гц}$

Из анализа полученных результатов следует, что:

- динамический модуль всех исследованных резин практически не зависит от частоты во всем исследованном диапазоне частот;
- тангенс угла потерь для всех исследованных резин снижается при увеличении частоты и увеличении амплитуды деформации;
- резина «56» имеет во всем исследованном диапазоне частот и амплитуд деформации в 3 – 4 раза более низкий динамический модуль и одновременно в 1,2 – 1,3 раза более высокий тангенс угла потерь, чем резина «207».

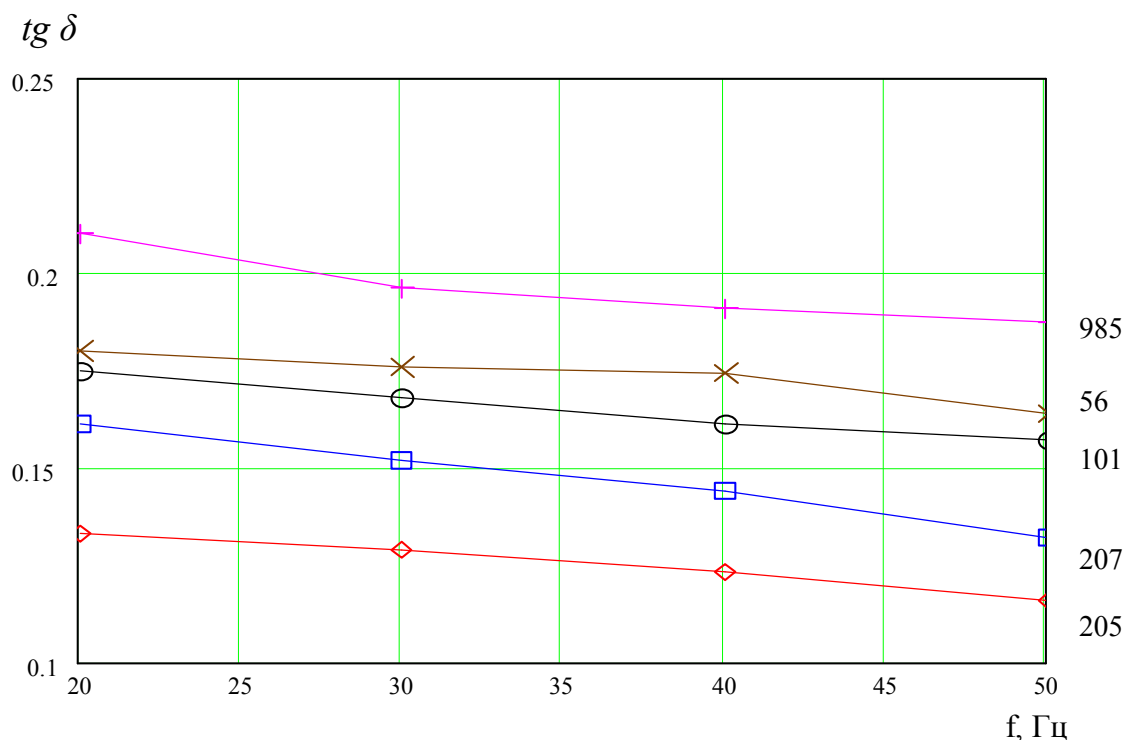


Рис. 4. Изменение тангенса угла потерь для различных эластомеров от частоты вращения при амплитуде деформации $a = 0,1$

Полученные таким способом экспериментальные зависимости вносятся непосредственно в окна программы для расчета деталей и узлов из эластомеров методом конечных элементов «STAR», что позволяет прогнозировать работоспособность этих узлов [5].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ашейчик, А.А. Экспериментальная механика: учебное пособие / А.А. Ашейчик, С.Г. Чулкин – СПб.: изд-во СПбГПУ, 2008.– 107 с.
2. Ашейчик, А.А. Стенд для исследования динамического модуля и модуля внутреннего трения эластомеров/ А.А. Ашейчик // XIV Всероссийская конференция по проблемам науки и высшей школы, Фундаментальные исследования в технических университетах: тезисы докл./ СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2010 – С. 140-141.
3. Ашейчик А.А. Определение энергии активации эластомеров экспериментально-теоретическим методом// Современное машиностроение. Наука и образование/ А.А. Ашейчик, В.Л. Полонский - СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2014 – С. 283-291.
4. Ашейчик, А.А. Испытание эластомеров при знакопеременном изгибе с вращением/ А.А. Ашейчик, Т.Д. Ахметшин // XI Неделя науки СПб : тезисы докл./ СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2011 – С. 156-157.
5. Ашейчик, А.А. Вычислительная механика. Расчет деталей машин методом конечных элементов: учебное пособие/ А.А. Ашейчик, В.Л. Полонский, С.Г. Чулкин – СПб.: изд-во СПбГПУ, 2011.– 301 с.

Сведения об авторах

Ашейчик Анатолий Анатольевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., доцент

Должность: доцент

Электронная почта: aseichik52@mail.ru

Чувакова Мария Константиновна
 Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
 Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
 Должность: студентка магистратуры
 Электронная почта: soulja_girl93@mail.ru

УДК 621.01

Е.А. Оборин, В.В. Елисеев

СООТНОШЕНИЯ УПРУГОСТИ ДЛЯ ЛОПАТОК ТУРБИН КАК ЗАКРУЧЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ

Аннотация. Рассмотрена турбинная лопатка как прямой стержень с естественной круткой. Выведены уравнения динамики с учетом деформаций растяжения, изгиба, кручения и сдвига с перекрестными связями между ними. Определены коэффициенты в соотношениях упругости. Разработан численный метод решения краевых задач о деформациях лопаток посредством компьютерной математики Mathcad. Методика применена к расчету реальной лопатки.

Ключевые слова. Турбинная лопатка, естественная крутка, колебания стержней, связанные колебания, упругие модули, перекрестные связи.

Введение. При эксплуатации турбомашин часто возникают проблемы, связанные с колебаниями лопаточных венцов роторов. Традиционно лопатки рассматривались в одномерной постановке [1, 2]. Используемые при этом теории стержней были приближенными, а вычисления – трудоемкими.

С развитием компьютерной техники и метода конечных элементов подавляющее большинство расчетчиков переключилось на работу с трехмерными моделями в универсальных программных системах [3, 4, 5].

В настоящей работе представлены основы подхода с использованием полной одномерной модели. Такая модель выбрана с учетом ее совершенства и больших возможностей при решении сложных инженерных задач, в том числе о нестационарных и нелинейных колебаниях [6].

Турбинная лопатка рассматривается как прямолинейный естественно закрученный стержень (рис. 1). Для нее учитываются изгибные и крутильные податливости, а также сдвиг, растяжение и перекрестные связи. Известно, что кручение связано с изгибом при отсутствии симметрии сечения, а крутка вызывает связь и с растяжением [1, 2, 8, 9].

Одномерная модель стержня. В рассматриваемой линейной модели считаются малыми одного порядка перемещения, повороты, деформации и нагрузки. Движение лопатки как стержня задается зависимостями векторов перемещения $\underline{u}(z, t)$ и малого поворота $\underline{\theta}(z, t)$ от осевой координаты и времени. На элемент dz действуют внешняя сила $\underline{q}dz$ и момент $\underline{m}dz$. Внутренняя сила $\underline{Q}$ и момент $\underline{M}$ задают воздействие от $z+0$ к $z-0$. Уравнения линейной теории имеют вид [7]:

$$\begin{aligned}\underline{Q}' + \underline{q} &= \rho \ddot{\underline{u}}, \quad \underline{M}' + \underline{k} \times \underline{Q} + \underline{m} = \underline{G} \cdot \ddot{\underline{\theta}}, \\ \underline{\theta}' &= \underline{A} \cdot \underline{M} + \underline{C} \cdot \underline{Q}, \quad \underline{u}' = \underline{\theta} \times \underline{k} + \underline{B} \cdot \underline{Q} + \underline{M} \cdot \underline{C}.\end{aligned}\tag{1}$$

Здесь $\rho, \underline{G}$ – масса и тензор инерции на единицу длины, $\underline{k}$ – орт касательной (оси z).

Деформации кручения и изгиба в стержне определяет вектор $\underline{\theta}'$, а растяжения и сдвига –

вектор $\underline{u}' - \theta \times \underline{k}$. Упругие характеристики стержня представляют три тензора: $\underline{\underline{A}}$ – податливость на изгиб и кручение, $\underline{\underline{B}}$ – на растяжение и сдвиг, $\underline{\underline{C}}$ – тензор перекрестных связей. Расчет этих тензоров для турбинной лопатки (рис. 1) и является целью данной работы.

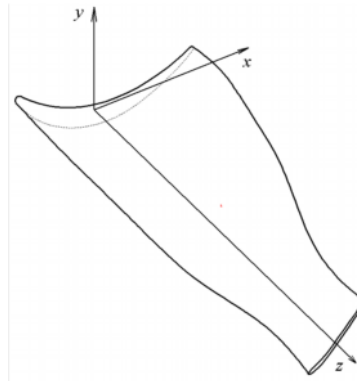


Рис. 1. Турбинная лопатка

Главные направления тензора инерции поворачиваются относительно начальных ($z=0$) на угол $\varphi(z)$. Вводится крутка $\Omega = \varphi'(z)$. Для прямолинейного стержня из обобщенной задачи Сен-Венана установлено [8]:

$$\underline{\underline{A}} = (\underline{\underline{EI}})^{-1} + A_z \underline{k} \underline{k}, \quad \underline{\underline{B}} = (\mu F \underline{\underline{K}})^{-1} + B_z \underline{k} \underline{k}, \quad \underline{\underline{C}} = A_z \underline{k} \underline{\eta} + C_z \underline{k} \underline{k} \quad (2)$$

Здесь $\underline{\underline{J}} = \int \underline{x} \underline{x} dF$, $J = \text{tr} \underline{\underline{J}}$, $\underline{\underline{I}} = -\underline{k} \times \underline{\underline{J}} \times \underline{k}$ – геометрические моменты инерции ($\underline{x}$ – радиус-вектор в сечении); видим известные выражения податливости на изгиб $(\underline{\underline{EI}})^{-1}$ и на растяжение (сжатие) $B_z = (EF)^{-1}$.

В (2) входят также геометрическая жесткость на кручение C , вектор координат центра изгиба $\underline{\eta}$ и коэффициент связи растяжения с кручением C_z . Их определение сопряжено с решением задачи кручения [7-9]:

$$\begin{aligned} \Delta \Phi &= -2, \quad \Phi|_{\partial F} = 0; \quad \Delta W = 0, \quad \partial_n W = \underline{n} \times \underline{x} \cdot \underline{k}; \\ C &= 2 \int \Phi dF, \quad A_z = (\mu C)^{-1}, \quad C_z = \Omega (\mu F)^{-1} (1 - JC^{-1}), \\ \underline{\eta} &= \underline{\underline{J}}^{-1} \cdot \int \underline{x} W dF. \end{aligned} \quad (3)$$

При этом функцию депланации W можно определить без решения задачи Неймана (3), если воспользоваться условиями Коши-Римана для сопряженных гармонических функций:

$$\nabla W = \nabla \left(\Phi + \frac{x^2}{2} \right) \times \underline{k} \Rightarrow W = \int [(\partial_y \Phi + y) dx - (\partial_x \Phi + x) dy] \quad (4)$$

Также в уравнениях (2) содержится $\underline{\underline{K}}$ – тензор коэффициентов сдвига. Его определение связано с решением еще двух краевых задач для векторных полей в сечении [7, 8]. В рамках данной статьи оставим его главные значения равными единице.

В итоге получаем систему двенадцатого порядка:

$$\begin{aligned}
Q'_x &= -q_x + \rho \ddot{u}_x, \quad Q'_y = -q_y + \rho \ddot{u}_y, \quad Q'_z = -q_z + \rho \ddot{u}_z, \\
M'_x &= Q_y - m_x + G_x \ddot{\theta}_x + G_{xy} \ddot{\theta}_y, \quad M'_y = -Q_x - m_y + G_y \ddot{\theta}_y + G_{xy} \ddot{\theta}_x, \\
M'_z &= -m_z + G_z \ddot{\theta}_z, \\
\theta'_x &= A_x M_x + A_{xy} M_y, \quad \theta'_y = A_y M_y + A_{xy} M_x, \\
\theta'_z &= A_z (M_z + \eta_x Q_x + \eta_y Q_y) + C_z Q_z, \\
u'_x &= \theta_y + B_x Q_x + B_{xy} Q_y + A_z \eta_x M_z, \\
u'_y &= -\theta_x + B_y Q_y + B_{xy} Q_x + A_z \eta_y M_z, \quad u'_z = B_z Q_z + C_z M_z.
\end{aligned} \tag{5}$$

Определение функции напряжения и деформации

Используем вариационный метод, описанный в книге [9]. Введем две функции $y_t(x)$, $y_l(x)$, графики которых ограничивают сечение «сверху» и «снизу». Приближенное решение будем искать в виде:

$$\Phi = A(y - y_t(x))(y - y_l(x)) = A\Phi_0 \tag{6}$$

Неизвестный варьируемый коэффициент A находится минимизацией функционала

$$\begin{aligned}
J &= \int_F [|\nabla \Phi|^2 - 4\Phi] dF = \int_{x_0}^{x_1} dx \int_{y_l(x)}^{y_t(x)} (A^2 |\nabla \Phi_0|^2 - 4A\Phi_0) dy \rightarrow \min \Rightarrow \\
\Rightarrow A &= 2 \int_{x_0}^{x_1} dx \int_{y_l(x)}^{y_t(x)} \Phi_0 dy / \int_{x_0}^{x_1} dx \int_{y_l(x)}^{y_t(x)} |\nabla \Phi_0|^2 dy.
\end{aligned} \tag{7}$$

Тогда геометрическая жесткость на кручение

$$C = 2A \int_{x_0}^{x_1} dx \int_{y_l(x)}^{y_t(x)} \Phi_0 dy \tag{8}$$

Используя полученную функцию напряжений, определим деформацию W согласно (4):

$$W(x, y) = A \left(\int_{x_0}^x \partial_y \Phi_0 dx - \int_0^y \partial_x \Phi_0 dy \right) - xy \tag{9}$$

Численная реализация

Контур сечения реальной лопасти задается массивом координат точек (около 30). Функции $y_t(x)$, $y_l(x)$ определяются в Mathcad интерполяцией с регрессией, после чего производится численное интегрирование и дифференцирование согласно (3), (7) и (9).

Уравнения в частных производных (5) становятся обыкновенными (ОДУ) в статике и при гармонических колебаниях: $u(x, t) = u(x) \sin \lambda t \Rightarrow \ddot{u} = -\lambda^2 u$. Система ОДУ представляется в матричном виде

$$Y' = D(x)Y + f(x), \quad Y = (Q_x \dots u_z)^T - \tag{10}$$

столбец 12-ти функций. Поставив граничные условия (заделка при $z = 0$ и отсутствие сил и моментов при $z = L$), получим краевую задачу, легко решаемую методом стрельбы (sbval-rkfixed). На рис. 2 представлены результаты расчета задачи статики при растяжении центробежными силами:

$$q_z = \rho(z + r_0) \omega_0^2, \quad \omega_0 = 314 c^{-1} \tag{11}$$

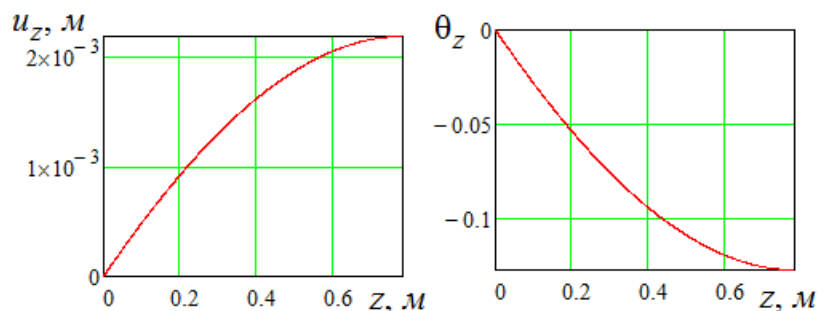


Рис. 2. Перемещение и поворот стержня

Остальные компоненты перемещения и поворота для реальной лопадки оказались близкими к нулю.

Заключение

В работе построена модель турбинной лопадки как стержня с учетом полного набора податливостей на растяжение, изгиб, кручение и сдвиг с перекрестными связями в матрице коэффициентов. Представлен приближенный способ определения геометрической жесткости на кручение и функции деформации. Для решения поставленных краевых задач ОДУ предложен численный метод из ряда стандартных функций системы компьютерной математики Mathcad.

Работа выполнена в рамках государственного задания при финансовой поддержке Минобрнауки России. Коды проектов: № 933-2014, № 1972-2014.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Джанелидзе Г.Ю. Соотношения Кирхгофа для естественно закрученных стержней и их приложения // Тр. Ленингр. политехн. ун-та. – 1946. – № 1. – С. 23-32.
2. Воробьев Ю.С., Шорр Б.Ф. Теория закрученных стержней. – К.: Наук. Думка. – 1983. – 188 с.
3. Гецов Л.Б., Рыбников А.И., Дашунин Н.В., Михайлов А.А., Семенов А.С., Марголин Б.З. Эксплуатационная надежность деталей ГТУ с концентраторами напряжений // Тяжелое машиностроение. – 2011. – № 1. – С. 37-44.
4. Русаков С.В., Шуваев Н.В. Численное моделирование аэроупругого взаимодействия компрессорной лопадки с дозвуковым потоком воздуха в трехмерной постановке // Вычислительная механика сплошных сред. – 2013. – Т. 6. – № 3. – С. 300-308.
5. Beck J.A., Brown J.M., Slater J.C., Cross C.J. Probabilistic mistuning assessment using nominal and geometry based mistuning methods // J. Turbomach. – 2013. – Vol. 135, No. 5. – P. 051004-1–051004-9.
6. Crespo da Silva M.R.M. Comprehensive analysis of the dynamics of a helicopter rotor blade // Int. J. Solids Struct. – 1998. – Vol. 35, No. 7-8. – P. 619–635.
7. Елисеев В.В. Механика деформируемого твердого тела. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006. – 231 с.
8. Елисеев В.В. Задача Сен-Венана для стержней с кривизной и кручением // Изв. АН СССР. МТТ. – 1991. – № 2. – С. 167–176.
9. Lurie A.I. Theory of elasticity. – Berlin: Springer. – 2005. – P. 1038.

Сведения об авторах

Оборин Евгений Александрович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: лаборант-исследователь

Электронная почта: oborin1@yandex.ru

Елисеев Владимир Васильевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
 Ученая степень, звание: д.ф.-м.н., проф.
 Должность: профессор
 Электронная почта: yeliseyev@inbox.ru

УДК 621.165

А.А. Москалец, В.В. Елисеев

РАСЧЕТ КОЛЕБАНИЙ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК ВАРИАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Аннотация: Турбинные лопатки рассматриваются как прямолинейные естественно-закрученные стержни произвольного переменного сечения. Используется линейная теория с малыми перемещениями, поворотами и нагрузками. Колебания гармонические, прогибы аппроксимируются по Ритцу. Неизвестные коэффициенты находятся из системы уравнений Лагранжа средствами пакета Mathcad. В результате находятся собственные формы и частоты, а также амплитуды вынужденных колебаний.

Ключевые слова: турбинные лопатки, естественно-закрученные стержни, линейная теория стержней, частоты и формы колебаний, задача на собственные значения, вариационный метод.

Исследуются свободные и вынужденные колебания лопатки паровой турбины Калужского турбинного завода (КТЗ) [6]. Моделью лопатки является прямой естественно-закрученный консольный стержень несимметричного сечения. У таких стержней боковая поверхность образована винтовым движением контура сечения [3]. Расчеты лопаток как естественно закрученных стержней рассматривались многими авторами [1, 2, 6, 8, 9]. В данной работе применяются современная теория стержней и вариационный метод Лагранжа-Ритца-Канторовича в сочетании с компьютерной математикой [4, 5, 7].

Введем тройку декартовых осей, направив ось x через центры тяжести сечений вдоль лопатки (считается, что центры тяжести принадлежат одной прямой). Прогиб закрученного стержня всегда имеет две компоненты u_y, u_z – функции координаты x и времени t . Кинетическая энергия

$$T = 1/2 \int_0^l \rho (\dot{u}_y^2 + \dot{u}_z^2) dx, \quad (1)$$

где ρ – погонная масса.

Потенциальную энергию определим с допущением, что осевое перемещение при изгибе $u_x = -yu'_y - zu'_z$:

$$\Pi = E/2 \int_0^l dx \int_F u_x'^2 dF = E/2 \int_0^l (J_y u_y''^2 + 2J_{yz} u_y'' u_z'' + J_z u_z''^2) dx \quad (2)$$

с моментами инерции $J_y = \int_F y^2 dF$, $J_{yz} = \int_F yz dF$, $J_z = \int_F z^2 dF$.

От модели с распределенными параметрами перейдем к дискретной посредством аппроксимации прогибов

$$\begin{aligned} u_y(x,t) &= \sum_{k=1}^N U_{yk}(t) \varphi_k(x) = U_y(t)^T \varphi(x), \\ u_z(x,t) &= \sum_{k=1}^N U_{zk}(t) \varphi_k(x) = U_z(t)^T \varphi(x) \end{aligned} \quad (3)$$

(в матричных обозначениях). Функции $U_{y,z}(t)$, характерные для метода Канторовича, играют роль обобщенных координат и подлежат определению из системы уравнений Лагранжа. Координатные функции $\varphi(x)$ задаются нами с соблюдением условий закрепления. Примем

$$\varphi_i(x) = x^{1+i}, \quad i = 1, \dots, N \quad (4)$$

Подставив (3) в (1) и (2), получим кинетическую и потенциальную энергию дискретной модели лопатки

$$\begin{aligned} T &= 1/2 (\dot{U}_y^T m \dot{U}_y + \dot{U}_z^T m \dot{U}_z), \quad m = \int_0^l \rho \varphi \varphi^T dx; \\ \Pi &= 1/2 (U_y^T C_y U_y + 2 U_y^T C_{yz} U_z + U_z^T C_z U_z), \\ C_y &= E \int_0^l J_y \varphi'' \varphi''^T dx, \quad C_{yz} = E \int_0^l J_{yz} \varphi'' \varphi''^T dx, \quad C_z = E \int_0^l J_z \varphi'' \varphi''^T dx \end{aligned} \quad (5)$$

с матрицами жесткости и инерции.

Обобщенные силы для уравнений Лагранжа находятся по виртуальной работе:

$$\int_0^l (f_y \delta u_y + f_z \delta u_z) dx = Q_y^T \delta U_y + Q_z^T \delta U_z, \quad Q_y = \int_0^l f_y \varphi dx \quad (6)$$

и аналогично столбец Q_z . Здесь $f_{y,z}$ – компоненты погонной нагрузки.

Сократив матричную запись введением блочных столбцов и матриц

$$U = \begin{pmatrix} U_y \\ U_z \end{pmatrix}, \quad M = \begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} C_y & C_{yz} \\ C_{yz} & C_z \end{pmatrix}, \quad Q = \begin{pmatrix} Q_y \\ Q_z \end{pmatrix}, \quad (7)$$

запишем уравнения Лагранжа

$$M \ddot{U} + CU = Q(t). \quad (8)$$

В случае свободных колебаний ($Q = 0$) рассматривают главные колебания с собственными формами Φ и частотами λ :

$$U(t) = \Phi \sin \lambda t; \quad (C - \lambda^2 M) \Phi = 0. \quad (9)$$

Это обобщенная задача на собственные значения, решаемая в Mathcad встроенными процедурами *genvals* и *genvecs* [7].

Выполнены расчеты лопатки КТЗ. При $N = 6$ найдено

$$\lambda_1 = 1541, \quad \lambda_2 = 3614, \quad \lambda_3 = 7377, \quad \lambda_4 = 17622, \quad \lambda_5 = 20577, \quad \lambda_6 = 37316.$$

Каждая собственная форма Φ содержит множитель Λ , определяемый условием нормировки $\Lambda^2 \Phi^T M \Phi = 1$. Результаты расчета форм приведены на рис. 1:

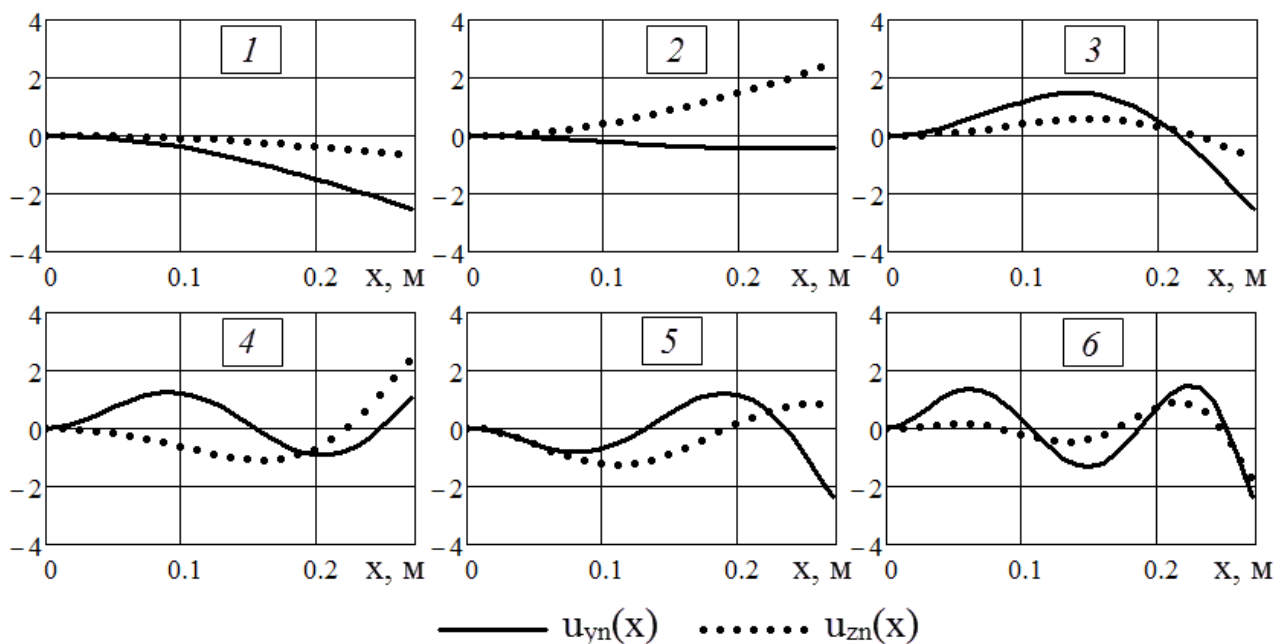


Рис. 1. Нормированные собственные формы

При расчете вынужденных колебаний для нахождения амплитуд использовалась встроенная функция *Isolve*. Параметры аэродинамической нагрузки взяты как в [5]. Результаты расчета вынужденных колебаний приведены на рис 2:

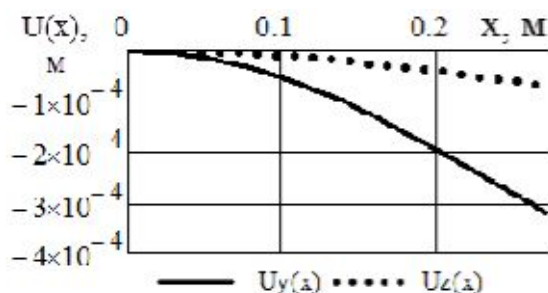


Рис. 2. Амплитуды вынужденных колебаний

Итак, разработана методика расчета колебаний турбинных лопаток как прямых естественно-закрученных консольных стержней с использованием вариационного метода. Основными достоинствами данного метода являются легкость осуществления расчетов в системе компьютерной математики и быстрота вычислений. Также следует отметить преимущество метода перед расчетами в пакетах, работающих с трехмерными моделями, в связи с высокой стоимостью последних.

Работа выполнена в рамках государственного задания при финансовой поддержке Минобрнауки России. Коды проектов: № 933-2014, № 1972-2014.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Биргер И.А., Шорр Б.Ф. и др. Динамика авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
2. Вибрация в технике; Справочник. Т. 3. Колебания машин, конструкций и их элементов./Под. Ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.
3. Воробьев Ю.С., Шорр Б.Ф. Теория закрученных стержней. – Киев: Наукова Думка, 1983. – 188 с.
4. Елисеев В.В. Механика упругих тел. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 336 с.

5. Елисеев В.В., Москалец А.А. Колебания турбинных лопаток как естественно закрученных стержней. // Современное машиностроение. Наука и образование. №4. 2014.– С. 344 – 350.
6. Жирицкий Г.С., Струнkin В.А. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин. – М.: Машиностроение, 1968. – 520 с.
7. Кирьянов Д.В. Mathcad 14. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 704 с.
8. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин: Учебник для студентов вузов по специальности «Турбиностроение». – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
9. Левин А.В., Боришанский К.Н., Консон Е.Д. Прочность и вибрация лопаток и дисков паровых турбин. – Л.: Машиностроение, 1981. – 710 с.

Сведения об авторах

Москалец Артем Анатольевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: artem.moskalec@gmail.com

Елисеев Владимир Васильевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.ф.-м.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: yeliseyev@inbox.ru

УДК 620.1.051

В.В. Шейнфиш, Е.В. Заборский

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗЬБ

Аннотация: В работе представлена конструкция учебного стенда для исследования трибологических характеристик ходовых резьб в рамках модернизации оборудования лаборатории "Детали машин" кафедры "Машиноведение и основы конструирования". Конструкторская документация выполнена на стадии эскизного проекта.

Ключевые слова: учебно-лабораторные стенды; трибологические характеристики ходовых резьб; момент трения в резьбе; энерго-кинематический расчет; проверочные расчеты; 3d-модель; компас 3d-v13; solidworks; конструкция документация.

В настоящей работе приведено описание разработанной конструкции учебного стенда для исследования трибологических характеристик резьб, предназначенного для проведения лабораторных работ в рамках курса учебной дисциплины " Детали машин и основы конструирования".

Описание конструкции стенда и принцип его работы

Конструкция стенда (рис. 1) включает сварную раму 6, состоящую из основания 17, двух вертикальных стоек 18, и поперечной балки 19. В качестве материала элементов рамы применены стальные трубы прямоугольного сечения. На балке закреплены гидроцилиндры 1; нижние концы штоков шарнирно опираются на силовую платформу 14, на которой смонтирован корпус 2 рабочей гайки стенда. Вдоль цилиндрических направляющих 10, закрепленных на опорной плите 15 и поперечной пластине 16 рамы, перемещаются корпуса линейных подшипников 11, соединенные тензобалками 3 с корпусом гайки. На тензобалках,

с четырех сторон, закреплены тензорезисторы, с помощью которых определяется момент трения, для последующего расчета коэффициента трения в винтовой паре.

Привод, состоящий из асинхронного двигателя 13, одноступенчатого червячного редуктора 5 и ременной передачи 12, установлен на опорной пластине 15 основания 17 рамы.

Для разгрузки редуктора и его элементов от действия осевой рабочей нагрузки над редуктором смонтирован силовой каркас 20, с закрепленным подпятником упорного подшипника.

С целью оперативной замены винтовой пары в ходе проведения лабораторной работы в конструкции стенда предусмотрены узлы соединения рабочего винта с валом редуктора и опорой верхнего подшипника (рис. 2 а, б).

Наличие в верхней опоре двухрядного сферического подшипника облегчает демонтаж испытуемой винтовой пары.

Стенд установлен на 3-х стандартных виброопорах.

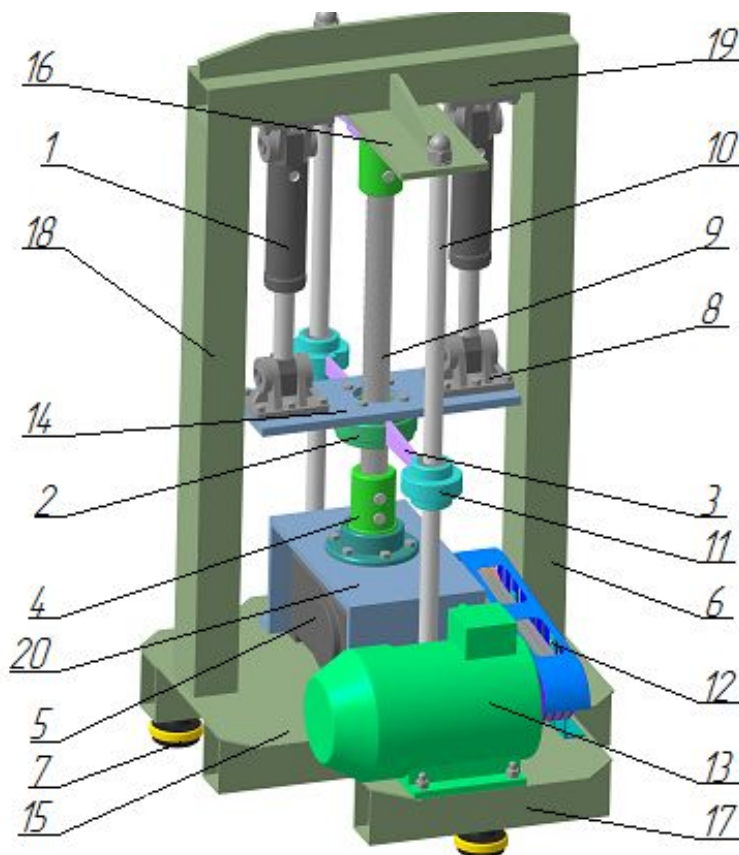


Рис. 1. Конструкция лабораторного стенда

- 1 – гидроцилиндры; 2- корпус гайки; 3 – тензометрические балки;
4 – узел крепления винта с валом редуктора; 5 – червячный редуктор; 6 –рама; 7 – виброопоры;
8 – узел крепления гидроцилиндров; 9 – винт; 10 – направляющие;
11 – корпус линейного подшипника; 12 –ременная передача; 13 – электродвигатель;
14 – силовая платформа; 15 – опорная плита;
16 – пластина поперечная; 17 - основание; 18 – стойка; 19 – балка; 20 – силовой каркас;

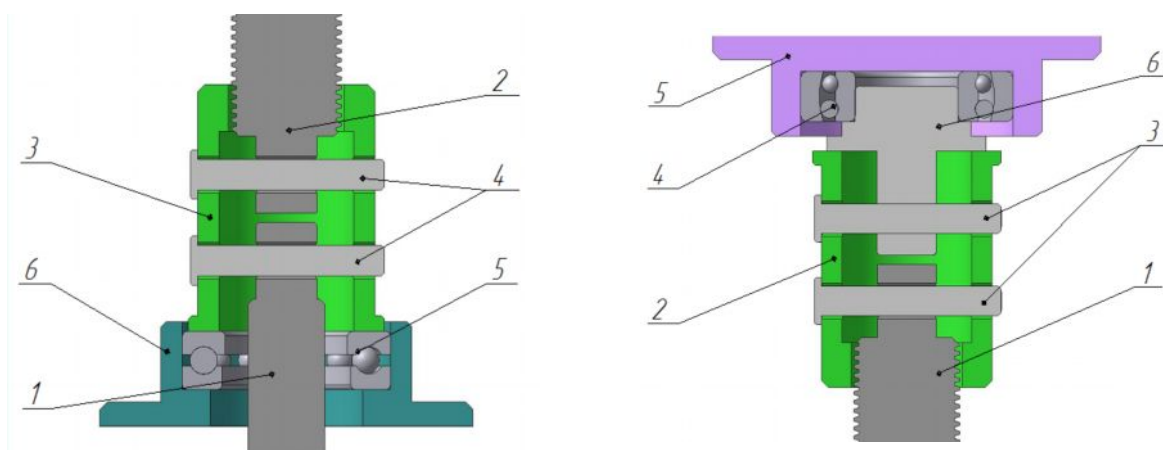


Рис. 2. Узлы соединения испытуемого винта:
а) - соединение с валом редуктора; б) - соединение с верхней опорой

По достижении крайнего верхнего положения срабатывает конечный выключатель (на рис. 1 – не показан), привод осуществляет реверс и силовая платформа перемещается в обратном направлении. Таким образом, происходит циклическое перемещение рабочей гайки относительно винта "вверх-вниз", при этом скорость перемещения определяется частотной регулировкой двигателя.

Привод стэнда и система нагружения

Привод включает трехфазный асинхронный двигатель 4А90L4, клиноременную передачу с передаточным отношением $i_{рп} = 2,0$; одноступенчатый червячный редуктор с передаточным отношением $i_{чр} = 47,5$;

Изменение оборотов двигателя осуществляется посредством частотного регулирования. Положительным свойством частотного регулирования является возможность плавного изменения оборотов в широком диапазоне в обе стороны от естественной характеристики (в том числе возможно вращение двигателя с частотой, большей номинальной). При этом способе регулирования обеспечивается жесткость характеристик и высокая перегрузочная способность [5].

Скорость перемещения гайки и время рабочего хода в зависимости от частоты вращения винта представлены в таблице 1.

Табл. 1. Параметры стэнда

Частота вращения винта, об/мин	Скорость перемещения гайки м/с	Время рабочего хода, сек
30	0.054	1.8
20	0.036	2.7
15	0.027	3.7
10	0.018	5.5
5	0.009	11.2

Система гидравлического нагружения стенда (рис. 3)

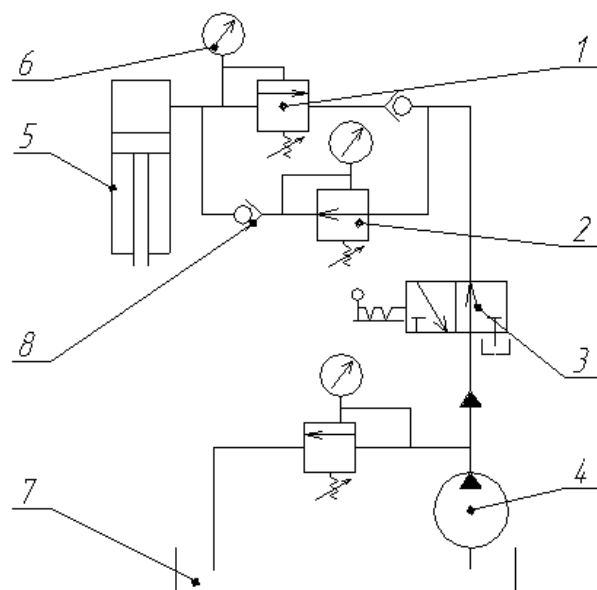


Рис. 3. Гидравлическая схема стенда

1 - напорный (предохранительный клапан), 2 - редукционный клапан,
3 - распределитель двухпозиционный с тремя входами (с рычагом и фиксатором), 4 - гидронасос,
5 - гидроцилиндр, 6 - манометры, 7 - бак с жидкостью, 8 - обратный клапан

При перемещении гайки, рабочая жидкость гидросистемы вытесняется из поршневой полости цилиндра и, открывая обратный клапан, сливается в бак. Для движения гидроцилиндра в обратном направлении, распределитель переключается во второе положение и жидкость, открывая обратный клапан, будет поступать в полость цилиндра, обеспечивая рабочую нагрузку на винтовую пару.

В ходе работы были проведены проверочные расчеты основных элементов конструкции стенда, результаты которых подтвердили ее работоспособность.

Сведения об авторах

Шейнфиш Вадим Владимирович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: sheyntfish@gmail.com

Заборский Евгений Васильевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., доцент

Должность: доцент

Электронная почта: zev-49@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ И ДРОБНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕДНЫХ ПОКОВОК СТЕНОК КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ

Аннотация. Высокие эксплуатационные свойства рабочих стенок кристаллизаторов, служащих для отвода теплоты при формировании слитка, определяют степень эффективности процесса непрерывного литья заготовок. Проанализированы образцы из бескислородной меди в диапазоне температур 23-400 °С. Исследованы зависимости прочностных свойств от температуры для образцов со степенью суммарной деформации от 15 до 85 %. Выявлено, что наилучшими эксплуатационными свойствами обладают стенки кристаллизаторов из бескислородной меди, деформированные до суммарной степени деформации 20-25 % при количестве проходов кузнечного бойка равным 10.

Ключевые слова. Материаловедение, непрерывное литье, сборный кристаллизатор, бескислородная медь, пластическая деформация.

Интенсивность производства металла и развитие металлургической отрасли в нашей стране неразрывно связаны с решением таких задач, как повышение эффективности производственных процессов, у которых низкая производительность труда, высокая стоимость изделий, велики затраты материалов и невысокое качество продукции. Процесс непрерывного литья заготовок на протяжении последних десятилетий является критерием оценки технического уровня черной металлургии, вследствие чего необходимо повышать конкурентоспособность заготовок, полученных на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Кристаллизатор служит для отвода теплоты при кристаллизации затвердевающего металла. Стенки кристаллизатора работают в условиях циклических интенсивных тепловых потоков, интенсивного износа, циклических термодинамических напряжений, разных типов коррозии, в диапазоне температур 20...550 °С. Срок службы стенок кристаллизаторов значительно меньше срока службы других сменных деталей МНЛЗ [1].

Применяемые сегодня технологии изготовления кристаллизаторов недостаточно совершенны и требуют научного обоснования, вследствие чего особую актуальность приобретает выбор материала и степени пластической деформации, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства кристаллизаторов.

Анализ литературы и экспертные оценки специалистов показали, что на физико-механические свойства технической меди оказывают влияние в различной степени химический состав примесей, напряженно-деформированное состояние (литое, деформированное, отожженное), способ получения полуфабриката (прокатка, прессование, ковка, волочение), температура испытания, степень, скорость и дробность пластической деформации. В то же время в существующей литературе нет рекомендаций по выбору наиболее эффективных технологических режимов получения медных стенок кристаллизаторов повышенной износостойкости и прочности [4-6].

Цель работы заключалась в выборе режимов пластического деформирования заготовок стенок кристаллизаторов из бескислородной меди, обладающих высокими эксплуатационными свойствами.

Для исследования напряженно-деформированного состояния и механических свойств заготовок стенок кристаллизаторов из бескислородной меди была проведена серия высокотемпературных испытаний на образцах с различной дробностью и степенью пластической деформации. Применялись методы механических испытаний в соответствии с

ГОСТ 9651-84 и ГОСТ 1497-84. Исследования выполнены на испытательной машине ИМ12 А, снабженной муфельной печью для нагрева образцов и системой регулирования температуры.

Образец крепили в зажимах испытательной машины. На диаграммном записывающем устройстве воспроизводился процесс испытания в виде кривой, расположенной в системе координат «нагрузка-деформация».

На основании проведенных испытаний в диапазоне 23-500 °С были получены сериальные кривые (рис. 1), характеризующие прочностные свойства материала кристаллизатора, а именно зависимость условного предела прочности (σ_B) от температуры испытания.

Как видно из графика, изображенного на рис. 1, с увеличением степени предварительной пластической деформации от 14 до 34%, во всём температурном диапазоне материала кристаллизатора наблюдается плавное увеличение прочностных свойств.

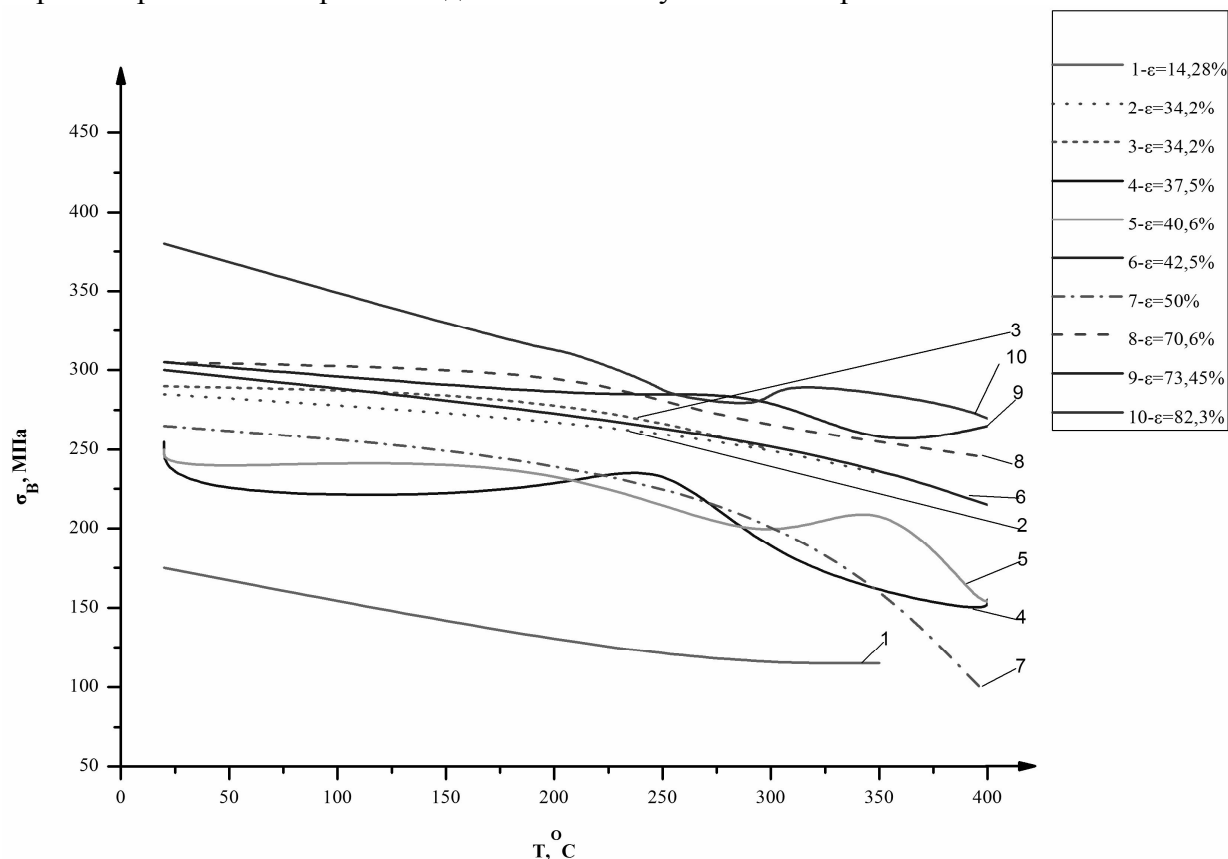


Рис. 1. Температурная зависимость предела прочности меди после различной степени деформации ϵ

Улучшение механических свойств меди в результате их деформирования объясняется тем, что в деформированных зернах активное окисление границ зерен снижается и прочность границ зерен уменьшается менее существенно. Кроме того, измельчение зерен при деформировании, также способствует повышению прочности границ [2, 3].

Механические свойства и однородность получаемой структуры медных стенок кристаллизаторов, формообразованных холодной кузнечной протяжкой, существенно зависят от неравномерности перераспределения дислокационных скоплений в процессе пластической деформации. Исследования плотности дислокаций выполнялись на электронном микроскопе Philips.

Установлено, что в исходном (литом) состоянии заготовки плотность дислокаций соответствует $\rho_{\text{дис}} = 10^6 \dots 10^7 \text{ см}^{-2}$. Возникновение при холодном деформировании литой заготовки различного рода препятствий движению дислокаций обеспечивает увеличение плотности дислокаций до $\rho_{\text{дис}} = 10^{11} \dots 10^{13} \text{ см}^{-2}$ и делает их распределение более равномерным. Это благоприятный фактор, так как высокая плотность дислокаций и равномерность их распределения способствуют локализации деформации.

При суммарной степени деформации более 37% плотность $\rho_{\text{дис}}$ дислокаций превышает 10^{12} см^{-2} , что приводит к значительному возрастанию взаимодействия полей от близко расположенных дислокаций и межкристаллитной деформации.

Испытания показали, что рациональным технологическим режимом предварительной пластической деформации материала заготовки кристаллизатора, является режим: $\varepsilon = 20 \dots 25\%$, $N_{\text{пр}} = 10$.

В ходе работы выполнен анализ влияния степени и дробности пластической деформации на прочностные свойства заготовок стенок кристаллизаторов. Для контроля полученной структуры и проверки на соответствие ее заданным параметрам использовалась комплексная методика рентгеноскопии и оптической микроскопии.

Выводы:

1. Установлено, что с ростом степени предварительной пластической деформации поковки до 37% улучшаются прочностные свойства стенок кристаллизаторов, работающих в диапазоне температур 970...1000 К за счет измельчения структуры и повышения прочности меди.

2. Установлено, что при увеличении числа проходов (дробности) пластической деформации происходит увеличение твердости (прочности) материала поковок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Абрамова Н.Б., Аптекарева О.Н. Разработка технологии изготовления заготовок для медных стенок кристаллизаторов МНЛЗ //Заготовительные производства в машиностроении: ежемесячный научно-технический журнал, 2007, №3, С. 53-55
2. Паршин В.М. Буланов Л.В. Непрерывная разливка стали – Липецк: ОАО «НЛМК», 2011 – 221 с.
3. Скворцов А.А., Акименко А.Д. Теплопередача и затвердевание стали в установках непрерывной разливки – М.: Металлургия, 1966 – 190 с.
4. Германн Э. Непрерывное литье: справочное издание – М: Металлургиздат, 1961 – 815 с.
5. Ferry M. Direct Stripcasting of Metals and Alloys: Processing, Microstructure and Properties - Woodhead Publishing and Maney Publishing, 2006 – 275 p.
6. Sahai Y., Emi T. Tundish Technology For Clean Steel Production - World Scientific Publishing Company, 2008 – 316 p.

Сведения об авторах

Безенкин Николай Валентинович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: аспирант

Электронная почта: vol4arok@gmail.com

Скотникова Маргарита Александровна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., проф.

Должность: профессор

Электронная почта: skotnikova@mail.ru

ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ УДАРНОГО ТИПА ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Аннотация. Построены динамическая и математическая модели машины, выполнено решение уравнений движения машины, рассмотрены варианты улучшения показателей качества машины.

Ключевые слова: брикетировочные устройства, уравнение движения машины, движущий момент, возмущающий момент, приведенный момент инерции.

В настоящее время требуется большое количество оборудования для изготовления брикетов различных форм и размеров при утилизации отходов промышленных предприятий и бытового мусора, изготовлении альтернативного топлива из биомассы, отходов сельскохозяйственных и деревоперерабатывающих предприятий, изделий мебельного производства.

При определении и выборе рациональных параметров брикетировочных устройств ударного типа необходимо учитывать их кинематические и динамические характеристики.

Исследования проводились для кулисного механизма (Рис. 1) с длиной звеньев $L_1=0,1$ м, $L_3=1,0$ м, $L_4=0,42$ м, погонной массой (μ), 50 кг/м, координатами $X_a=-0,5$ м, $X_d=0,7$ м. Нагрузочная диаграмма представлена на рис. 2. Максимальная сила давления ($P_{\max}$), 4 кН

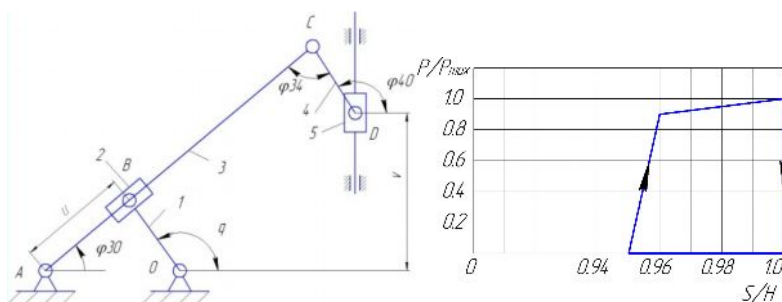


Рис. 1. Структурная схема механизма

Рис. 2. Нагрузочная диаграмма

Геометрический анализ механизма позволил определить все выходные координаты. При помощи программы MathCad определены экстремумы положения выходного звена. Максимум положения выходного звена соответствует углу поворота кривошипа $101,537^\circ$ и равен $-0,158$ м. Минимум положения соответствует $258,463^\circ$ кривошипа и равен $-0,558$ м. Таким образом, ход выходного звена равен $0,4$ м. Коэффициент производительности механизма – $1,294$.

Задачей динамического исследования машины является определение закона движения входного звена исполнительного механизма $q(t)$ с учетом динамических свойств приводного двигателя, движущего момента $Q(t)$ и динамической нагрузки в приводе $M_{\Pi}(t)$, а также оценка неравномерности вращения входного звена и проверка перекладки зазоров в приводе, улучшение динамических показателей качества машины.

При кинетостатическом анализе механизма определены движущие силы и реакции в кинематических парах. На рис. 3 представлен график движущего момента, а на рис. 4 представлена схема привода.

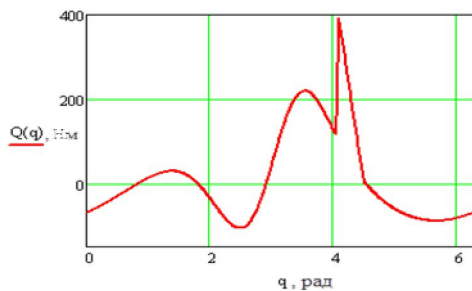


Рис. 3. График движущего момента

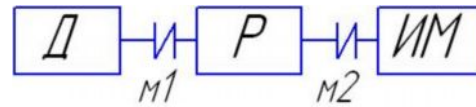


Рис. 4. Схема привода
Д – двигатель, Р – редуктор,
ИМ – исполнит. механизм, М1, М2 – муфты

Динамический расчет машинного агрегата связан с определением и исследованием стационарного решения системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} J_{np}(q)\ddot{q} + \frac{1}{2} \frac{dJ_{np}(q)}{dq} \dot{q}^2 = Q + Q_c(q) & (1) \\ \tau \dot{Q} + Q = Q^{cm}(\dot{q}) & (2) \end{cases}$$

Уравнение (1) представляет собой уравнение механической системы агрегата.

Уравнение (2) является приведенной динамической характеристикой двигателя.

Для отыскания стационарного решения этих уравнений использован метод последовательных приближений. В результате расчетов определены приведенный момент инерции, приведенный момент сил сопротивления, приведенная статическая характеристика двигателя, возмущающий момент и приведенный момент сил сопротивления, динамическая ошибка по углу и скорости, движущий момент при учете механической характеристики электродвигателя. График движущего момента при учете механической характеристики электродвигателя представлен на рис. 5, а на рис. 6 - график угловой скорости кривошипа при разбеге и установившемся режиме.

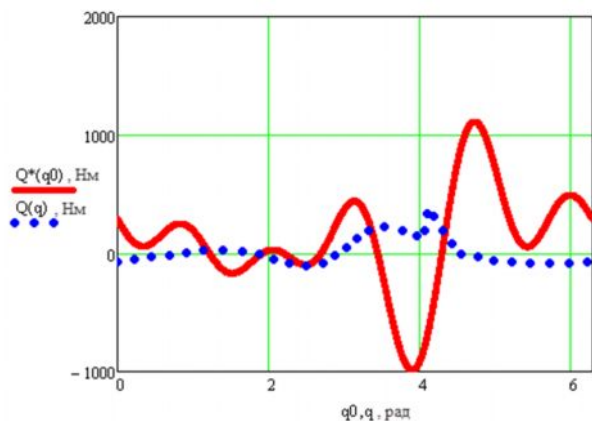


Рис. 5. Движущий момент при учете механической характеристики электродвигателя

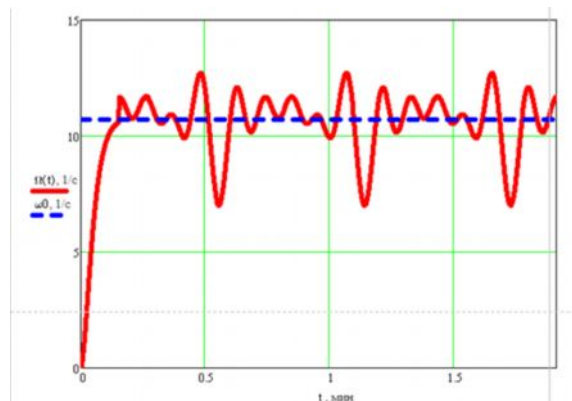


Рис.6. Угловая скорость кривошипа при разбеге и установившемся режиме

Для уменьшения неравномерности вращения кривошипа устанавливается маховик. Расчет маховика показал, что его массе не соизмерима с массой механизма, поэтому установка маховика нецелесообразна.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учеб. Для втузов. – 4 изд. перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.
2. Таловеров В.Н., Гудков И.Н., Таловеров А.В. Кузнечно-штамповое оборудование. Курс лекций. – Ульяновск, 2005. – 145 с.
3. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповое оборудование: Учебник для ВУЗов / под ред. Л.И. Живова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 560 с.
4. Тарасенко Е.А., Номинас С.В. Привод брикетировочного устройства/
Проблеми розвитку дорожньо-транспортного і будівельного комплексів: Збірник статей і тез міжнар. наук.-прак. конф., 03-05 жовтня 2013 р. – відпов. за випуск к.т.н., доц. Хачатурян С.Л. – Кіровоград, ПП «Ексклюзив-Систем», 2013. – с.82-88.
5. Тарасенко Е.А., Номинас С.В. Исследование кинематических и динамических характеристик привода брикетировочного устройства ударного типа/Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Ч.IV.- СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2013.- с.58-59.

Сведения об авторах:

Номинас Сергей Васильевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: nominas.s@yandex.ru

Тарасенко Елена Александровна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент.
Должность: доцент
Электронная почта: tarasel@rambler.ru

УДК 621.793

В.В. Носов, Н.А. Зеленский

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРОЧНОГО КОРПУСА ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Аннотация. В статье описаны проблемы, возникающие при неразрушающем контроле прочных корпусов (ПК) подводных аппаратов (ПА). Предложена методика определения степени опасности дефектов прочного корпуса ПА, на основе явления акустической эмиссии. Описан способ нагружения прочного корпуса, имитирующий гидростатическое давление, с целью акустико-эмиссионного исследования. Приведены результаты анализа экспериментальных данных, основанного на микромеханической модели акустической эмиссии.

Ключевые слова. Неразрушающий контроль, акустическая эмиссия, подводный аппарат, прочный корпус.

Подводный аппарат — небольшое судно, используемое для выполнения разнообразных задач в толще воды и на морском дне. Основными частями ПА являются наружный корпус, прочный корпус, несущая рама, цистерны, а также оборудование необходимое для функционирования ПА на глубине и обеспечения работоспособности экипажа. Прочный корпус аппарата (рис. 1) представляет собой замкнутую оболочку обеспечивающую

водонепроницаемость и воспринимающую внешнее гидростатическое давление. Оптимальной формой при всестороннем наружном давлении является сфера [5].

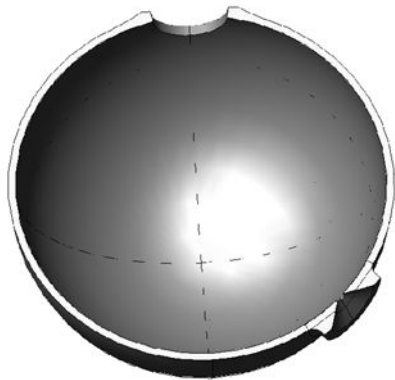


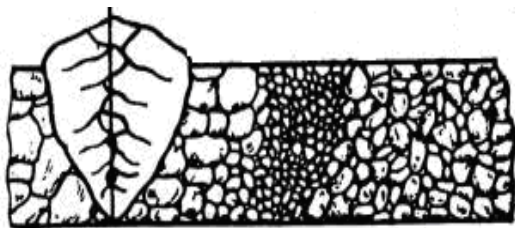
Рис. 1. ПК подводного аппарата

Основной способ изготовления ПК аппарата из стальных лепестков, сваренных между собой. При этом структура металла не является однородной, так как сварной шов представляет собой литую дендритную структуру (рис. 2, *a*). Отвод тепла во время кристаллизации металла шва происходит в основной металл, т.е. кристаллы растут в сторону центра шва, где скапливаются все окислы и легкоплавкие включения, которые могут стать началом для зарождения трещин.

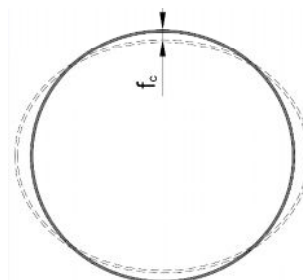
Основными критериями работоспособности ПК являются прочность и устойчивость. Количественно их выражают через соотношения расчётных и допускаемых напряжений или давлений. Анализ напряженно деформированного состояния ПК производится с помощью метода конечных элементов (МКЭ) и программной системы ANSYS. Результаты сравниваются с требованиями, приведенными в Морском Регистре Судоходства [1].

Толщина стенки оболочки, следовательно, ее масса и стоимость, зависят от точности изготовления корпуса и наличия дефектов. Для контроля дефектности используют неразрушающие методы. Контроль радиационным излучением, как и ультразвуковой контроль способны определить размер дефекта и место его расположения, но не дают представления о степени опасности дефекта.

Для проверки прочности корпуса глубоководных аппаратов проводят гидравлические испытания, заключающихся в создании в замкнутом объеме избыточного давления жидкости, превышающего рабочее давление, действующее во время эксплуатации на ПК. Но при создании внутреннего давления характер нагружения не соответствует характеру нагружения при реальной работе корпуса на глубине, вместо сжимающих напряжений в обшивке возникают растягивающие.



a



б

Рис. 2. Технологические несовершенства изготовления ПК ПА.

a - структура сварного шва и зоны термического влияния,

б – величина отклонения от правильной формы

Тонкостенные оболочки разрушаются, как правило, вследствие потери устойчивости, и это происходит из-за отклонения сферической оболочки от правильной формы, например, эллиптичности (рис. 2). С помощью метода конечных элементов проанализируем напряжения, создающиеся в эллиптической оболочке под действием гидростатического давления (рис. 3, *a*). Наличие в высоконапряженных зонах оболочки дефектов, приведет к концентрации напряжений на маленьком участке металла в непосредственной близости от дефекта, что может вызвать разрушение конструкции. Так как дефекты присутствуют в

любой конструкции в виде микротрещин, то необходимо разделять их по степени опасности, что не позволяет анализ с помощью МКЭ и что возможно сделать с помощью акустико-эмиссионной диагностики.

Акустическая эмиссия (АЭ) — явление возникновения и распространения упругих колебаний (акустических волн), во время деформации напряжённого материала. Принцип диагностики конструкций заключается в сборе информации с множества звуковых (и ультразвуковых) датчиков, и её обработке для последующего определения степени опасности дефектов [2, 3]. Для возможности применения акустико-эмиссионного контроля необходимо создать в стенках корпуса напряжения, эмитирующие напряжения, действующие при работе аппарат на глубине. Так как изготовление камеры, создающей гидростатическое наружное давление равное давлению на предельных глубинах и при этом способную вместить крупногабаритные корпуса, экономически не целесообразно, предлагается заменить гидростатическое нагружение на нагрузку, распределенную по линии (по окружности).

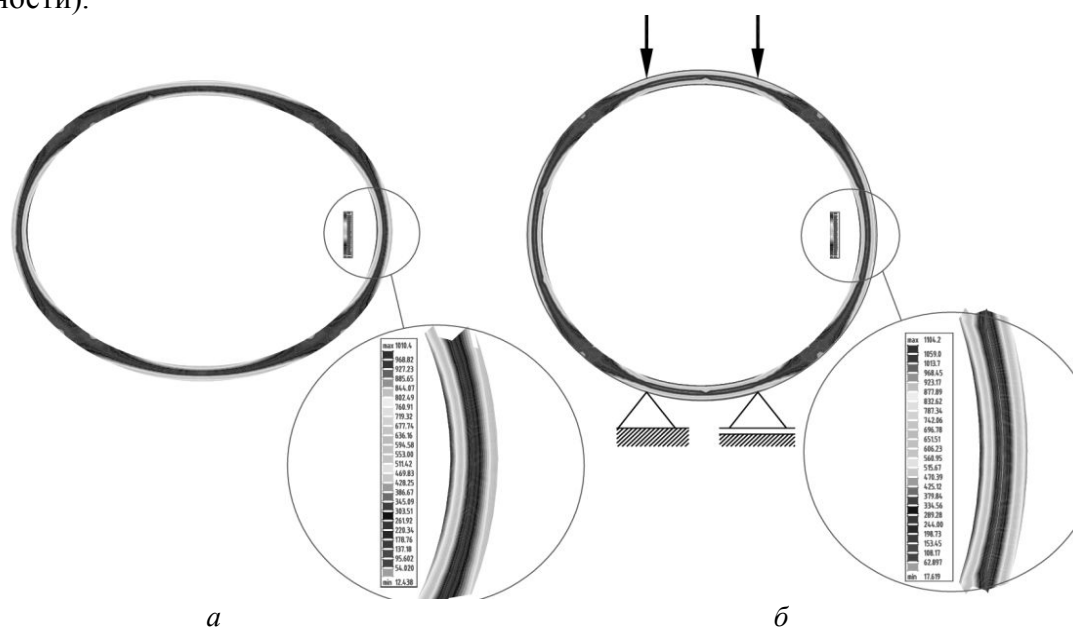


Рис. 3. Распределение напряжений в оболочке

а – под действием гидростатической нагрузки, *б* – под действием сил распределенных по кольцу

Для имитации напряжений, возникающих в оболочке под действием гидростатического давления, предложена схема нагружения, показанная на рисунке 3, *б*. Корпус, выполненный в виде сферической оболочки, укладывается на кольцевую опору и сверху к нему прикладывается нагрузка, также распределенная по кольцу. Анализ по МКЭ (рис. 3, *а*, рис. 3, *б*) показал сходство распределения напряжений данной схемы нагружения с гидростатическим нагружением. Напряжения, возникающие при наличии в оболочке дефекта или усиления сварного шва, распределяются аналогично напряжениям, возникающим при гидростатическом нагружении. Вследствие неравномерного распределения напряжений в оболочке при предложенном способе нагружения, к исследуемому ПК необходимо будет прикладывать усилия в нескольких местах, проворачивая ПК между нагружениями.

Для подтверждения возможности применения данной методики были проведены испытания на образцах, которые представляли собой замкнутые кольца, нагрузка прикладывалась аналогично по схеме показанной на рисунке 3, *б*. Для этого испытательную машину для растяжения образцов дополнили приспособлением, представляющим собой два захвата между которыми помещался кольцевой образец (рис. 4, *а*).

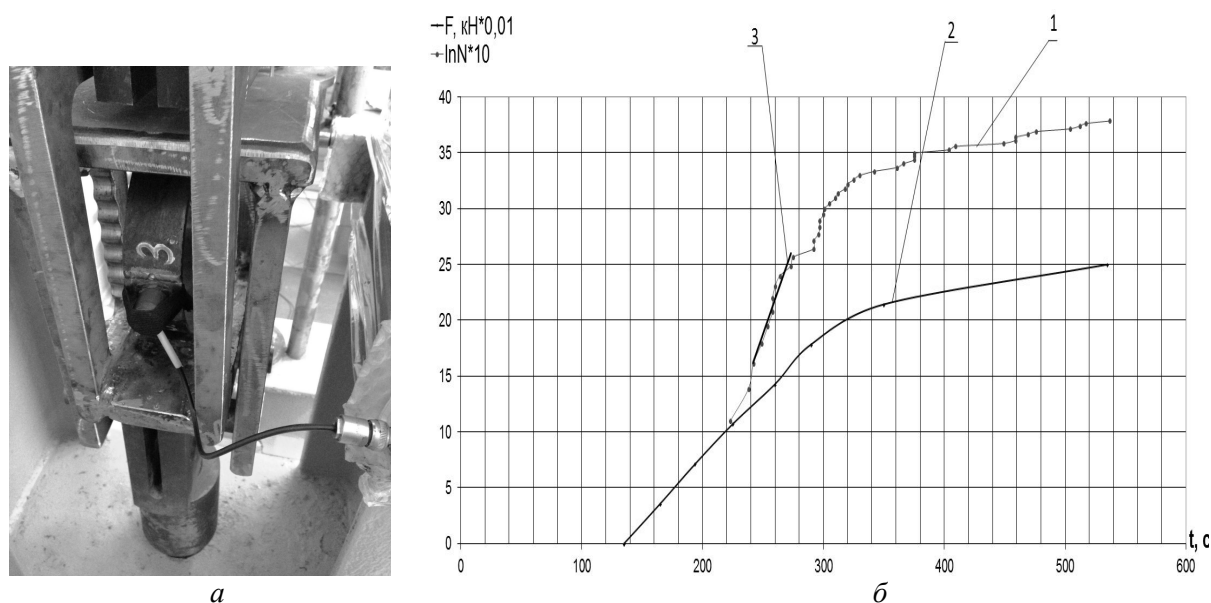


Рис. 4. Проведение эксперимента и анализ данных

а – нагружающее устройство с захватами, кольцевой образец и датчики акустической эмиссии;
б – зависимость логарифма числа импульсов (1) и нагрузки (2) от времени и участок упругого кинетически однородного разрушения (3), на примере образца 1

Табл. 1. Степень опасности дефектов по параметру X_{AE}

Степень опасности дефектов	Номер образца	$X_{AE}, 1/\text{с}$	Дефекты образца
1	5	0,0364	2 не сквозных отверстия внутри: 4мм и 3мм
2	4	0,0322	2 не сквозных отверстия снаружи: 2,4мм и 3,2мм; свищ 1мм
3	1	0,0282	2 сквозных отверстия
4	3	0,0272	2 не сквозных отверстия: внутри 3,5мм, снаружи 3мм
5	2	0,0063	Без дефектов

Каждый образец был изготовлен из четырех сегментов сваренных между собой электродом марки 08Г2С, материал сегментов сталь марки Ст3. Сварные швы располагались таким образом, чтобы они находились в зоне максимальных напряжений. Было изготовлено четыре образца с различными искусственными дефектами в сварных швах (отверстия диаметром 4 мм) и один без дефектов (см. табл. 1). Образец помещался между захватами (рис. 4, *а*). С одной стороны между сварными швами к нему подключили датчик акустической эмиссии.

В процессе эксперимента акустические сигналы регистрировались датчиками АЭ (была использована двухканальная акустико-эмиссионная система СДАЭ-16), фиксировалось число импульсов АЭ, амплитуда сигналов, величина нагрузки, время и другие параметры. По полученным данным были построены графики изменения нагрузки и логарифма числа импульсов АЭ от времени.

Анализ данных производился при помощи диагностического микромеханического параметра X_{AE} [2, 4], который показывает кинетику образования трещины и численно равен:

$$X_{AE} = d \ln N_{\Sigma}(t) / dt$$

Значение X_{AE} определяется на этапе кинетически однородного разрушения при равномерном нарастании нагрузки (см. рис. 4, б).

По величине параметра X_{AE} дефекты в образцах были распределены по степени опасности табл. 1., чем больше значение, тем опаснее дефект.

Для образца 4 значение X_{AE} больше чем для образцов 1 и 3, хотя размер дефектов уступал образцам 1 и 3, после тщательного рассмотрения в одном из сварных швов образца 4 был найден свищ глубиной и диаметром около одного миллиметра.

Таким образом, эксперимент на кольцевых образцах в сочетании с использованием параметра основанного на микромеханической модели акустической эмиссии показал возможность использования на практике предложенного способа нагружения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Правила классификации и постройки обитаемых глубоководных аппаратов, судовых водолазных комплексов и пассажирских подводных аппаратов. Российский Морской Регистр Судоходства. 2003. С. 77-80.
2. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие. 2-е изд. испр. и доп.- СПб : Изд-во «Лань», 2012.- 384 с.: ил.
3. Носов В.В. Оценка ресурса технических объектов на основе моделирования временной зависимости параметров акустической эмиссии// Вестник Белорусско-Российского университета 2013, №2, С. 149-155.
4. Носов В.В., Бураков И.Н. Микромеханическая модель разрушения и упругого излучения гетерогенных материалов// Труды международной научной конференции 26-29 окт. 2004г. СПб: Изд-во Политехнич. ун-та, 2004. С.13-15.
5. Александров В.Л., Глозман М.К., Ростовцев Д.М., Сиверс Н.Л. Проектирование конструкций основного корпуса подводных аппаратов. СПб.: Изд-во центр СПбГМТУ, 1994. 435 с.

Сведения об авторах

Носов Виктор Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: nosovvv@list.ru

Зеленский Николай Алексеевич
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
Рабочий адрес: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2
Должность: аспирант
Электронная почта: smoke.kolay@mail.ru

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СОСУДОВ ДАВЛЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Аннотация. На колонне типа К-2 были проведены АЭ эксперименты и сняты показания с датчиков. С целью нахождения оптимального метода определения ресурса сосудов давления рассматриваются различные методы определения параметра X_{ac} .

Ключевые слова: сосуд давления, акустическая эмиссия, ресурс.

Одной из главных проблем сварных соединений сосудов давления является слаба прогнозируемость их поведения, что привело к необходимости разработки методов прогнозирования разрушения на основе развития экспериментальных методов фиксации повреждений, положений механики разрушения, использования результатов микроструктурных исследований и физики прочности. Одним из таких методов был предложен метод оценки ресурса сосудов давления на основе использования явления акустической эмиссии (АЭ).

Метод АЭ обычно используется здесь совместно с другими методами неразрушающего контроля (рис. 1). При этом опасным считается дефект, максимальный эквивалентный размер которого превышает некоторое допустимое значение. На основе проведенных экспериментов были получены сигналы АЭ в момент равномерного нагружения сосудов давления.

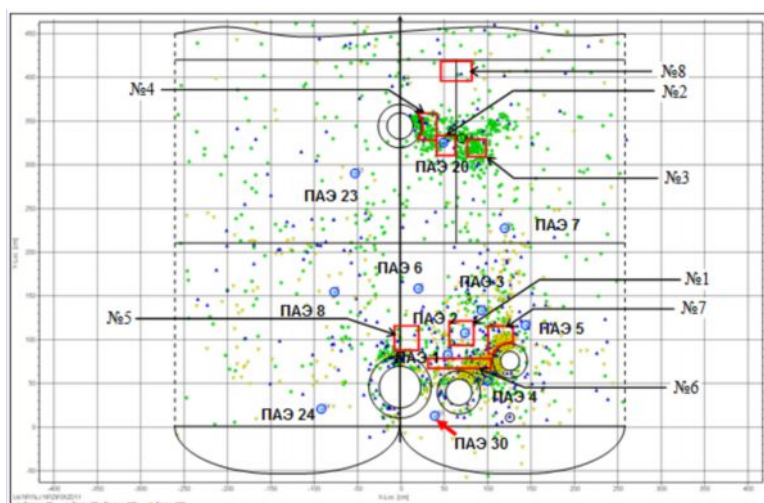


Рис. 1. Результаты АЭ локализации нижних поясов абсорбера очистки сероводорода.
На графике локации источники АЭ распределены по средней частоте сигналов.
Контурами отмечены участки, на которых проводился УЗК различного вида.

Для АЭ контроля использовалась колонна К-2. На колонну установлены 33 датчика на 8 поясов, с которых снимаются время импульса, его амплитуда и количество выбросов. Наибольшее количество датчиков (9) установлено на нижнем поясе как на самом потенциально опасном. Количество выбросов – это число пересечений порога внутри каждого импульса.

С целью нахождения оптимального метода нахождения ресурса по результатам испытаний построены графики зависимости натурального логарифма параметра, взятого за основу, от времени. В качестве параметров для определения долговечности рассматривались количество сигналов, амплитуда сигналов, количество выбросов, произведения количества

выбросов на амплитуду сигнала. По графикам были определены параметры X_{ae} как отношения приращения логарифма параметра к приращению времени. В первой группе опытов рассматривались все сигналы, полученные с датчиков, а во второй из рассмотрения были исключены сигналы со слишком большим количеством выбросов.

Были определены по поясам среднее количество сигналов, среднее и максимальное значение X_{ae} , минимальный коэффициент запаса статической прочности и минимальный и максимальный остаточные ресурсы, после чего найдены коэффициенты корреляции параметров с номером пояса (Таблица 1) и с площадью расслоения (Таблица 2).

Табл. 1. Корреляция основных параметров контроля с номером пояса

Параметр, по которому определяется X_{ae}	N_{cp}	$X_{aеср}, c^{-1}$	$X_{aемакс}, c^{-1}$	Коэф. запаса статической прочности минимальный	Остаточный ресурс максимальный	Остаточный ресурс минимальный
Полный набор сигналов АЭ						
Количество сигналов	0,893	0,984	0,909	-0,85	-0,955	-0,955
Амплитуда сигналов	0,893	0,967	0,942	-0,815	-0,964	-0,951
Количество выбросов	0,893	0,752	0,969	-0,597	-0,837	-0,834
Произведения количества выбросов на амплитуду сигнала	0,893	0,736	0,646	-0,602	-0,845	-0,845
Сокращённый набор сигналов АЭ						
Количество сигналов	0,889	0,973	0,511	-0,604	-0,664	-0,662
Амплитуда сигналов	0,889	0,442	-0,233	-0,575	-0,331	-0,33

Табл. 2. Корреляция площади расслоения с параметром X_{ae} и суммарным количеством импульсов $N_{сумм}$

Параметр, по которому определяется X_{ae}	A- X_{ae}	A- $N_{сумм}$
Полный набор сигналов АЭ		
Количество сигналов	0,842	0,621
Амплитуда сигналов	0,85	0,621
Количество выбросов	0,851	0,621
Произведения количества выбросов на амплитуду сигнала	0,851	0,621
Сокращённый набор сигналов АЭ		
Количество сигналов	0,839	0,793
Амплитуда сигналов	0,823	0,793

Из приведённых в таблицах результатов видно, что наилучшим по корреляции является определение X_{ae} и ресурса по амплитуде сигналов (высокий коэффициент корреляции максимального X_{ae} и остаточного ресурса с номером пояса и X_{ae} с площадью расслоения). Вместе с тем, корреляция основных параметров контроля при сокращённом наборе сигналов

АЭ является неудовлетворительной при любом параметре определения X_{ae} , поэтому в таблицах 1 и 2 в сокращённом наборе сигналов АЭ приведён сокращённый набор параметров, по которому определяется X_{ae} .

ЛИТЕРАТУРА:

1. Носов В.В, Бураков И.Н. Оценка прочности сосудов давления методом акустической эмиссии // Научно-технич. ведомости СПбГТУ, №3 (33), 2003. – с. 210-218.
2. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования. Учебное пособие// Изд-во «Лань», СПб, 2012. – 384 с
3. Носов В.В., Потапов А.И., Бураков И.Н. Оценка прочности и ресурса технических объектов с помощью метода акустической эмиссии // Дефектоскопия, №2, 2009. – с. 47-57.
4. Носов В.В. Оценка прочности и ресурса сварных конструкций с помощью метода акустической эмиссии // Дефектоскопия, №2, 2009. – с. 58-66

Сведения об авторах

Номинас Сергей Васильевич
Санкт-Петербургский государственный Политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: nominas.s@yandex.ru

Носов Виктор Владимирович
Санкт-Петербургский государственный Политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: nosovvv@list.ru

УДК: 620.170.16 (075.8)

Н.Н. Комарникова, В.В. Носов

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Аннотация. Подшипники качения во многом определяют эксплуатационные показатели машин, механизмов и приборных систем. Известно, что их отказы часто приводят к аварийным ситуациям. Поэтому для обеспечения требуемых эксплуатационных показателей, в частности надежности, изготавливаемых или ремонтируемых изделий осуществляют контроль состояния опор качения. Причем существует множество методов для проведения этого контроля, систематизация которых неоднозначна. И в этой статье приведена одна из возможных классификаций с рассмотрением самих этих методов контроля подшипников качения.

Ключевые слова: подшипники качения, контроль качества, методы контроля.

Известно, что одной из причин отказа в работоспособности подшипников качения является микроразрушение в области интенсивной пластической деформации и прочие явления механики разрушения. Результатами этих явлений являются усталостные разрушения поверхности, выкрашивание поверхности, выбоины поверхности и т.д. Для контроля такого рода дефектов (связанных именно со структурными изменениями) существуют различные методы, в обзоре которых состоит задача данной статьи. Целью же

является выбор метода, который наилучше может охарактеризовать не только дефекты, но и прочностные характеристики подшипников качения.

Наиболее эффективные результаты контроля могут быть достигнуты только при технически правильном выборе и применении методов контроля. Выбор метода неразрушающего контроля определяется конкретными требованиями практики и зависит от материала и конструкции подшипников качения, состояния его поверхности, характеристики дефектов, подлежащих обнаружению, условий работы детали, условий контроля и технико-экономических показателей. [6]

Визуальный метод контроля. В правильно смазываемых подшипниках при достаточной защите от попадания загрязнения и влаги износ не наблюдается. Однако рекомендуется осматривать подшипник, когда производится разборка узла, а также периодически проверять состояние уплотнений. Особенно важно иметь надежные уплотнения, когда в подшипниковую опору могут проникнуть горячие или коррозионно-активные жидкости и газы. Для адекватной защиты от попадания жидкости следует предусматривать лабиринтные уплотнения, постоянно наполненные пластичной смазкой. Войлочные и другие контактные уплотнения должны своевременно заменяться. Уплотнения не только защищают подшипниковый узел от загрязнений, но также удерживают смазку в корпусе подшипникового узла. Если смазочный материал вытекает из подшипникового узла, следует проверить состояние уплотнений и пробок сливных отверстий. Утечка смазки может также быть следствием плохого уплотнения стыков деталей разъемного корпуса подшипникового узла или деструкции избытка пластичной смазки при перемешивании (избыточное маслоотделение). Устройства автоматического смазывания также должны проверяться: достаточно ли количество масла или пластической смазки в системе, правильно ли дозируется подаваемый смазочный материал. Также следует следить за состоянием смазки – изменение цвета или потемнение может быть симптомом ее загрязнения.

Вибро-диагностический метод. Дефекты подшипников качения с высокой достоверностью можно обнаружить по высокочастотной вибрации подшипников, свойства которой существенно меняются под действием даже незначительных колебательных сил. По мере роста дефектов и колебательных сил изменяется сначала среднечастотная вибрация подшипниковых узлов, а затем и низкочастотная вибрация машины в целом.

Как следствие, системы выходного контроля подшипников строятся из расчета на обнаружение, прежде всего средних дефектов изготовления, и контролируют среднечастотную вибрацию подшипника, а системы аварийной защиты рассчитываются на обнаружение сильных дефектов и контролируют низкочастотную вибрацию машины в целом. Что касается систем глубокой диагностики подшипников в процессе эксплуатации машин, то они в обязательном порядке используют методы анализа высокочастотной вибрации, а, при необходимости, контролируют и среднечастотную, и низкочастотную вибрацию подшипниковых узлов. [5]

Акустико-эмиссионный метод. Метод акустической эмиссии основан на регистрации и анализе упругих волн, излучаемых из конструкционного материала из-за локальной динамической перестройки структуры этого материала. В подшипниках качения эти волны возникают из-за таких явлений, как процессы микроразрушений структурных элементов, движение дислокаций, явление кристаллизации, трения и изнашивания. [3]

Внезапное движение источника эмиссии вызывает возникновение волн напряжений, которые распространяются в структуре материала и достигают пьезоэлектрического преобразователя. По мере роста напряжений, активизируются многие из имеющихся в материале объекта источников эмиссии. Электрические сигналы эмиссии, полученные в результате преобразования датчиком волн напряжений, усиливаются, регистрируются аппаратурой и подвергаются дальнейшей обработке и интерпретации.

Основные параметры акустической эмиссии – это число импульсов за время наблюдения и активность акустической эмиссии, равная количеству импульсов в некотором интервале времени наблюдения. Для характеристики процесса акустической эмиссии важно не только количество импульсов, но и их амплитуда, которую обычно измеряют в вольтах. Результаты физических исследований акустических волн, связанных с деформированием материалов, показывают, что на основе этого явления можно создать эффективные методы неразрушающего диагностического контроля состояния материалов для оценки опасности возникшей ситуации и близости момента отказа (разрушения).

Оптический метод контроля. Контроль этим методом осуществляется с помощью прибора, который называется лазерный интерферометр. Лазерный интерферометр – оптический интерферометр, в котором в качестве источника света используется лазер. Высокие когерентность и спектральная плотность лазерного излучения обуславливают преимущества лазерного интерферометра перед обычными интерферометрами, в т. ч. по точности измерений. С помощью лазерных интерферометров измеряют линейные перемещения от сотых долей микрона до нескольких десятков метров, угловые перемещения от долей секунд до нескольких градусов, амплитуды колебаний до 10^{-24} м, определяют шероховатости и неровности поверхностей с погрешностью до 10^{-10} м, исследуют акустические колебания кристаллических решёток и т. д. [1]

Электрический метод контроля. Электрические методы основаны на создании в контролируемом объекте электрического поля либо непосредственным воздействием на него электрическим возмущением (например, спектростатическим полем, полем постоянного или переменного стационарного тока), либо косвенно с помощью воздействия возмущениями неэлектрической природы (например, тепловым, механическим и др.). В качестве первичного информативного параметра используются электрические характеристики объекта контроля.

Самым популярным способом организации электрического неразрушающего контроля является так называемый электропотенциальный метод, который основывается на регистрации и последующем анализе падения электромагнитного потенциала.

Если к любому металлическому телу приложить электрическое напряжение, то в нём, соответственно, возникнет специфическое электрическое поле, причём все точки с одинаковым потенциалом будут образовывать специальные эквипотенциальные линии. В местах нахождения дефектов возникает некоторое падение напряжения, его можно измерить при помощи электродов, а затем уже сделать выводы о характере, силе, глубине и общем масштабе повреждений. [4]

Тепловой метод контроля. Повышенная температура подшипникового узла указывает на ненормальную работу подшипника. Кроме того, нагрев может отрицательно влиять на смазочный материал. С другой стороны, повышение температуры может способствовать подаче смазки в подшипник. Длительная работа при температуре свыше 125°C может привести к снижению долговечности подшипника. Причиной повышения температуры подшипника может служить как недостаточное, так и избыточное смазывание, повышение нагрузки, загрязнение смазочного материала, слишком малый зазор в подшипнике, чрезмерный натяг, а также высокое трение в уплотнениях.

Поэтому необходимо регулярно контролировать температуру, как подшипников, так и других ответственных деталей. Изменение температуры при постоянных условиях работы может указывать на возникновение повреждений. [2]

Вывод. Данная классификация методов контроля подшипников качения основана на их физической основе с приоритетом на неразрушающие методы. Существуют и другие, но здесь описаны самые основные и распространенные. Самым развитым и дающим наиболее точные и полные сведения о состоянии подшипников качения является вибро-диагностический метод. Он позволяет определить без остановки работы подшипникового

узла наличие дефектов, их место расположения, а также, насколько они опасны на данный момент для конструкции. Но одним из главных недостатков этого метода является неспособность спрогнозировать остаточную работоспособность с достаточно большой точностью. Поэтому я считаю, что метод акустической эмиссии в данном направлении более актуален, ведь он дает ответ касательно остаточной прочности при таком соединении, а значит, и при работе специалистов акустической эмиссии в направлении контроля подшипников качения возможен прорыв в более точном прогнозировании оставшейся продолжительности работы. Следовательно, это поможет более полно использовать ресурсы подшипников, что, безусловно, будет экономить время и деньги предприятий и производств на покупку и замену этих подшипников.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алехин В.Е., Мирошниченко И.П., Сизов В.П. Методы измерения смещений поверхности объектов контроля лазерными интерферометрами. – Дефектоскопия, 2007, № 2, с. 53–61.
2. Будадин О.Н. Тепловой метод неразрушающего контроля и диагностики технического состояния материалов, изделий и конструкций: Дисс. Доктора техн. наук. СПб, 2001. – 564 с.
3. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. СПб, 2011. – 242 с.
4. Подмастерьев К.В. Электрический метод и средства диагностирования подшипников качения (при ремонте и изготовлении машин и механизмов): Дисс. канд. техн. наук. М., 1986. – 244 с.
5. Рагульскис К.М., Юркаускас А.Ю. Вибрация подшипников / Под ред. К.М. Рагульскиса JL: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 119 с., ил. – (Библиотека инженера. Вибрационная техника; Вып. 4)
6. Хохлов В.М. Исследование взаимосвязи параметров качества поверхности, влияющих на долговечность трущихся деталей машин: Сб. статей. Вып. 2. /Под. ред. Д.Н. Гаркунова. М.: Машиностроение, 1987. – 307 с.

Сведения об авторах

Комарникова Наталья Николаевна
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
Рабочий адрес: 199026, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: natalia-komarik@yandex.ru

Носов Виктор Владимирович
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
Рабочий адрес: 199026, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2
Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: nosovvv@list.ru

SAW-TOOTH OSCILLATIONS OF ELECTRICAL TRANSMISSION LINE CONDUCTOR AS THE RESULT OF MOVING INSPECTION ROBOT ON IT

Аннотация. В результате математического моделирования движения робота-инспектора по проводу ЛЭП выявлены пилообразные колебания в вертикальной плоскости даже при постоянной скорости. Найдены зависимости динамического прогиба от координаты и времени. Доказано, что упругий провод ЛЭП можно рассматривать как натянутую струну. Расчеты выполнены с средствами компьютерной математики.

Ключевые слова. Провода ЛЭП, робот-инспектор, колебания струны, компьютерная математика.

Abstract. As a result of mathematical simulation of moving the inspection robot on the transmission line conductor has been identified saw-tooth oscillations in the vertical plane, even at a constant speed. It was found that the dynamic deflection depends on the coordinates and time. It is proved that the resilient wire transmission line can be seen as a stretched string. The calculations are performed by means of mathematical software.

Key words. Electrical transmission line, inspection robot, string vibration, mathematical software.

Introduction

In order to check the condition of the transmission line conductor, inspection robots are designed and produced. A novel design of inspection robot [2], which is shown in Fig.1 has the ability to not only move along the electrical transmission line conductor and carry needed equipments for the diagnosis, but also to pass the obstacles.

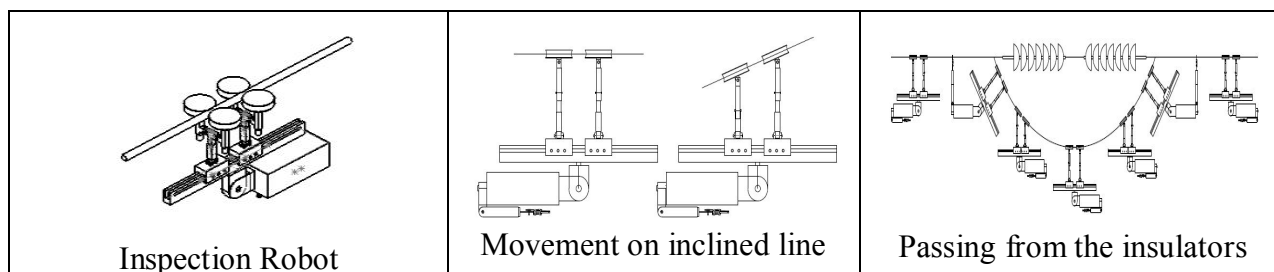


Fig. 1. Inspection robot and its capabilities

Real experience which has done in Canada [3] shows that while the inspection robot is moving on electrical lines it may face with intense dangerous oscillations. For the understanding of these oscillations and their quantitative evaluation, in order to prevent accidents and ensure safety of personnel mathematical modeling of motion of inspection robot on the conductor is necessary.

In this article some models for simulation are proposed. In the first case, the behavior of the conductor as a stretched string with a moving load has been studied [4]. Also for comparison the simulation of conductor as strings is presented.

Saw-tooth oscillations of the string

This is the simplest model: the conductor is considered as a stretched string, and the inspection robot as a moving load (Fig. 2):

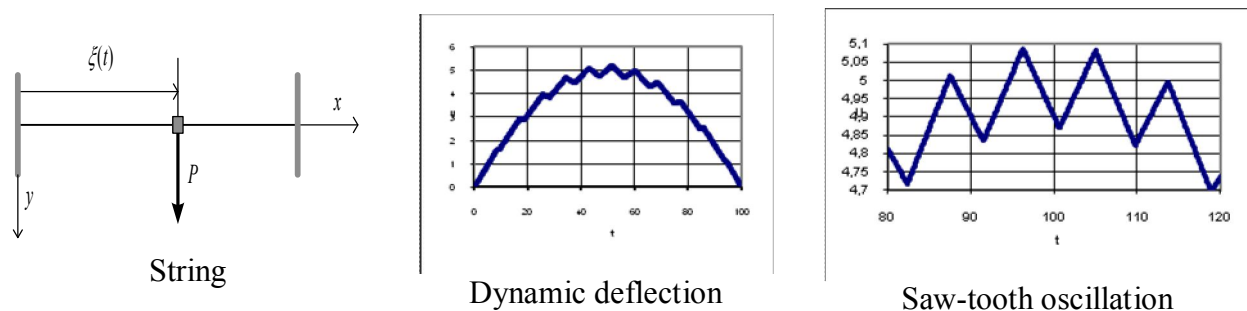


Fig. 2. String with moving loads and its dynamic deflection

Statement of the problem for the deflection of the string $u(x, t)$ is known [5]:

$$Tu'' + p(x, t) = \rho \ddot{u}; \quad x = 0, l: u = 0; \quad t = 0: u = 0, \dot{u} = 0 \quad (1)$$

Indicated: T - the string tension, p - linear load (per unit length), ρ - mass per unit length, l - length of the string; ' and $\dot{}$ mean differentiation with respect to coordinate x and time t .

Force $P(t)$, located at $x = \xi$, is $p(x, t) = P(t)\delta(x - \xi(t))$ (with delta function). Loading point can be moved by an arbitrary law $\xi(t)$. Here we have $0 < t < t_1$, $\xi(0) = 0$, $\xi(t_1) = l$.

Solution of (1) can be constructed by using the method of eigenfunctions [5]:

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_n(t) \varphi_n(x), \quad \varphi_n = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \lambda_n x, \quad \lambda_n = \frac{n\pi}{l}; \quad (2)$$

$$\int_0^l \varphi_n \varphi_k dx = \delta_{kn} \equiv \begin{cases} 1, & k = n \\ 0, & k \neq n \end{cases} \Rightarrow u_n = \int_0^l u \varphi_n dx.$$

Multiplying both sides of equation (1) by φ_n and integrating, we obtain the ordinary differential equations (ODE) for u_n :

$$\ddot{u}_n + \omega_n^2 u_n = p_n(t)/\rho, \quad \omega_n = \lambda_n c, \quad c = \sqrt{T/\rho}. \quad (3)$$

These ODEs are solved by the Duhamel integral while initial conditions are zero we have

$$u_n(t) = \int_0^t p_n(\tau) \sin \omega_n(t - \tau) d\tau / \rho \omega_n. \text{ Substituting in (4), the solution of (1) will be obtained.}$$

One can write the concentration load as $p_n(t) = \sqrt{\frac{2}{l}} P(t) \sin \lambda_n \xi(t)$. If functions $P(t), \xi(t)$ arbitrary, then in order to determine $u_n(t)$ it is possible to use mathematical software, in this paper *Mathcad* [6] has been used. By setting $P(t) = \text{const}$ and $\xi = vt$ (load moves with constant velocity v from the left end), we obtain

$$u_n = \frac{P}{\rho \omega_n} \sqrt{\frac{2}{l}} \int_0^t \sin \lambda_n v \tau \sin \omega_n(t - \tau) d\tau = \frac{P}{\lambda_n(v^2 - c^2)} \sqrt{\frac{2}{T \rho l}} (v \sin \lambda_n c t - c \sin \lambda_n v t) \quad (4)$$

Equations mentioned above have been calculated by program *Mathcad* [6]. Fig. 2 shows deflection point load $U(t) \equiv u(vt, t)$ for the following parameters: $T = 10 \text{ kN}$, $P = 1 \text{ kN}$, $v = 2 \text{ m/s}$, $\rho = 5 \text{ kg/m}$, $l = 200 \text{ m}$; members number of the series $n = 100$.

The same solution can be obtained using the Lagrange equations (2nd kind):

$$\left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_i} \right)' - \frac{\partial K}{\partial q_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + Q_i. \quad (5)$$

The kinetic energy of the system $K(\dot{q}_i, q_i, t)$ should be represented as a function of the generalized coordinates, velocities, and (sometimes) explicitly entering time; $\Pi(q_i, t)$ designated to potential energy. Generalized forces Q_i are determined from the expression of virtual work as follows $\delta A = \sum Q_i \delta q_i$ it should be mentioned that these forces are not associated with the potential Π .

Expression string energy is $K = \int_0^l \rho \dot{u}^2 dx / 2$, $\Pi = T \int_0^l u'^2 dx / 2$. For approximation we can set

$$u(x, t) = \sum_{i=1}^n q_i(t) \varphi_i(x),$$

we obtained

$$\begin{aligned} K &= \dot{q}^T M \dot{q} / 2, \Pi = q^T C q / 2; M_{ij} = \int_0^l \rho \varphi_i \varphi_j dx, C_{ij} = T \int_0^l \rho \varphi_i' \varphi_j' dx; \\ \delta A &= \int_0^l p \sum \varphi_i \delta q_i dx \Rightarrow Q_i = \int_0^l p \varphi_i dx \Rightarrow \underline{M \ddot{q} + C q = Q}. \end{aligned} \quad (6)$$

The result is a system of discrete model of ODE (linear, with constant coefficients). It is represented as

$$\begin{cases} \dot{q} = w \\ \dot{w} = M^{-1}(-Cq + Q(t)) \end{cases} \quad (7)$$

and has been solved by means of computer mathematics software (*Mathcad*, *Rkadapt*) [6].

Results as shown in Fig. 2. give identical results by using coordinate functions of (3) and considering the number of degrees of freedom is 15 ($n=15$). But variational method (Lagrange-Ritz-Kantorovich) [7] is more preferable.

For comparison, consider the static formulation of the problem (1). We have

$$Tu'' + P\delta(x - \xi) = 0, u = U_s \begin{cases} x/\xi, x < \xi \\ (l-x)/(l-\xi), x > \xi \end{cases}, U_s(\xi) = PT^{-1}(\xi^{-1} + (l-\xi)^{-1})^{-1} \quad (8)$$

Quasi-static deflection $U_s(vt)$ differs from the dynamic (Figure 2) only in the absence of oscillations.

These oscillations have a saw-tooth appearance. Скорость $V(t) = \dot{U}(t)$ является кусочно-постоянной функцией. Скачкам скорости соответствуют ударные импульсы сил инерции (переносного движения, в расчете на единицу массы). Например, при $t \approx 47$ s скачок $[V] = 0,192$ m/s.

Conductor as a thread

Conductor of transmission line is not correctly represented by the string model but by elastic thread is more accurate. Equations of mechanics thread presented, in particular, in [7-9]. Thread configuration determined by the dependence $\underline{r}(s)$ of the radius vector of a point from the material (Lagrangian) coordinates; before deformation $\underline{r}_0(s)$ (Fig. 3).

Material particle coordinate $s \in [0, L]$ is maintained. s usually considered by rotating coordinate in the initial state; then $\underline{r}_0'$ is the unit tangent vector while elongation is $\varepsilon = \left| \underline{r}' \right| - 1$. Tension force describes by $Q = Q_0 + b\varepsilon$, where Q_0 is strength in the initial state, and b is tensile stiffness.

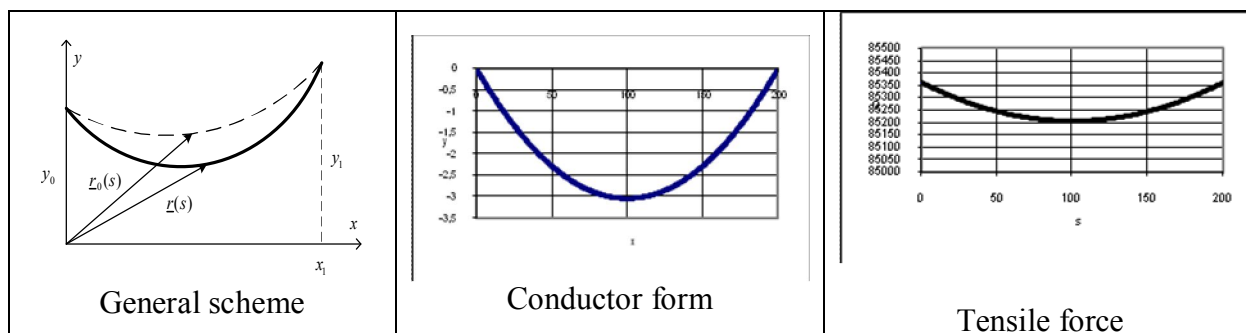


Fig. 3. Elastic thread

Since the conductor is stretched and there is no load from supports then one can assume that $Q_0 = 0$.

By considering the force balance equation (distributed load $f(s)$), can obtain the following system [9]:

$$\underline{Q}' = -\underline{f}, \quad \underline{Q} = Q \underline{r}' / |\underline{r}'| \Rightarrow \underline{r}' = \underline{Q}(b^{-1} + |\underline{Q}|^{-1}) \quad (9)$$

The boundary conditions are: $x(0) = 0, y(0) = y_0, x(L) = x_1, y(L) = y_1$ (L is initial length of conductor).

Mentioned nonlinear equation of ODE system has been solved by using built-in functions *sbval-Rkadapt* in Mathcad [6]. ODE is represented in matrix form:

$$Y = \begin{pmatrix} Q_x & Q_y & x & y \end{pmatrix}^T; Y' = F(s, Y) = \begin{pmatrix} -q_x(s) & -q_y(s) & Y_0 G(Y) & Y_1 G(Y) \end{pmatrix}^T \quad (10)$$

$$G(Y) = (b^{-1} + (Y_0^2 + Y_1^2)^{-1/2}).$$

Calculations were made for aluminum conductor radius $R = 2,5 \text{ cm}$ and length $L = 200 \text{ m}$. Coordinates fixed ends: $x_0 = 0, x_1 = L, y_0 = y_1 = 0$. Distributed load: $q_x = 0, q_y = -\rho g$ (distributed weight). Tension stiffness $b = E\pi R^2$ (E is Young's modulus). Calculated configuration conductor is shown in Fig. 3.

The tension force is known by $Q(s) = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}$. Tension force is almost constant (Fig. 3). Its average value $T = L^{-1} \int_0^L Q(s) ds = 85,26 \text{ (kN)}$ can be used in calculating of the conductor as a string.

Results of tension deflection of the string under its own weight $u_s(x) = qx(L-x)/2T$ practically coincide with the graphs shown in Figure. 3.

Conclusion

Mathematical modeling of the robot-inspector identified saw-tooth oscillations in the vertical plane even at a constant speed. It is proved that the sag of transmission lines conductor can be regarded as a stretched thread.

REFERENCES

1. Sawada J., Kusumoto K., Munakata T., Maikawa Y., Ishikawa Y. A. Mobile Robot for Inspection of Power Transmission Lines. // *IEEE Transactions on Power Delivery*, 6(1), 1991. – P. 309–315.
2. Bahrami M.R. A novel design of electrical transmission line inspection machine // *Современное машиностроение. Наука и образование*. 2014. № 4. С. 292 – 298.

3. Montambault S., Pouliot N. Design and Validation of a Mobile Robot for Power Line Inspection and Maintenance. *Proceedings of the 6th International Conference on Field and Service Robotics (FSR)*, July 2007. – P. 1–10.
4. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. М.: Наука, 1979. – 384 с.
5. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1979. – 560 с.
6. Кирьянов Д.В. Mathcad 14. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 704 с.
7. Елисеев В.В. Механика деформируемого твердого тела. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2006. – 231 с.
8. Елисеев В.В. Модель упругой нити для передач с гибкой связью // *Научно-техн. ведомости СПбГПУ, сер. «Наука и образование»*, 3(84), 2009. – С. 192 – 195.
9. Eliseev V., Vetyukov Yu. Effects of deformation in the dynamics of belt drive. // *Acta Mechanica*, Vol. 223, № 8 (2012), – P. 1657 – 1667.

Сведения об авторах

Бахрами Мохаммад Реза

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: магистр

Должность: аспирант

Электронная почта: mr.bachrami1982@gmail.com

Елисеев Владимир Васильевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.ф.-м.н., проф.

Должность: профессор

Электронная почта: yeliseyev@inbox.ru

УДК: 681.2.08

Т.А. Додашвили, С.С. Резников

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ СЛЕДОВ НА ПУЛЕ ВО ВРЕМЯ ВЫСТРЕЛА

Аннотация. Проводится краткий обзор средств для определения износа канала ствола нарезного оружия. Рассматриваются плюсы и недостатки. Для диагностики оружия предлагается использовать прибор автоматизированной баллистической экспертизы. Данный сканер дает возможность снимать микрорельеф боковой поверхности пули. Полученные изображения предлагается использовать для определения степени износа канала ствола. Для выявления закономерностей в следообразовании на пулях необходима информация о зависимости вида следа на пуле от состояния ствола. Данные зависимости можно получить путем моделирования данного процесса в программе для расчета методом конечных элементов ANSYS Mechanical. Приводятся результаты проведения эксперимента и построения модели для пневматического спортивного ружья.

Ключевые слова: износ, канал ствола, трение, моделирование, прибор автоматизированной баллистической экспертизы; EVOFINDER.

Одним из важнейших параметров для нарезного оружия является живучесть его ствола. На срок службы влияют различные факторы: его конструкция, условия эксплуатации, используемые боеприпасы, сорт пороха и многое другое. В конечном итоге, если оружие имеет низкую кучность боя, оно признается непригодным и выбраковывается.

Наибольшему износу подвержен дульный срез и участок ствола у самого патронника. Разрушению канала ствола способствуют различные факторы и чтобы предотвратить преждевременный выход из строя оружия нужно хорошо изучить все процессы, происходящие во время и после выстрела. Вблизи патронника наибольшее влияние оказывает эрозия, так как этот участок испытывает самое высокое давление и температуру. Так же внутренние поверхности ствола истираются при непосредственном давлении пули на поля нарезов. Пыль и грязь, попадающие, в основном, через дульный срез, приводят к его истиранию по диаметру. Во время выстрела действие этих частичек можно сравнить с наждаком. Со временем вследствие этого явления у оружия появляется характерный раструб. Все эти факторы в конечном итоге приводят к тому, что пуля перестает плотно обжиматься нарезами в канале ствола, она начинает «гулять» и происходит резкое снижение точности оружия. [1, 2]

Одна из неотъемлемых эксплуатационных процедур для оружия – это его диагностика на пригодность.

Для проверки крупнокалиберных артиллерийских орудий используются различные нутромеры. Они измеряют диаметр канала ствола в различных сечениях, как по полям, так и по дну нарезов.

Развитие электроники позволило использовать для этой цели оптико-электронные приборы. Они работают по принципу эндоскопа. Полученные снимки позволяют судить о степени износа канала ствола. [3]

Сложность конструкции данных приборов не позволяет сделать их менее нескольких сантиметров в диаметре. Единственное что остается для диагностики более мелкокалиберного оружия: различные калибры (измеряют лишь небольшой участок с дульной стороны), визуальный осмотр с дульной стороны (определение по теневым треугольникам изгибов, раздутий и вмятин), непосредственный отстрел на кучность.

К менее распространенным методам можно отнести использование медицинских эндоскопов (так же ограничены собственным диаметром и позволяют отслеживать лишь явные дефекты). Еще один метод, предложенный в патенте № 2368885RU – отслеживание площади сечения канала ствола при помощи измерительного цилиндра, расположенного в казенной части оружия. Измерительная жидкость, пропущенная под давлением через такой ствол, позволяет судить о кольцевом зазоре. Как уже было сказано ограничение этого метода в способности определить только площадь сечения канала ствола и не позволяет судить о геометрии. [4]

В наше время все большее распространение получают приборы автоматизированной баллистической экспертизы. Эти комплексы позволяют получать трехмерные развертки цилиндрической поверхности пули с высоким разрешением. Суть предлагаемого метода заключается в исследовании следов оставленных на пуле с целью определения по ним степени износа канала ствола. Существенным плюсом данного метода является возможность автоматизации всего процесса, что сократило бы время на поверку и позволило бы отказаться от отстрела оружия на кучность. Полученные данные позволяют судить качественные характеристики оружия непосредственно по результату врезания и обжатия пули нарезами канала ствола.

Для исследования использовалась автоматизированная баллистическая идентификационная система последнего поколения EVOFINDER. [5, 6]

Реализация данного метода требует создания большой информационной базы данных и нахождения зависимости между отражаемыми на пуле следами и состоянием канала ствола. Непосредственное отслеживание износа канала ствола и запись отображаемых признаков являются достаточно проблематичными, так как современные методы не позволяют сделать

этого неразрушающим методом. На помощь приходит современный пакет расчетов методом конечных элементов ANSYS.

Первичной упрощенной задачей было моделирование образования следов на свинцовой пулке пневматического оружия. В данной задаче пулька не врезается в нарезы в момент выстрела, а изначально находится в канале ствола. В результате изменение формы пульки после выстрела минимально. Эксперимент и моделирование предполагает два этапа: первый – моделирование выстрела стандартной свинцовой пульки и второй – моделирование стрельбы из изношенного канала ствола с чуть большим диаметром (для экспериментального сопоставления результатов стандартная пулька уменьшается на пару десятых миллиметра в диаметре). Для эксперимента использовалось спортивное нарезное пневматическое ружье Hatsan 125 TH и пулька Crosman Premier. Был разработан водный пулеулавливатель для сбора отстрелянных пулек без их деформации. Так же был собран самодельный хронограф, представляющий из себя электронный секундомер, использующий световые датчики (по времени между срабатываниями датчиков определяется скорость летящей пули). Исходные данные системы рассчитываются исходя из известных параметров пневматического ружья. Хронограф используется для пересчета кинетической энергии пульки после прохождения всего ствола. А для записи ее геометрии можно воспользоваться прибором автоматизированной баллистической экспертизы EVOFINDER. Здесь возникла дополнительная прикладная задача перевода модели записанной сканером в формат удобный для форматирования и использования в пакете ANSYS. Трехмерное изображение пульки было записано в текстовый файл облаком точек в декартовой системе координат. Далее это облако точек было конвертировано в модель с полигонами (формат читаемый САПР) при помощи пакета с открытым кодом MESHLAB. В ANSYS была создана модель трения пульки в канале ствола. Были заданы типы связей всех элементов и сформирована наиболее приемлемая для моделирования сетка (преимущественное использование кубической сетки). Поскольку в поверхностных слоях сетки происходят большие деформации (превышающие 30%) происходит сильное усложнение расчетов методом конечных элементов (возникают дополнительные нелинейности). Для данной модели использовался пакет ANSYS Explicit Dynamics вместо Transient Structural, позволяющий исключать во время расчета элементы сетки с деформациями превышающими заданные. Как оказалось расчет подобных моделей требует значительных вычислительных мощностей и невозможен на обычном домашнем персональном компьютере.

На данном этапе моделирование образования следов на пуле далеко от совершенства и требует дополнительной оптимизации. Впереди стоит еще более сложная задача моделирования образования нарезов на огнестрельном оружии. Весь процесс моделирования достаточно сложен и требует больших вычислительных мощностей. Но даже эти первые шаги играют чрезвычайно роль в процессе познания всех процессов, происходящих в канале ствола. Стоит надеяться, что в будущем будет возможность моделировать образование следов на пуле для стволов с различной степенью изношенности и с разнообразными дефектами. Обособленно будет стоять задача корреляции полученных моделей и зависимостей с реальными образцами, которые будут записываться на приборе автоматизированной баллистической экспертизы. Помимо того, что данный метод невероятно актуален с точки зрения автоматизации диагностики оружия, он поможет экспертам криминалистам лучше понимать процессы слеодообразования на пулях во время выстрела.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Потапов А.А. Искусство снайпера. - Гранд-Фаир, 2009. – 263 с.
2. Таскин А.А. Явления в канале огнестрельного оружия при выстреле. – Москва: Оборонгиз, 1940. – 116 с.

3. Гончаренко П.Д., Хайков В.Л. Современные средства контроля износа канала оружейного ствола. // Збірник наукових праць академії військово-морських сил ім. П.С. Нахімова. – 2012. №1 (9). – С. 22–30.
4. Зверев Ю.В. Способ измерения износа канала ствола и устройство для его осуществления. Патент № 2368885RU. - 2007.
5. Дереновский М.Е., Анчуков В.А. Автоматизированные баллистические идентификационные комплексы – эволюция в криминалистической технике // Специальная техника. - 2001. - №1.
6. Rahm J. Evaluation of an electronic comparison system and implementation of a quantitative effectiveness criterion // Forensic Science International 214. - 2012. – P. 173-177.

Сведения об авторах

Додашвили Тариел Алексеевич
 Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский Университет
 Информационных Технологий Механики и Оптики
 Рабочий адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр. д.49
 Должность: аспирант
 Электронная почта: tariel-alekseevich@yandex.ru

Резников Станислав Сергеевич
 Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский Университет
 Информационных Технологий Механики и Оптики
 Рабочий адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр. д.49
 Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
 Должность: доцент
 Электронная почта: stanich@mail.ru

УДК 621. 892

Е.А. Фомичевский, Е.Б. Седакова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКОГО ЗАКОНА ИЗНАШИВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗНОСА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Аннотация. Получена физическая модель износа модельных композитов, математическим выражением которой является эмпирический закон изнашивания с эквивалентными коэффициентами. Применение такой модели на стадии разработки композитов триботехнического назначения позволяет подбирать состав материалов с оптимальной износостойкостью для заданных условий нагружения при сокращенном количестве опытных образцов.

Ключевые слова: износостойкость, надежность, композит, наночастицы, наполнитель, полимер.

В настоящее время отмечается значительное расширение номенклатуры узлов трения, в которых возможно успешное применение полимерных композиционных материалов. Это приводит к необходимости роста производства композитов. Существующие материалы не всегда удовлетворяют новым требованиям. Поэтому имеется потребность в разработке новых композиций, однако этот процесс затруднен из-за высокой трудоемкости широко используемого экспериментального подхода к созданию композитов. С другой стороны, вследствие применения и развития новых технологий на рынке появляется большое количество материалов, дисперсные фракции которых могут рассматриваться в качестве

наполнителей, как микроразмеров, так и наноразмеров и дополнительно расширять ряд возможных композиций. Для значительного уменьшения объема выбракованных образцов материалов при создании новых полимерных композиционных материалов триботехнического назначения необходимо уже на начальной стадии разработки прогнозировать их износостойкость. Для решения поставленной задачи используем эмпирический закон изнашивания (ЭЗИ) [1], связывающий коэффициент износа K с совместной нагрузкой $p\nu$, представляющей собой произведение контактного давления p и скорости скольжения ν , и имеющий вид

$$K = apve^{-bpv} + c(e^{dpv} - 1), \quad (1)$$

где a, b, c, d – размерные коэффициенты, характерные для исследуемого материала.

В технических исследованиях износостойкость материалов часто оценивают по величине интенсивности линейного изнашивания I_h . Используя полученные размерные коэффициенты и, учитывая, что $I_h = Kp$, возможно перейти от (1) к выражению для определения I_h

$$I_h = ap^2ve^{-bpv} + cp(e^{dpv} - 1). \quad (2)$$

Однако (2) пригодно для оценки величины I_h уже готового материала. Для прогнозирования свойств разрабатываемых композитов требуется обобщенное выражение, учитывающее, как особенности изнашивания составляющих композита, так и их взаимное влияние. В работах [2, 3] отмечают, что поверхность трибоконтакта композита состоит из чередующихся областей материала матрицы и наполнителя. Тогда в условиях действия внешней сжимающей нагрузки контактное давление распределяется между матрицей и наполнителем, и износостойкость композита будет зависеть от механических и триботехнических свойств этих составляющих [3]. Так как влияние составляющих на износостойкость композита не подчиняется правилу адитивности, то обобщенное выражение на основе ЭЗИ требует разработки условий объединения коэффициентов с учетом распределения общей нагрузки по долям, приходящимся на области выхода на поверхность трения матрицы и структуры наполнителя. Обозначим долю внешней нагрузки, приходящейся на контактную поверхность матрицы, через β , тогда $(1-\beta)$ – доля внешней нагрузки, приходящейся на контактную поверхность наполнителя. Примем в (2) размерные коэффициенты, характеризующие I_h матрицы, как a_1, b_1, c_1, d_1 , а коэффициенты, характеризующие I_h наполнителя, как a_2, b_2, c_2, d_2 . При объединении ЭЗИ наполнителя и матрицы необходимо учесть полученные размерные коэффициенты. В [1] отмечалось, что величина коэффициента b в показателе степени при первом слагаемом ЭЗИ связана с процессом образования вторичных структур. В композите не могут одновременно протекать два диффузионных процесса, способствующих переносу материала для формирования вторичных структур. Представляется, что в реальном композите преобладает процесс, связанный с физико-механическими свойствами матрицы. На это указывает и то, что $b_1 \gg b_2$. Тогда следует принять b_1 в качестве коэффициента в показателе степени экспоненты в первом слагаемом ЭЗИ композита в целом. В то же время вклад других коэффициентов в коэффициенты ЭЗИ композита будет определяться β .

При учете выше сказанного (2) принимает вид

$$I_h = a_{\Sigma} p^2 v e^{-b_{\Sigma} p v} + c_{\Sigma} p (e^{d_{\Sigma} p v} - 1), \quad (3)$$

где $a_{\Sigma} = \beta^2 a_1 + (1 - \beta)^2 a_2$; $b_{\Sigma} = b_1$; $c_{\Sigma} = \beta c_1 + (1 - \beta) c_2$; $d_{\Sigma} = \beta d_1 + (1 - \beta) d_2$.

Покажем применимость (3) для оценки износостойкости полимерных композитов на основе полиамида ПА6. Для рассматриваемого случая величина β согласно [4] принимает вид

$$\beta = \frac{1 - \varphi_f}{(1 - \varphi_f) + \left(\frac{2}{Q} l_m \Phi + 1\right) \varphi_f}, \quad (4)$$

где φ_f – объемная концентрация наполнителя в композите; l_m – относительная длина агрегатов частиц наполнителя в нормальном направлении к поверхности трения; Q – коэффициент усиления композита, для рассматриваемого случая $Q = 3/8$ [5]; Φ – фактор фрактальности поверхности частицы наполнителя, $\Phi = 1/\varepsilon^{1-D_\phi}$; ε – масштаб измерений периметра поперечного сечения единичного элемента дисперсного наполнителя, $\varepsilon = d_\Sigma/d$; d_Σ – размер поперечного сечения единичного элемента дисперсного наполнителя, принятого за эталонный, $d_\Sigma = 20$ нм; d – средний размер поперечного сечения единичного элемента дисперсного наполнителя, вводимого в композит; D_ϕ – фрактальная размерность, в соответствии с [6] $D_\phi = 1,3$.

В качестве материала наполнителя примем мелкодисперсную фракцию углеродного графитированного материала, пропитанного сплавом антифрикционного металла АГ-1500 СО5 (ТУ 48-4802-3-2001). Допустим, что наполнители имеют средний размер частиц 5 мкм и 30 нм, скорость скольжения $v = 0,1$ м/с.

На графиках рис. 1 показана динамика изменения I_h от p и φ_f для модельного композита ПА6+АГ-1500 СО5 с наполнителем микроразмеров и наноразмеров. Зависимости рис. 1 а построены до $\varphi_f = 40\%$, которая часто используется при введении наполнителя микронных размеров в расплав полимера. Для случая введения в матрицу наполнителя наноразмеров зависимости построены до $\varphi_f = 7\%$.

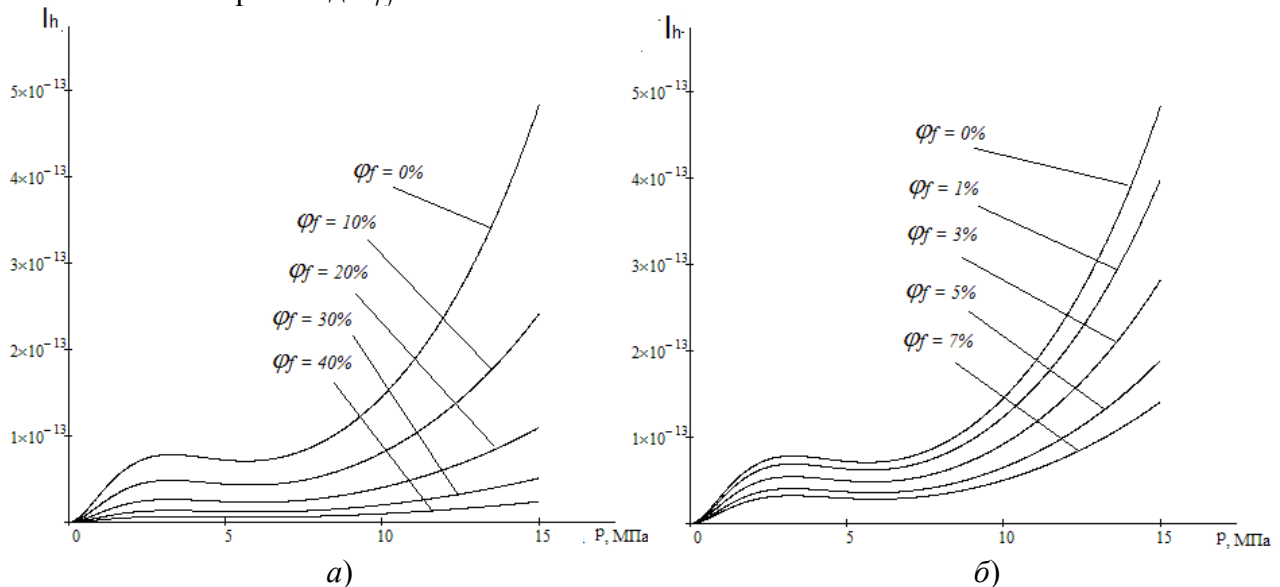


Рис. 1. Зависимости I_h от p и φ_f для модельного композита ПА6+АГ-1500 СО5:
а) дисперсность наполнителя 5 мкм ; б) дисперсность наполнителя 30 нм

Все зависимости рис. 1 имеют выраженные участки стабилизации величины I_h при увеличении контактного давления. Характер зависимостей рис. 1, а, в общем, сходен с характером зависимостей рис. 2, б). Из графиков рис 1 следует, что при наполнении матриц 5 об. % наполнителя с дисперсностью 30 нм и 20 об. % наполнителя с дисперсностью 5 мкм достигаются одинаковые значения интенсивности линейного изнашивания. При повышении концентрации наполнителя микроразмеров до 40 об. % наблюдается более существенное

повышение износостойкости, чем при введении наполнителя наноразмеров до 7 об. %. Отмеченная тенденция зависимости износостойкости композитов от содержания и дисперсности наполнителя отмечается и в литературных источниках, например в [7].

Таким образом, предложенная физическая модель износа композитов в виде (4) применима для прогнозирования износостойкости композитов на стадии их разработки, как в зависимости от условий нагружения, так и в зависимости от концентрации наполнителя.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Козырев Ю.П., Седакова Е.Б. Многофакторный анализ механизмов износа политетрафторэтилена и его композита с использованием эмпирического закона// Вестник машиностроения. 2009. N. 7. С. 43-47.
2. Li F., Hu K.A., Li J.L., Zhao B.Y. The friction and wear characteristics of nanometer ZnO filled polytetrafluoroethylene// Wear. 2001. V. 249. N. 10-11. P. 877-882.
3. Friedrich K., Lu Z., Hager A.M. Recent advances in polymer composites tribology// Wear. 1995. V. 190. P. 139-144.
4. Козырев Ю.П., Седакова Е.Б. Влияние процесса направленной агрегации частиц на характеристики полимерных антифрикционных нанокомпозитов// Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. N.4. С. 86-91.
5. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошмян В.Г., Ениколопов Н.С. Принципы создания композиционных полимерных материалов. М.: Химия. 1990. -240 с.
6. Холодилов О.В., Сергиенко В.П., Моисеева Т.М., Левин И.А. Оценка триботехнических характеристик фрикционных материалов по статистическим параметрам распределения частиц износа по размерам. // Трение и износ. 1997. Т. 18. № 4. С. 543- 548.
7. Скаскевич А.А. Структура и технология малонаполненных машиностроительных материалов на основе конструкционных термопластов, модифицированных углеродными нанокластерами. Автореф. на соиск. уч. степ. к.т.н. 2000. Минск. -22 с.

Сведения об авторах

Фомичевский Евгений Андреевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент

Электронная почта: zhenya.fomichevsky@yandex.ru

Седакова Елена Борисовна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., доцент

Должность: профессор

Электронная почта: elenasedakova2006@yandex.ru

УДК: 620.1

Г.В. Иванова, М.А. Скотникова

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ГПУ- КРИСТАЛЛАХ ПРИ ВДАВЛИВАНИИ

Аннотация. На примере титана теоретически и экспериментально установлено, что профиль валика (навал) вокруг отпечатка, образующийся в процессе измерения микротвёрдости, зависит от способности материала к деформационному упрочнению.

Показано, что по сравнению с отожженным состоянием, после наклепа или закалки отпечаток в металле точнее повторяет форму индентора. Если сжимающие напряжения ориентированы вдоль кристаллического направления [0001] ГПУ- решетки, и не совпадают ни с одной из систем скольжения, то значительного деформационного упрочнения в ГПУ- зерне в этом направлении не происходит, и возникают зоны стесненной деформации в узкой локальной области вдоль кромки индентора. Профиль валика вокруг отпечатка в металле возрастает по высоте и уменьшается по ширине, то есть, точно повторяет форму индентора.

Ключевые слова: титан, кристаллография, вдавливание, анизотропия.

Особенности упругопластической деформации приповерхностных объемов материалов при вдавливании в области фактического контакта с индентором, изучены еще не достаточно полно, особенно в титане и его сплавах с анизотропной ГПУ- кристаллической решеткой. Известно, что их модули упругости (E_{hkl}) и сдвига (G_{hkl}) непосредственно связаны с силами межатомного взаимодействия, различными в различных кристаллографических направлениях и оказываются мерой сопротивления деформированию [1].

При мягком способе нагружения (сжатии), нарастание касательных напряжений в металле происходит быстрее нормальных. При этом возрастает доля поперечной деформации, которую учитывают коэффициенты Пуассона (μ) и податливости (S_{12}). Для большинства металлов и сплавов с кубической сингонией, отношение изменения поперечных к продольным размерам тела (μ), находится в узком интервале 0,25...0,35 [2]. Для титана μ может сильно различаться от 0,322 до 0,485 в зависимости от кристаллографической ориентации приложенных напряжений.

Оценка общей объемной деформации

На рис. 1 представлен внешний вид ГПУ- решётки с нанесёнными кристаллографическими индексами Миллера плоскостей (а) и направлений (б).

Расчёт общей объемной деформации с учетом анизотропии ГПУ- кристаллической решетки производили по формуле (1).

$$\Delta V = 3(1-2\mu)/E \cdot \sigma_0 \quad (1)$$

Как показали результаты расчёта, нагружение металла вдоль гексагональной оси [0001] приводит к достижению максимальной объемной упругой деформации при минимальном изменении поперечных размеров тела, (см. табл. 1). Нагружение в других кристаллографических направлениях приводит к заметному снижению общего объема упругой деформации и к заметному увеличению поперечных размеров тела.

Известно, что профиль валика вокруг отпечатка зависит от способности материала к деформационному упрочнению $\theta = \Delta\sigma/\Delta\epsilon$. Показано, что по сравнению с отожженным состоянием, после наклепа, отпечаток в металле точнее повторяет форму индентора.

Если сжимающие напряжения ориентированы вдоль кристаллического направления [0001] ГПУ- решетки с сильным межатомным взаимодействием, и не совпадают ни с одной из систем скольжения, то наряду с большой упругой деформацией (табл.1), значительного деформационного упрочнения в ГПУ- зерне в этом направлении не происходит, и возникают зоны стесненной деформации в узкой локальной области вдоль кромки индентора. Показано, что профиль валика вокруг отпечатка в металле возрастает по высоте и уменьшается по ширине, то есть, точно повторяет форму индентора.

Аналогично, во время испытания на твердость закаленного титанового мартенсита, присутствующие в нем, ориентированные остаточные напряжения сжатия, тормозили деформационное упрочнение, усиливали локализацию пластической деформации и способствовать формированию отпечатков точно повторяющих форму индентора, рис. 2, б.

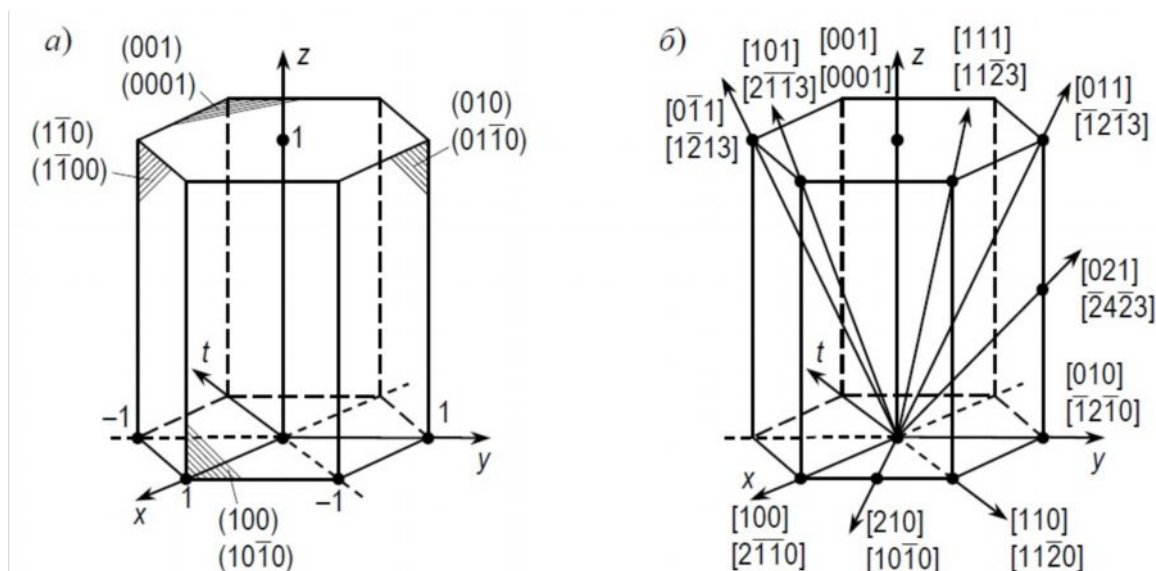
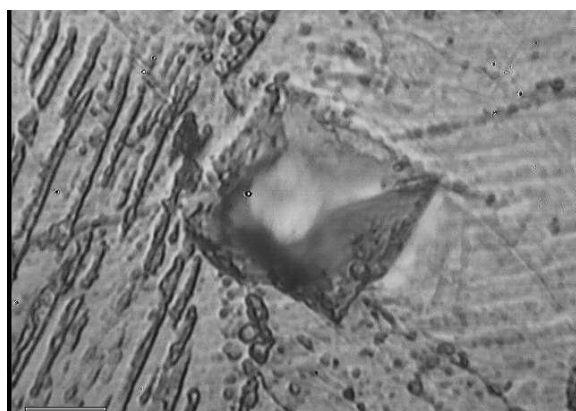


Рис. 1. Трёхзначные индексы Миллера и четырёхзначные Миллера – Бравэ для некоторых плоскостей (а) и направлений (б) в гексагональной решётке

Табл. 1. Влияние кристаллографической ориентации проникновения индентора в ГПУ-решётку титана на её объемную деформацию в этом направлении.

Кристалл о- графическая ориентация	E_{hkl} , ГПа, модуль упругости	μ , коэффициент Пуассона	G_{hkl} , ГПа, модуль сдвига	$S_{12} \cdot 10^{12}$, см ² /дина коэффициент податливости	$3(1-2\mu)/E \cdot 10^3$, ГПа ⁻¹ объемная деформация
[0001]	143,26	0,322	54,18	-0,2248	7,4549
[1010]	104,38	0,443	36,18	-0,4244	3,2764
[1012]	97,15	0,476	32,92	-0,4900	1,4822
[1011]	95,23	0,485	32,06	-0,5093	0,9451

а)



б)

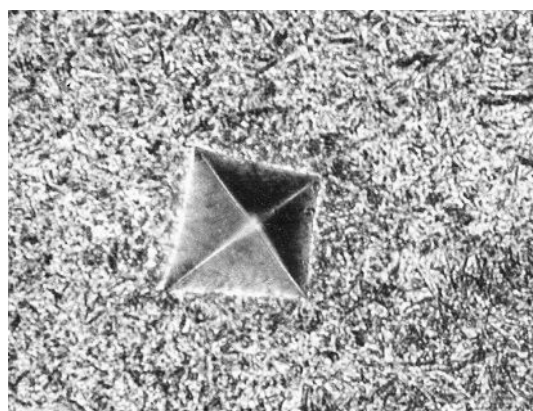


Рис. 2. Отпечатки микротвёрдости в титане, при нагрузке 500 г в исходном (а) и закалённом (б) титане.

Если сжимающие напряжения ориентированы перпендикулярно направлению гексагональной оси [0001] с более слабыми межатомными связями, и совпадают с несколькими системами скольжения, то в контактной области вблизи индентора, развивается деформационное упрочнение металла, и локализации деформации не происходит. Профиль валика отпечатка снижается по высоте и увеличивается по ширине.

Таким образом, при вдавливании, форма отпечатка в ГПУ- кристаллах зависит от анизотропии упругопластических характеристик и интенсивности локализации (сосредоточения) пластической деформации в зоне контакта с индентором. В процессе развития равномерной пластической деформации (деформационного упрочнения), многостадийной эволюции субструктуры, в теле зерен возникают встречные концентраторы напряжений, затрудняющие локализацию пластической деформации [3-5]. При этом профиль валика отпечатка от индентора сильно отличается. Чем меньше в нагруженном индентором материале развивается деформационное упрочнение (например, при усилении межатомных связей вдоль направления гексагональной оси [0001]), тем интенсивнее произойдет локализация пластической деформации в сосредоточенной контактной области, и тем точнее отпечаток повторит форму индентора.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Колачев Б.А., Мальков А.В. Физические основы разрушения титана. М: Металлургия, 1983, 160 с.
2. Мороз Л.С. Механика и физика деформаций и разрушения материалов. Л. Машиностроение, 1984, 224 с.
3. Скотникова М.А. Микроструктурные напряжения термической анизотропии в титановых заготовках. Инструмент, СПб., 1996, № 5, с.26.
4. Скотникова М.А. Кристаллогеометрическая модель пересыщения вакансиями высокотемпературной ОЦК- модификации титана. МИТОМ, 1998, № 3, 22-24.
5. Скотникова М.А. Чижик Т.А., Лисянский А.С. Исследование рабочих лопаток турбин большой мощности с учетом структурно-фазовых превращений в металле штамповок из титанового сплава BT6. Металлообработка. СПб. 2009. № 6 (54). с. 28-33.

Сведения об авторах

Иванова Галина Валерьевна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: нет.

Должность: заведующий учебной лабораторией

Электронная почта: galura@yandex.ru

Скотникова Маргарита Александровна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., проф.

Должность: заведующий кафедрой

Электронная почта: skotnikova@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ПОЛИУРЕТАНА ПО АБРАЗИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Аннотация: Приведено описание экспериментальной установки для определения коэффициента трения скольжения полиуретана по абразивной поверхности. Получена эмпирическая зависимость для определения коэффициента трения скольжения как функции трех переменных: давления, скорости скольжения и твердости полиуретана. Проведены испытания по определению износостойкости полиуретана в режиме скольжения.

Ключевые слова: экспериментальная установка, коэффициент трения скольжения, нормализованная абразивная поверхность, коэффициент трения покоя, цементно-бетонное покрытие, площадь фактического контакта, интенсивность износа.

В современном машиностроении очень актуальным является вопрос замены традиционного эластомера – резины на более совершенный современный материал – полиуретан с целью улучшения конструктивных, технологических и эксплуатационных качеств деталей.

Широкое распространение деталей вращения с упругим ободом из полиуретана вызывает необходимость освещения вопросов, связанных с их расчетом, конструированием, изготовлением и эксплуатацией.

Упругий обод служит для поглощения толчков и ударов, которые возникают во время движения, а так же упругий обод с помощью силы трения обеспечивает надежное сцепление вращающейся детали с контактирующей поверхностью. В качестве контактирующей поверхности чаще всего выступает бетонный пол торгового, складского или производственного помещения.

Испытательный стенд относится к барабанному типу [1] с вращающейся наружной рабочей поверхностью. Кинематическая схема представлена на рис. 1.

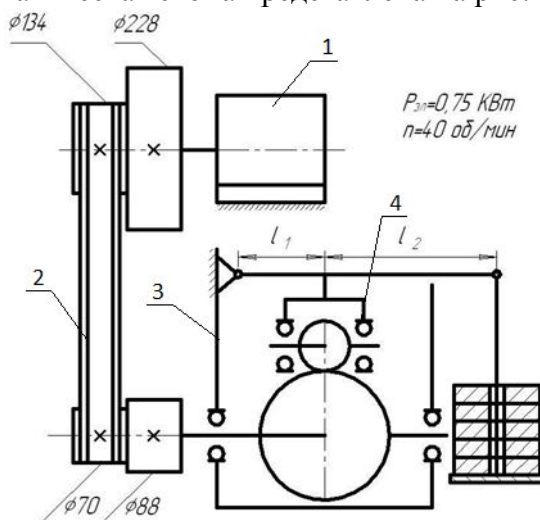


Рис. 1. Кинематическая схема установки:

1 – мотор – редуктор, 2 – ременная передача, 3 – корпус установки, 4 – кронштейн с роликами.

В качестве нагружающего устройства в экспериментальной установке используется рычаг второго рода. На рычаге имеется место для крепления кронштейна. В кронштейне установлен цанговый зажим с полиуретановым образцом для его испытания в режиме

скольжения. Схема нагружающего устройства с кронштейном для испытания полиуретановых образцов в режиме скольжения представлена на рис. 2.

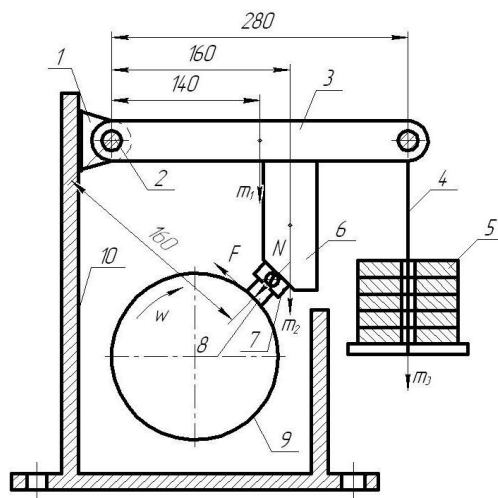


Рис. 2. Схема нагружения образца:

1 - проушина, 2 - ось, 3 - рычаг, 4 - подвес, 5 - груз, 6 - кронштейн. 7 - цанга, 8 - образец, 9 - барабан, 10 - корпус

Для измерения силы трения в электрической цепи последовательно включен ваттметр и микроамперметр для точного измерения потребляемой электрической мощности.

Для имитации шероховатости напольного цементно-бетонного покрытия на барабан экспериментальной установки наклеиваем шлифовальную шкурку зернистостью Р800 ГОСТ 13344-79. Наклеивание производим с использованием косого стыка, в целях уменьшения радиального биения исследуемого образца во время испытания. Перед испытаниями проводим стабилизацию шлифовальной шкурки с помощью полиуретанового притира, при которой удаляются наиболее острые, выступающие частицы абразива.

Сила трения во фрикционном контакте полиуретанового образца и барабана экспериментальной установки определяется по следующей формуле:

$$F_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{эл}} \cdot \eta \cdot 10^3}{\omega_{\text{вых}} \cdot i_{\text{рем}} \cdot r_{\text{бар}}}, \text{ Н} \quad (1)$$

где $P_{\text{эл}}$ - мощность, потребляемая электродвигателем, кВт;

η - КПД установки, $\eta = 0,95$;

$\omega_{\text{вых}}$ - угловая скорость выходного вала мотор-редуктора $\omega_{\text{вых}} = 4,18 \text{ с}^{-1}$,

$i_{\text{рем}}$ - передаточное число ременной передачи,

$V_{\text{л}} = 0,4 \text{ м/с}$, $i_{\text{рем}} = 1,52$;

$V_{\text{л}} = 0,6 \text{ м/с}$, $i_{\text{рем}} = 1,91$;

$V_{\text{л}} = 0,8 \text{ м/с}$, $i_{\text{рем}} = 2,59$;

$V_{\text{л}} = 1 \text{ м/с}$, $i_{\text{рем}} = 3,26$;

$r_{\text{бар}}$ - радиус испытательного барабана, $r_{\text{бар}} = 0,073 \text{ м}$.

Для асинхронных электродвигателей согласно [2] фактическая мощность развиваемая электродвигателем равна разности мощности под нагрузкой и мощности на холостом ходу.

После соответствующих подстановок получим простое выражение для определения силы трения:

$$F_{\text{тр}} = (P_{\text{эл}} - P_{\text{хх}}) \cdot N \cdot n \cdot k, \text{ Н}, \quad (2)$$

где $P_{\text{эл}}$ - показания ваттметра при испытании образца;

$P_{\text{хх}}$ - показания ваттметра на холостом ходу;

N - тарировочный коэффициент ваттметра, $N = 5$;

n – количество фаз электродвигателя, $n = 3$;
 k – кинематический коэффициент установки.

Окончательно выражение для определения силы трения при различных линейных скоростях примет вид:

$$\begin{aligned} F_{mp\ 0,4} &= (P_{эл} - 10,0) \cdot 29,5, \text{ Н}, \\ F_{mp\ 0,6} &= (P_{эл} - 10,5) \cdot 23,5, \text{ Н}, \\ F_{mp\ 0,8} &= (P_{эл} - 11,0) \cdot 17,3, \text{ Н}, \\ F_{mp\ 1,0} &= (P_{эл} - 11,5) \cdot 13,8, \text{ Н}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $P_{эл}$ – показания ваттметра при испытании образца.

Величину коэффициента трения скольжения будем определять по следующей формуле:

$$f_{ск} = \frac{F_{mp}}{F},$$

где F_{mp} – сила трения во фрикционном контакте образца и барабана;
 F – нормальная нагрузка, приложенная к образцу.

Полиуретаны могут работать в режиме трения скольжения непродолжительное время (доли секунды) при буксовании, движении «юзом» и макропроскальзывании рулевого колеса при повороте.

В качестве материала для образцов трения использовался полиуретан торговой марки «Дуотан» твердостью 65 ShA, 80 ShA, 85 ShA, 90 ShA, 95 ShA.

По результатам серии экспериментов с различными линейными скоростями во фрикционном контакте была получена эмпирическая зависимость для определения коэффициента трения скольжения как функции трех переменных (давления, скорости скольжения и твердости):

$$f_{ск} = 0,3 + 0,34 p^{1,25} + 0,02 (95 - ShA) + 0,12 V_{ск}, \quad (4)$$

где p – нормальное давление во фрикционном контакте, МПа;

ShA – твердость полиуретана в единицах по Шору;

$V_{ск}$ – линейная скорость скольжения во фрикционном контакте, м/с

Далее был проведен ряд экспериментов с различными линейными скоростями и была получена аппроксимирующая зависимость линейной интенсивности износа L_n от нормального давления p и скорости скольжения для полиуретанов различной твердости.

$$L_n = [10 + 40 p^{1,55} + 60(V_{ск} - 0,2) \cdot (1 + \frac{95 - ShA}{26})] 10^{-6}. \quad (5)$$

где p – нормальное давление, МПа;

- скорость скольжения, м/с;

ShA – твердость полиуретана по Шору.

Соответственно толщина истертого слоя h равна:

$$h = L_n \cdot L, \quad (6)$$

где L_n – линейная интенсивность износа;

L – путь трения, мм.

В заключении необходимо отметить, что:

1. Интенсивность изнашивания от нормального давления имеет показательную зависимость, т.к. с увеличением давления контактирующие поверхности сближаются и фактическая площадь контакта увеличивается.

2. С увеличением скорости скольжения интенсивность изнашивания возрастает линейно. Увеличение изнашивания связано с разогревом поверхностного слоя и уменьшением прочности полиуретана.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кислицин, А.М. Долговечность автомобильных шин в различных режимах движения / А.М. Кислицин. – Н. Новгород : Волго-Вятское книжное издательство, - 1992. – 223с.
2. Брускин, Д.Э. Электрические машины и микромашины/ Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов.- М.:Высшая школа, 1990. – 528с.

Сведения об авторах

Мазурин Валерий Леонидович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Институт металлургии, машиностроения и транспорта
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: аспирант
Электронная почта: valmazurin@rambler.ru

УДК 621.983.044

А.А. Курятников, К.О. Лоськов, В.С. Мамутов

**РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ МАТРИЦЫ
ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКЕ ПОЛИУРЕТАНОМ**

Аннотация. Разработана компьютерная модель разрушения тонколистовой заготовки при импульсной штамповке полиуретаном. В конечно-элементном комплексе *LS-DYNA*[®] использована модель металла *Modified Piecewise Linear Plasticity*, позволившая прогнозировать разрушение заготовки на кромке матрицы. Компьютерные расчеты позволяют оценить параметры напряженного состояния непосредственно на режущей кромке матрицы.

Ключевые слова. Компьютерная модель, разрушение тонколистовой заготовки, комплекс *LS-DYNA*, режущая кромка матрицы, параметры напряженного состояния.

При практическом применении операций вырубки-пробивки тонколистовых металлов важной проблемой является стойкость режущего инструмента, определяемая разрушением режущей кромки, износом материала вблизи кромки. Изменение размеров и формы инструмента вблизи режущей кромки приводит к снижению точности размеров получаемых деталей, к образованию заусенцев, а часто вызывает брак деталей. При импульсной штамповке подвижными средами контактные давления могут быть существенно больше, чем при штамповке в инструментальных штампах, а вследствие этого будет больше повреждение режущей кромки матрицы и материала вблизи нее. Например, при импульсной пробивке отверстия из заготовки из материала 10кп толщиной 0,5 мм радиус износа кромки матрицы из материала с твердостью HRC 50...55 составлял 0,1 мм уже после 200 операций [1]. Такой износ значительно больше, чем при штамповке в инструментальных штампах [2]. Поэтому при проектировании технологий вырубки-пробивки подвижными средами важным является прогнозирование и последующий анализ напряженного состояния режущей кромки матрицы.

В разделительных операциях обработки металлов давлением деформация металла завершается разрушением в области локального очага деформации. Теоретическая задача механики упругопластического разрушения является нелинейной и требуют задания комплекса характеристик материала [3]. Надежные экспериментальные исследования затруднены, особенно при вырубки-пробивке металлов толщиной менее 1 мм [4]. Вычислительные методы механики разрушения позволяют достаточно точно решать подобные задачи [5]. Прогнозирование параметров разрушения заготовки при разделительных операциях листовой штамповки позволит корректно прогнозировать точность получаемых деталей и качество среза [6, 7]. В работе [8] были развиты некоторые аспекты компьютерного моделирования разделения заготовки при вырубки-пробивке тонколистовых металлов при помощи конечно-элементного комплекса *LS-DYNA*. Однако в указанных выше работах не исследовались вопросы стойкости рабочего инструмента. Поэтому *цель работы* – оценить возможности комплекса *LS-DYNA* для прогнозирования параметров деформированного состояния материала вблизи кромки режущей матрицы.

В качестве физической модели материала использована модель *Modified Piecewise Linear Plasticity*. Особенностью данной модели является учет упрочнения металла трехчленной линейной функцией, возможность учета скоростного упрочнения, а также возможность прогнозирования разрушения металла в очаге деформаций. В случае если радиус кривизны линии реза значительно превышает толщину заготовки, что имеет место

при разделительных операциях для тонколистового металла, в очаге деформации можно рассматривать плоскодеформированное состояние точек заготовки, а величину критической деформации определять из диаграммы Келера-Гудвина.

Рассматривалось разрушение заготовки толщиной 0,8 мм из алюминия 5754. Диаметр матрицы составлял 20 мм. Задавались следующие характеристики материала матрицы: модуль Юнга $E = 220$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,31$, плотность $\rho = 7800$ кг/м³. В качестве полиуретана брался эластомер с модулем объемного сжатия $K = 2,39$ ГПа и плотностью $\rho = 1261$ кг/м³. Импульс давления соответствовал полусиносоидальной форме, характерной для магнитно-эластоимпульсной штамповки с длительностью положительной полусиносоиды 60 мкс. Амплитуда давления подбиралась примерно в 1,2...1,3 раза большей, чем минимальная амплитуда для пробивки.

Пример расчета напряжений в режущей кромке инструмента в процессе импульсной штамповки подвижной средой в момент начала разрушения материала заготовки показан на рис. 1. На рис. 1, *а* показана конечно-элементная сетка заготовки и матрицы. На рис. 1, *б* показано распределение интенсивности тензора напряжений вместе со шкалой интенсивности напряжений. На рис. 1, *в* дан график интенсивности тензора напряжений в конечном элементе на кромке матрицы, а на рис. 1, *г* показан график изменения касательных напряжений на режущей кромке для конечного элемента, указанного на рис. 1, *а*.

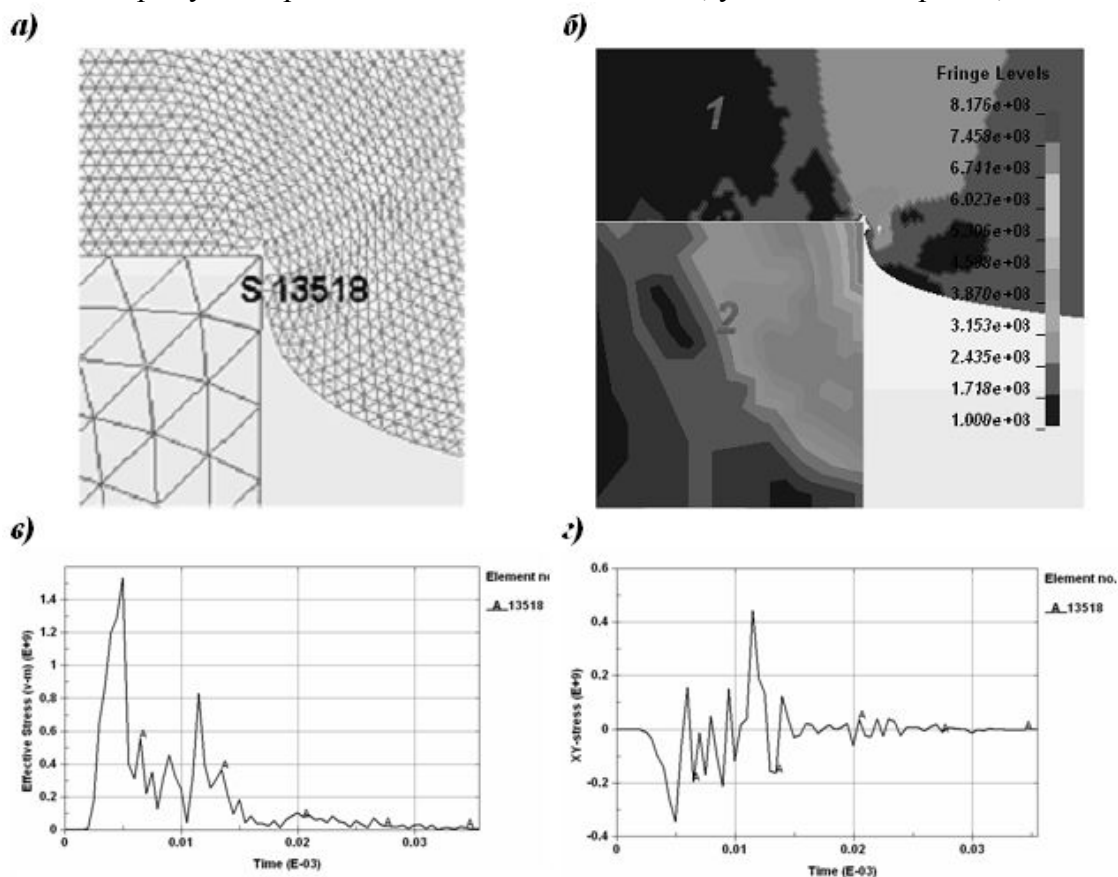


Рис. 1. Напряжения в режущей кромке инструмента в процессе импульсной штамповки подвижной средой в момент начала разрушения материала заготовки:

- а* – конечно-элементная сетка заготовки и матрицы вблизи режущей кромки матрицы;
- б* – распределение интенсивности тензора напряжений вместе со шкалой интенсивности напряжений в Па; *в* – зависимость интенсивности тензора напряжений (Па) от времени в с;
- г* – зависимость касательного напряжения на кромке матрицы от времени (*1* – листовая заготовка, *2* – матрица для пробивки отверстия)

Зная значение интенсивности тензора напряжений и напряжение текучести материала матрицы и воспользовавшись условием текучести Губера-Мизеса, можно определить возможность перехода кромки матрицы в пластическое состояние и ее смятия. В данном примере расчета из графиков видно, что интенсивность тензора напряжений на кромке матрицы достигает 1500 МПа. Эта величина соизмерима с пределом текучести инструментальной стали в закаленном состоянии. Кроме того, величина касательных напряжений, определяемая графиком на рис. 1, 2, совместно со значениями перемещения металла вдоль кромки матрицы дает возможность рассчитать мощность и работу сил трения и позволяет прогнозировать износ кромки матрицы.

Таким образом, с применением конечно-элементного комплекса *LS-DYNA 971* разработана компьютерная модель разрушения тонколистовой заготовки в процессе пробивки отверстия при штамповке подвижной средой. Компьютерные расчеты позволяют оценить параметры напряженного состояния режущей кромки вырубного инструмента и прогнозировать разрушение инструмента.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Марченко И.И. Гидроударная пробивка листовых материалов / Сборник докладов «Импульсные методы обработки материалов», Минск: Наука и техника, 1979. – С.92-97.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение, 1971. 782 с.
3. Морозов Г.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. М.: Наука, 1980. 256 с.
4. Смирнов-Аляев Г.А., Чикидовский В.П. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением. Л.: Машиностроение, 1972. 360 с.
5. Improving Standard Shell Elements, Friction Models and Contact Algorithms for the Efficient Solution of Sheet Metal Forming Problems with LS-DYNA 3D / J.O. Hallquist, K. Schweizerhof, K. Weimar, D.W. Stillman // VDI Berichte. 1991. N 89. P.499-515.
6. Мамутов В.С. Компьютерный расчет разрушения металла при тонколистовой вырубке-пробивке / Тематич. сб. научн. тр. «Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні», Краматорск: из-во ДГМА, 2008. – С.37-40.
7. Мамутов В.С. Вырубка-пробивка особо тонколистовых металлов на магнитно-импульсной установке / Сб. докладов «Современное машиностроение. Наука и образование», 3 Международная научно-практическая конференция, СПбГПУ, 2013 г. С. 867-874
8. Антощенко Т.В., Курятников А.А., Мамутов В.С. Компьютерное моделирование разделения заготовки при вырубке-пробивке тонколистовых металлов / Матер. научно-практ. конф. 41 Недели науки СПбГПУ. – ч.4, СПб, 2012. – С.80-81.

Сведения об авторах

Курятников Александр Алексеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: kuriatnikov91@mail.ru

Лоськов Кирилл Олегович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры кафедры
Электронная почта: loskov-inc-21@mail.ru

Мамутов Вячеслав Сабайдинович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: vmamutov@mail.ru

УДК: 621.762

А.М. Зайцев, П.А. Кузнецов

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАСКАТКИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ СПЕЧЕННЫХ РАВНОПЛОТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. В работе представлены разработанная схема устройства для холодной торцевой раскатки осесимметричных спеченных равноплотных изделий и экспериментальные результаты раскатки изделия типа «фланец». Применение составной матрицы обеспечивает высокую плотность, как во фланце, так и во втулочной части изделия, что расширяет технологические возможности изготовления осесимметричных деталей из спеченных материалов.

Ключевые слова: холодная торцевая раскатка, спеченные материалы, составная матрица.

Изделия с фланцами, в частности, втулки являются довольно распространенными деталями конструкционного назначения. Изделия такого типа эффективно получать холодной торцевой раскаткой [1, 2]. При изготовлении ступенчатых спеченных деталей возникает проблема получения изделий, у которых плотности втулочной и фланцевой части одинаковы, что определяет равнопрочность готового изделия [3].

Целью работы являются разработка технологии и устройства для раскатки равноплотных осесимметричных спеченных равноплотных изделий с фланцами.

На рис. 1 представлена разработанная принципиальная схема устройства для раскатки равноплотных изделий с фланцем из спеченных материалов.

Во внутреннюю втулку 3, на оправку 6 устанавливали спеченную порошковую заготовку 9, к ее торцу подводили раскатной валок 7. Шпиндель 1 с составной матрицей приводили во вращение и осуществляли подачу раскатного валка 7, таким образом, осуществлялся процесс ротационной высадки заготовки 9 и формообразование фланца. Раскатной валок воздействовал на торцевую часть втулки 2 и на торец заготовки 9, что в свою очередь приводило в движение внутреннюю втулку 3 в сторону шпинделя 1 на расстояние рабочего хода внутренней втулки – $H_{p.x.}$, что, в свою очередь приводило к осевому уплотнению втулочной части заготовки. Равномерная плотность получаемого изделия обеспечивалась за счет перемещения внутренней втулки на величину рабочего хода – $H_{p.x.}$ в момент касания втулок 2 и 3 в опорную поверхность шпинделя. При достижении необходимой величины бурта процесс останавливали, раскатной валок 7 возвращали в исходное положение, готовое изделие с помощью выталкивателя 5 извлекали из матрицы.

Исходной заготовкой для раскатки является спеченная втулка, изготовленная из железного порошка марки ПЖ4М2 ГОСТ 9849-74 плотностью 0.85 прессованием и спеканием в защитно-восстановительной атмосфере диссоциированного аммиака при температуре 1423К. При последующей раскатке по обычной схеме происходит уплотнение деформируемого фланца изделия, а плотность втулочной части заготовки практически не меняется рис. 2.

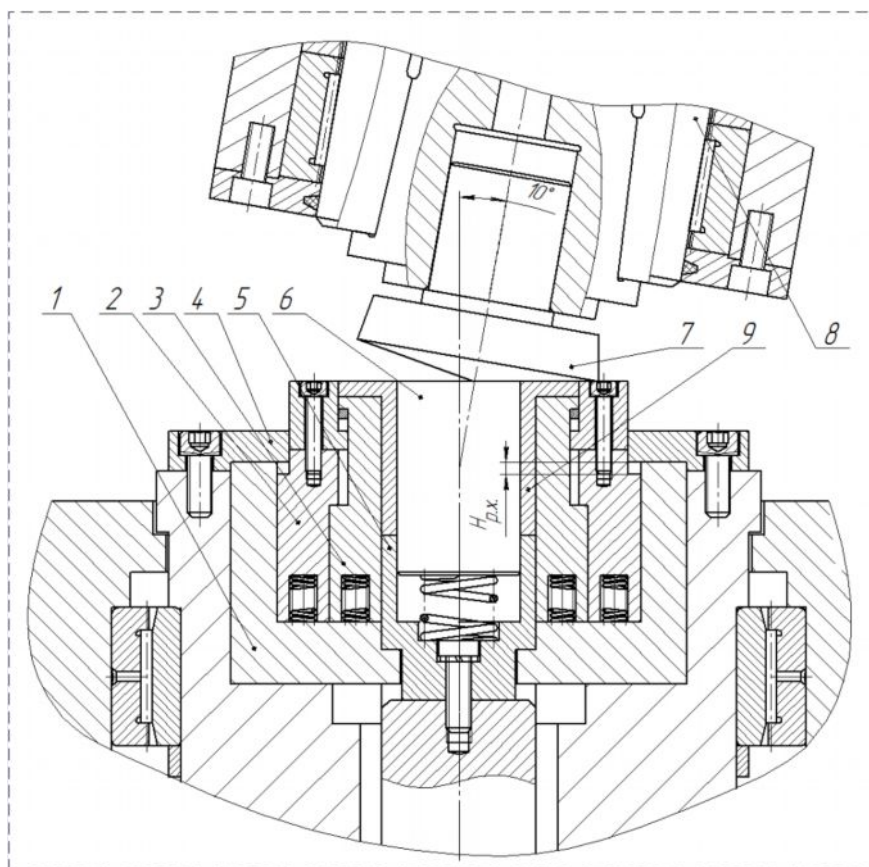


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для раскатки равноплотных изделий
 1 - шпиндель, 2 - наружная втулка, 3 - внутренняя втулка, 4 - прижим, 5 - выталкиватель,
 6 - оправка, 7 - раскатной валок, 8 - раскатная головка, 9 - заготовка

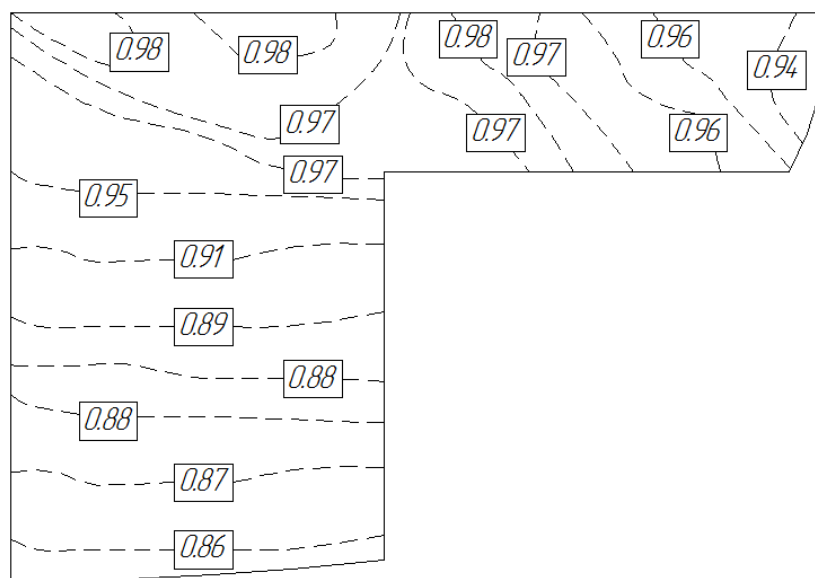


Рис. 2. Распределение плотности в изделии после раскатки
 без дополнительного уплотнения втулочной части

Недостаток заключается в том, при раскатке не осуществляется уплотнение втулочной части заготовки, что приводит к значительной разнице в плотностях втулочной и фланцевой частях изделия и провоцирует возможность образования трещин в переходе от фланца к втулочной части малопластичных материалов [3]. Еще большая неравноплотность наблюдается при комбинированной раскатке, когда фланец подвергается значительному уплотнению по сравнению с втулочной частью изделия [4,5].

Для уплотнения втулочной части заготовки до значений, близких к плотности фланца, матрица, в которой происходит раскатка, выполнена составной в виде коаксиально расположенных наружной и внутренней втулок, установленных с возможностью осевого перемещения относительно шпинделя и друг друга.

В результате комбинации процессов раскатки и осевого уплотнения в составной матрице средняя плотность фланца составляла 0.98, а средняя плотность втулочной части изделия составляла 0.97.

Прочность изделия в зоне перехода фланца к втулочной части оценивалась при технологическом испытании на срез. На рис. 3 изображено распределение плотности в изделии после раскатки в коаксиально-составной матрице.

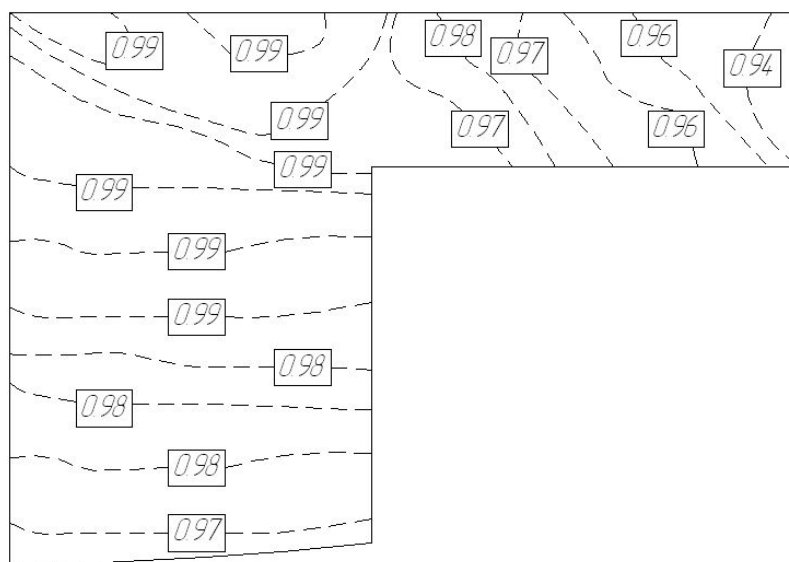


Рис. 3. Распределение плотности в изделии после раскатки в составной матрице

Технология раскатки в составной матрице с коаксиально расположенными втулками может обеспечить высокие экономические и технологические показатели процесса, а именно: высокую плотность изделия, следовательно, высокие механические свойства, равномерную плотность по объему изделия, а в целом более высокое качество деталей конструкционного назначения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Исследование процесса холодной торцевой раскатки пористых кольцевых заготовок. К.Н. Богоявленский, Н.М. Елкин и др. Порошковые, композиционные и текстурированные материалы. Сборник научных трудов. Труды ЛПИ №417. Л.: 1986. с 39-42.
2. С.Н. Кункин, Л.Б. Аксенов. Технология изготовления раскаткой осесимметричных деталей с фланцем // Современное машиностроение наука и образование: Материалы 3-й Международной научно-практической конференции / – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013.– С. 856-866.

3. Каспаров И.А. Разработка и исследование технологических процессов изготовления кольцевых деталей холодной торцевой раскаткой спеченных порошковых материалов: дис. ... канд. техн. наук: 29.09.1985/ И.А. Каспаров; ЛПИ.- Ленинград: ЛПИ, 1985. – 300 с.: ил.
4. Зайцев А.М, Кузнецов П.А. Разработка принципиальной схемы установки для комбинированной радиально-торцевой раскатки спеченных изделий. XLII Неделя науки СПбГПУ : материалы научно-практической конференции с международным участием. Ч. IV. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013г. – с.
5. Кузнецов П.А., Зайцев А.М., Кузнецова М.А. Анализ технологических возможностей процесса комбинированной радиально-торцевой раскатки при изготовлении осесимметричных деталей из спеченных материалов// Современное машиностроение наука и образование: Материалы 4-й Международной научно-практической конференции / – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013.– С. 856-866.

Сведения об авторах

Зайцев Александр Михайлович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул. , 29

Должность: аспирант

Электронная почта: amkomi@mail.ru

Кузнецов Павел Алексеевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул. , 29

Ученая степень, звание: к.т.н., проф.

Должность: профессор

Электронная почта: pv-kuznetsov@mail.ru

УДК 621.7.044

К.С. Арсентьева, В.С. Мамутов

ФОРМУЕМОСТЬ ТОНКОЛИСТОВЫХ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ И СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Аннотация. Исследована предельная формуемость низкоуглеродистой стали IF при вытяжке-формовке в коническую матрицу при импульсном и квазистатическом нагружении. Компьютерное моделирование осуществлялось при помощи конечно-элементного комплекса $LS-DYNA^{\circledR}$. Показано, что увеличение предельного формоизменения при электрогидроимпульсной штамповке по сравнению с квазистатической штамповкой полиуретаном вызвано более благоприятным распределением главных деформаций относительно диаграммы предельных деформаций.

Ключевые слова: предельная формуемость, низкоуглеродистая сталь, вытяжка-формовка в коническую матрицу, импульсное и квазистатическое нагружение, компьютерное моделирование, конечно-элементный комплекс $LS-DYNA$, благоприятное распределение главных деформаций.

В автомобилестроении дизайнеры и конструкторы создают форму автомобиля, а технологи должны обеспечить изготовление этой формы из тонколистового металла, чаще всего штамповкой [1]. Качество изготовления кузовных деталей определяет внешний вид автомобиля. Поэтому одной из проблем современной автомобилестроительной промышленности является увеличение штампуемости тонколистовых кузовных материалов.

Под штампуемостью листового проката (предельной формуемостью) понимают способность металлической заготовки пластически деформироваться без нарушения сплошности до некоторых критических деформаций [2]. Перспективной автомобильной сталью для кузовных деталей является сталь марки *IF*. Производство такой экстранизкоуглеродистой стали с содержанием углерода менее 0,002...0,0005% и азота менее 0,002...0,0007% в настоящее время налаживается и в нашей стране [3]. За счет специфической системы легирования добиваются отсутствия эффекта старения при сохранении высокой штампуемости и достаточной прочности. Дополнительное увеличение штампуемости при изготовлении детали можно достичь за счет импульсного нагружения заготовки, например при электрогидроимпульсной штамповке (ЭГИШ) [4]. До сих пор обсуждаются различные механизмы увеличения штампуемости при импульсном нагружении по сравнению с вариантом статического (квазистатического) нагружения: за счет изменения параметров диаграммы предельных деформаций (FLD), особенностей механизма деформирования при импульсном нагружении, а также других факторов. В большинстве работ по исследованию FLD, например [5], отмечается, что при динамическом нагружении диаграмма предельных деформаций лежит ниже по сравнению со случаем статических испытаний.

Целью данной работы было исследование механизма увеличения предельной штампуемости тонколистового металла на примере стали марки *IF* при импульсном нагружении в условиях электрогидроимпульсной штамповки в сравнении со статическим нагружением полиуретаном при вытяжке-формовке в коническую матрицу.

Выбор варианта штамповки в коническую матрицу определен простотой технологической оснастки, а также фактором имитирования штамповки в закрытую матрицу [6, 7]. Компьютерный расчет двух вариантов нагружения заготовки – квазистатического и импульсного с параметрами давления, характерными для ЭГИШ – осуществлялся с использованием универсального конечно-элементного комплекса *LS-DYNA* 971 [8].

Рассматривалась вытяжка-формовка круглой в плане заготовки из стали *IF* толщиной 0,74 мм диаметром 148 мм в коническую матрицу с диаметром заходной части конуса 90 мм и высотой 30 мм с радиусом закругления кромки матрицы 2 мм. Кроме расчетов для матрицы с такими параметрами осуществлялся эксперимент по вытяжке-формовке до момента разрушения на электрогидроимпульсной установке и на гидравлическом прессе в контейнере с полиуретаном, показавший увеличение предельной формуемости при ЭГИШ.

При расчетах материал заготовки считался изотропным, и определялись следующие основные параметры: упругие константы: $E = 200$ ГПа – модуль Юнга, $\nu = 0,3$ – коэффициент Пуассона; параметры степенного закона упрочнения: $B = 554$ МПа, $m = 0,227$; плотность материала $\rho = 7800$ кг/м³. Модель материала бралась: *MAT_POWER_LAW_PLASTICITY*. При этом полагалось, что кривая деформационного упрочнения аппроксимирована степенной зависимостью

$$\sigma_s = k_d \cdot B \cdot \varepsilon_i^m,$$

где σ_s – напряжение текучести материала, ε_i – интенсивность тензора логарифмических деформаций, k_d – коэффициент динамичности, который при квазистатическом нагружении брался равным $k_d = 1$, а при динамическом нагружении $k_d = 1,2$ по аналогии с малоуглеродистым материалом 08КП [8]. Материал матрицы и прижима задавался моделью *RIGID*.

Предполагалось кулоновское трение со значениями коэффициента трения при трении покоя $\mu = 0,2$ и $\mu = 0,15$ при движении. Временной закон импульсного давления задавался модифицированной экспоненциальной зависимостью [9] с длительностью фронта 10 мкс и характеристическим временем 120 мкс. При квазистатическом нагружении давление линейно возрастало до максимального значения при времени 100 мс. Амплитуда давления выбиралась

таким образом, чтобы первая главная деформация немного превысила кривую разрушения FLD при квазистатическом нагружении, а при импульсном нагружении немного не доходила до этой кривой. При таких условиях сравнивался предельный прогиб заготовки при импульсном и динамическом нагружении.

Пример компьютерных расчетов представлен на рисунке 1. Диаграммы предельных деформаций даны в координатах: вторая главная истинная деформация – первая главная истинная деформация. Элементы взяты вдоль образующей заготовки.

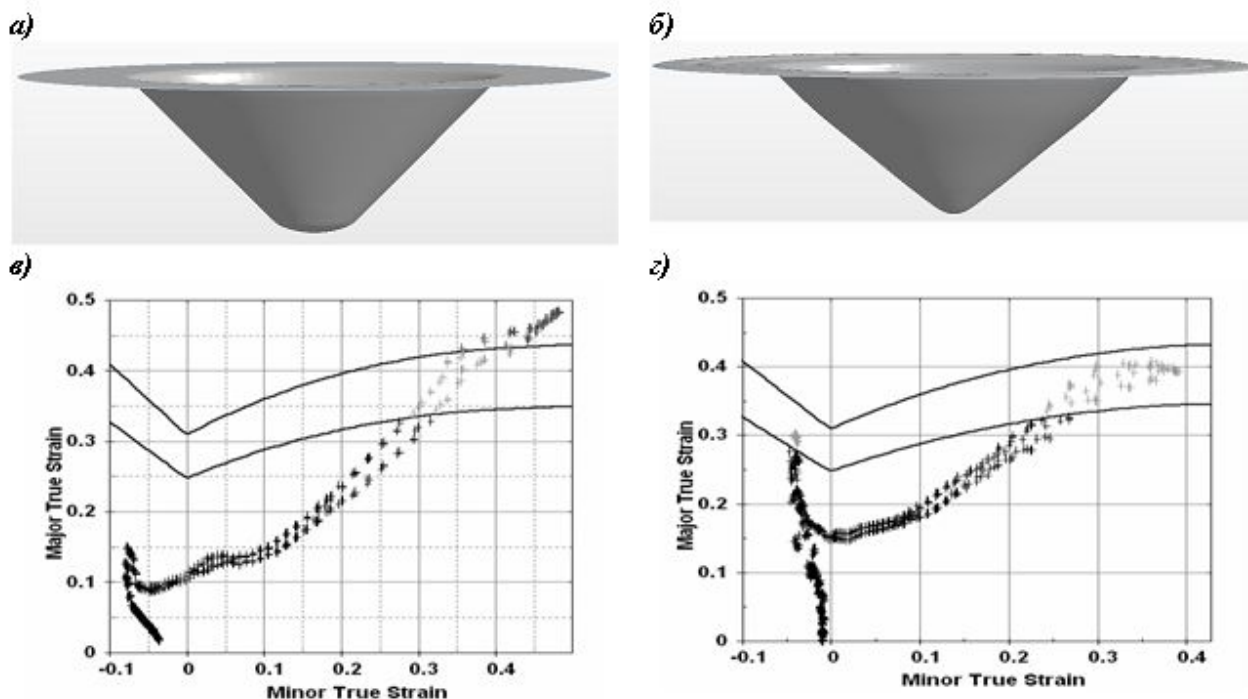


Рис. 1. Параметры деформированной заготовки:

- а) форма заготовки при квазистатическом нагружении в момент после начала нарушения сплошности,
- б) форма заготовки при импульсном нагружении вблизи момента начала нарушения сплошности,
- в) диаграмма предельных деформаций для варианта а,
- г) диаграмма предельных деформаций для варианта б.

Из результатов компьютерного расчета видно, что заполняемость формы конической матрицы для варианта импульсного нагружения (рис. 1, б) выше чем при квазистатическом нагружении (рис. 1, а): меньше радиус и больше прогиб. Это подтверждается и результатами физического эксперимента. Анализируя диаграммы предельных деформаций, можно увидеть их существенное отличие. Это отличие определяется конечной скоростью распространения пластических волн в материале заготовки и при создании благоприятных условий импульсного нагружения позволяет увеличить величину предельного формоизменения заготовки.

Таким образом, при импульсном нагружении, в частности при электрогидроимпульсной штамповке, тонколистовой заготовки в закрытую матрицу может быть достигнута большая величина предельного формоизменения по сравнению с вариантом квазистатического нагружения, как это показано на примере низкоуглеродистой стали *IF*. Данный эффект определяется более благоприятным расположением точек главных деформаций относительно кривой разрушения на FLD, что вызвано волновым характером деформирования заготовки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кудрявцев С.М. Основы проектирования, производства и материалы кузова современного автомобиля / Кудрявцев С.М., Пачурин Г.В., Соловьев Д.В., Власов В.А. Нижний Новгород: изд-во НГТУ, 2010. 236 с.
2. Аверкиев А.Ю. Методы оценки штампуемости листового материала. М.: Машиностроение, 1985. 176 с.
3. Беляковский М.А., Масленников В.А. Автомобильная сталь и тонкий лист. Череповец: «Издательский дом «Принт»», 2006. 636 с.
4. Golovashchenko S., Mamutov V. Electrohydraulic Forming of Automotive Panels // Sixth Global Innovations Symposium: Trends in Materials and Manufacturing Technologies for Transportation Industries / Proc. of TMS. San Francisco, 2005. – P.65-70.
5. Persy J.N. The effect of strain rate on the forming limit diagram for sheet metal. Annals of CIPP, 1980, vol. 29, N1, pp.131-132.
6. Electro-hydraulic forming of sheet metals: Free-forming vs. conical-die forming / Aashish Rohatgi, Elizabeth V. Stephens, Richard W. Davies, Mark T. Smith, Ayoub Soulami, Said Ahzi // Journal of Materials Processing Technology, (212), 2012, pp. 1070-1079.
7. Мамутов В.С., Мамутов А.В. Теория обработки металлов давлением. Компьютерное моделирование процессов листовой штамповки. Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2006. 189 с.
8. Hallquist J.O. LS-DYNA theoretical manual. Livermore Software Technology Corporation: Livermore, CA, 2006, 498 p.
9. Мамутов А.В., Мамутов В.С. Расчеты процессов штамповки подвижными средами при помощи комплекса LS-DYNA // Научно-технические ведомости СПбГПУ – сер. Наука и образование. 2012. №2 – 1 – (147) С. 127-131

Сведения об авторах

Арсентьева Ксения Сергеевна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: аспирантка

Электронная почта: fartran@li.ru

Мамутов Вячеслав Сабайдинович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., проф.

Должность: профессор

Электронная почта: vmamutov@mail.ru

УДК 621.762

И.Ю. Кононов, Л.Р. Гимранова, П.А. Кузнецов

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОМБИНИРОВАННОГО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ СТУПЕНЧАТЫХ ПОЛОСТЕЙ В СПЕЧЕННЫХ ЗАГОТОВКАХ

Аннотация. Представлены результаты компьютерного моделирования процесса комбинированного последовательного выдавливания ступенчатых полостей в спеченных заготовках с использованием программы QForm-3D. Показана эффективность последовательного выдавливания промежуточной полости и окончательного выдавливания

готовой полости изделия по сравнению с однократным выдавливанием такой же полости ступенчатым пуансоном. Более равномерное распределение плотности в готовом спеченном изделии обеспечивает его высокие прочностные и эксплуатационные свойства.

Ключевые слова: комбинированное выдавливание, компьютерное моделирование, ступенчатые полости, спеченные изделия.

Целью работы является исследование возможности комбинированного последовательного выдавливания ступенчатых полостей в спеченных заготовках путём компьютерного моделирования с использованием программы QForm-3D.

Формообразование полостей пресс-форм и штампов выдавливанием является высокоэффективным перспективным процессом, что убедительно показано во многих работах [1, 2]. Предельные технологические возможности процессов выдавливания полостей определяются, в основном, предельной пластичностью материала заготовки. Предельную пластичность материала заготовки при образовании полостей выдавливанием принято оценивать предельной величиной относительной глубины полости, т.е. отношением глубины полости к её диаметру (для случая цилиндрической полости). Для большинства компактных материалов относительная глубина полости лежит в пределах единицы. Для спеченных пористых материалов аналогичного химического состава эта величина естественно несколько меньше [3]. Представляет значительный интерес разработка комбинированной технологии последовательного выдавливания полостей сложной формы, при которой на предварительном этапе происходит выдавливание промежуточной полости, форма которой обеспечивает при дальнейшем окончательном выдавливании получение окончательной полости с более высокой предельной относительной глубиной и равномерным распределением плотности.

Для решения поставленной задачи использовалась отечественная программа QForm 3D [4], в которой возможно моделирование процессов обработки давлением спеченных материалов, то есть таких материалов, которые имеют относительную плотность не меньше 0.7. При этом необходимы следующие технологические данные:

- 1) Геометрические контуры заготовки и инструментов (могут быть импортированы из CAD или созданы встроенным графическим редактором);
- 2) Свойства материала (использовалась Сталь sh15c);
- 3) Параметры оборудования;
- 4) Характеристики смазки;
- 5) Основные технологические параметры процесса.

На рисунках представлены результаты компьютерного анализа: распределения плотности (рис. 1) и средних напряжений (рис. 2) в материале заготовок при однократном выдавливании полости ступенчатым пуансоном.

Анализ распределения плотности в заготовке, полученной однократным выдавливанием ступенчатым пуансоном, показывает, что распределение плотности весьма неравномерно. При образовании полости глубиной 10 мм наблюдается значительное увеличение плотности под торцом ступени меньшего диаметра до 0,94-0,96. В то же время плотность под торцом ступени большего диаметра составляет порядка 0,90-0,92. Такая неравноплотность приводит к различным механическим свойствам по объёму изделия. Зона перехода в полости от большей ступени к меньшей является наиболее нагруженной, поэтому уменьшение плотности в этой зоне может привести к значительному уменьшению износостойкости будущей пресс-формы. Указанная неравноплотность вызвана сложной геометрией пуансона и, следовательно, различным перемещением уплотняемого материала заготовки. Аналогичные результаты были получены в работе [5] при использовании более ранней версии программы.

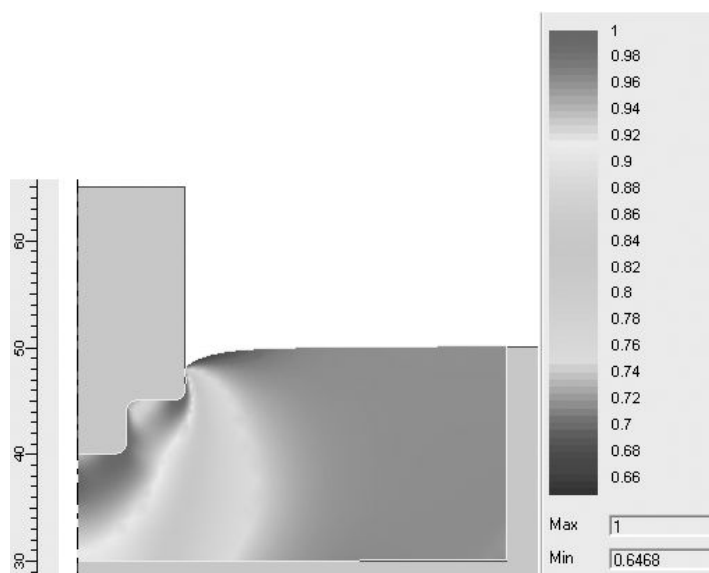


Рис.1. Распределение плотности в спеченной заготовке после однократного выдавливания полости ступенчатым пуансоном (глубина выдавливания - 10мм).

Анализ распределения средних напряжений по сечению выдавливаемой полости подтверждает предыдущие выводы и показывает, что в указанных зонах уровень напряжений близок к критическим, в частности, в поверхностной зоне заготовки возникает значительная «утяжка» материала.

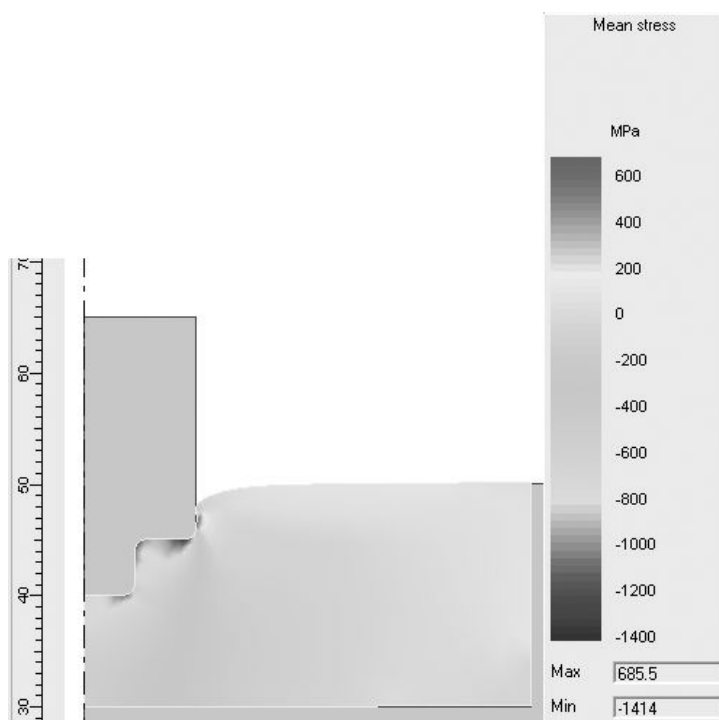


Рис. 2. Распределение средних напряжений в спеченной заготовке после однократного выдавливания полости ступенчатым пуансоном (глубина выдавливания - 10 мм).

Применение комбинированного последовательного выдавливания, т.е. выдавливания предварительной полости и последующего выдавливания окончательной позволяет получать

в спеченной заготовке полости сложной формы с более благоприятным равномерным распределением плотности. Наиболее благоприятное распределение плотности в предварительной полости показало выдавливание пуансоном «оживальной» формы. Пример распределения плотности показан на рис. 3. «Утяжка» материала в поверхностной зоне минимальна, распределение плотности благоприятно для дальнейшего уплотнения материала.

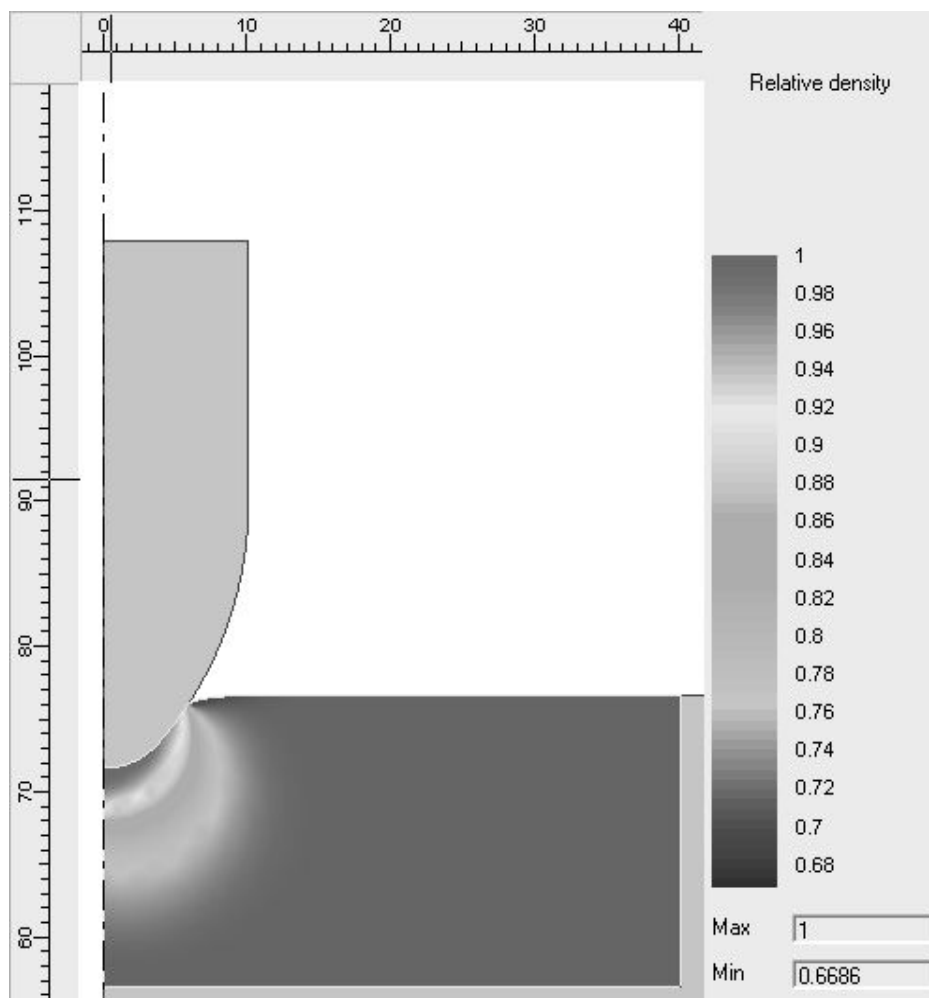


Рис. 3. Распределение плотности в спечённой заготовке при предварительном выдавливании полости пуансоном «оживальной» формы, (глубина предварительного выдавливания - 6мм).

На рис. 4 представлено распределение плотности, полученное при последующем окончательном выдавливании ступенчатым пунсоном заданной формы. Можно отметить, что материал заготовки уплотнён до более высоких значений порядка 0,96-0,98, разноплотность не превышает 2-3%, в районе «утяжки» растягивающие напряжения не достигают критических значений.

Таким образом, в работе показана эффективность процесса комбинированного последовательного выдавливания полостей сложной формы в спечённых порошковых заготовках и возможность его исследования путём компьютерного моделирования с использованием программы QForm-3D.

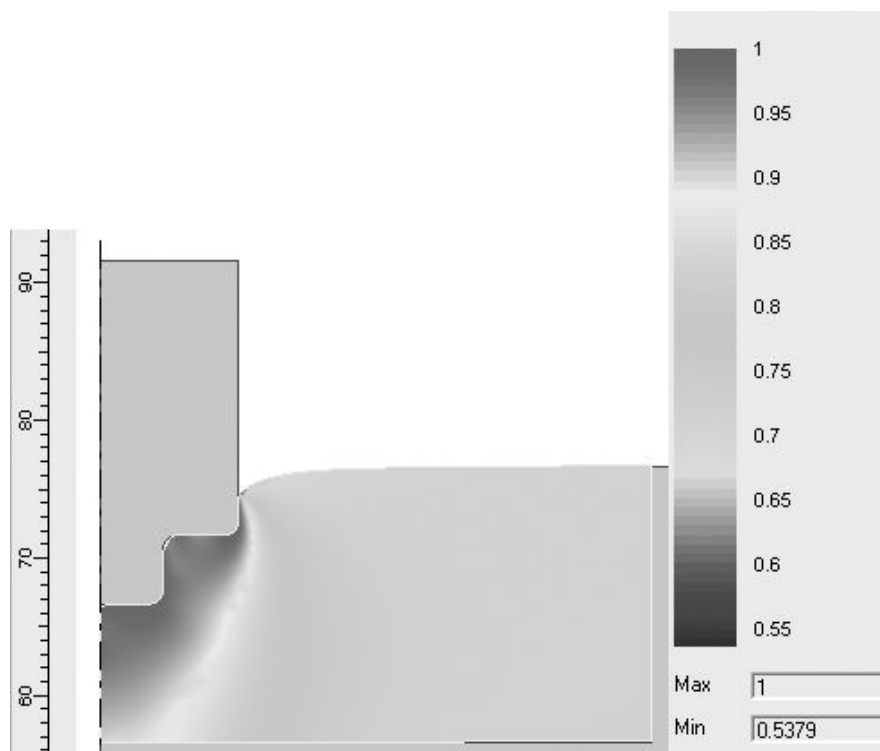


Рис. 4. Распределение плотности в спечённой заготовке после комбинированного выдавливания (глубина окончательного выдавливания - 10мм)

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лясников А.В. Образование полостей пресс-форм и штампов выдавливанием. – Внешторгиздат, Санкт-Петербургское отделение, 1993 – 312 с.: ил.
2. Кузнецов Д.П. Технология формообразования выдавливанием полостей деталей пресс-форм и штампов/ Д.П. Кузнецов, А.В. Лясников, В.А. Кудрявцев. – СПб.: Политехника, 1995.– 184 с.: ил.
3. Горохов В.М., Дорошкевич Е.А., Ефимов А.М., и др. Объёмная штамповка порошковых материалов. – Мн.: Навука и тэхніка, 1993 – 272с.
4. Руководство пользователя Qformv5.0 – ООО «КванторФорм», 2010. – 267с.
5. Порсин М.М., Кузнецов П.А. Оптимизация процессов выдавливания полостей сложной формы в спеченных заготовках путём компьютерного моделирования с использованием программы Qform 3D. Материалы всероссийской межвузовской научной конференции студентов и аспирантов, 38 НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбГПУ, СПб издательство Политехнического университета – 2008,с.79 – 81.

Сведения об авторах

Кононов Иван Юрьевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: konn4@yandex.ru

Гимранова Лия Рустамовна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: 79110858463@yandex.ru

Кузнецов Павел Алексеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент.
Должность: профессор
Электронная почта: pa-kuznetsov@yandex.ru

УДК 621.762

И.Ю. Кононов, Л.Б. Аксенов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЁМНОЙ ШТАМПОВКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ 3D – ПРИНТЕРА

Аннотация. Представлены результаты физического моделирования процесса горячей объёмной штамповки с использованием моделей штамповой оснастки. Оснастка изготовлена на 3D-принтере методом послойного поверхностного наплавления. Показана возможность применения данного способа для оценки параметров штамповой оснастки и получаемой заготовки.

Ключевые слова: 3D– печать, горячая объёмная штамповка, физическое моделирование.

Целью работы является исследование возможности применения 3D-принтеров для совершенствования процессов проектирования процессов горячей объёмной штамповки.

Роль 3D принтеров в совершенствовании технологических процессов штамповки является значимой и перспективной частью процессов проектирования процессов штамповки [1]. Технологии 3D-печати являются высокоэффективными, высокоскоростными и экономически выгодными.

Будущее 3D-принтеров в совершенствовании процессов горячей объёмной штамповки видится в возможности применения данной технологии для изготовления штамповой оснастки [2, 3], и прежде всего формообразующих штамповых вставок. При дальнейшем совершенствовании технологии будет возможно изготовление и деталей штамповых блоков.

Применение 3D-печати для совершенствования проектирования процессов горячей объёмной штамповки может быть успешно осуществлено уже на данном этапе развития технологии. Так, возможно получать физические модели штамповых вставок из пластика и применять их для физического моделирования процессов с целью определения формоизменения металла при штамповке, а также для проверки адекватности методов компьютерного моделирования.

Для этих целей одним из авторов работы (И.Ю. Кононовым) на основе информации из открытых источников [4, 5], был разработан и собран специализированный 3D-принтер (рис. 1) который относится к FDM (моделирование методом послойного наплавления) принтерам. Особенности этого принтера являются:

- Печать пластиком (акрилонитрилбутадиенстироли или полилактид).
- Минимальное разрешение печати по вертикальной оси Z - 0,2 мм.
- Минимальное разрешение печати по осям X и Y зависит от диаметра сопла экструдера и составляет 0.4мм.

Режимы печати предполагают задание следующих параметров:

- Математическая модель в формате STL.
- Толщина слоя, в данном случае 0.2мм.
- Заполнение (от 0 до 100%), в данном случае 50%.

- Скорости печати мм/с, в данном случае 30мм/с
- Температура экструдера, в данном случае 245 °С
- Температура подогревающего стола, в данном случае 110 °С



Рис. 1. 3D-принтер для изготовления моделей штамповой оснастки

В работе проведено физическое моделирование процесса горячей штамповки детали типа шкив. Модели формообразующего инструмента (рис. 2) были изготовлены из материала акрилонитрилбутадиенстирол при приведенных выше параметрах. Модель заготовки изготовлена из пластилина, который более 100 лет успешно используется при моделировании течения металла в процессах процессов обработки металлов давлением [6]. Исследуемый технологический процесс включает получение поковки из цилиндрической заготовки за две операции: осадки и окончательной штамповки. Моделирование процесса проведено с коэффициентом геометрического подобия равным 0.375.



Рис.2. Модели формообразующих элементов штамповой оснастки, изготовленные на 3-D принтере

Результаты физического моделирования приведены на рис. 3.

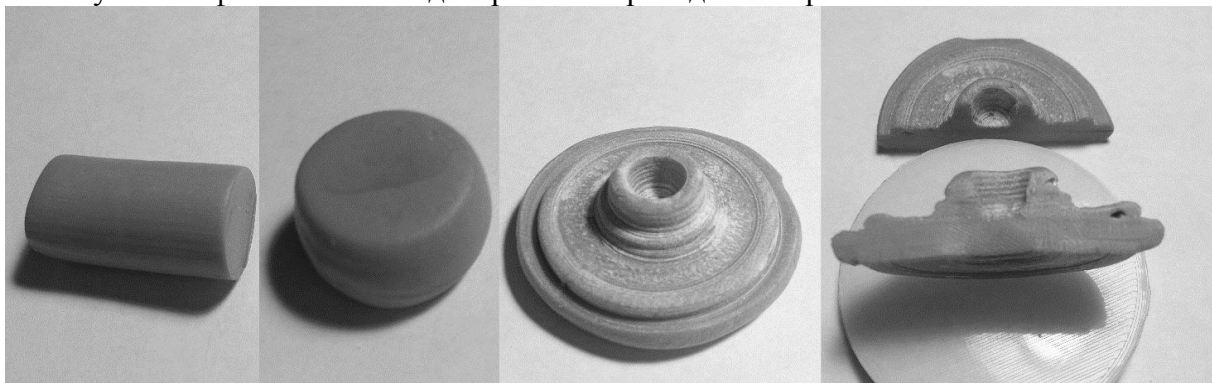


Рис.3. Физическое моделирование процесса горячей штамповки с использованием оснастки, изготовленной на 3D принтере.

Слева – направо: исходная цилиндрическая заготовка, осаженная заготовка, окончательная форма модели поковки, вид модели поковки в разрезе.

Проведенное физическое моделирование с использованием технологической оснастки изготовленной с применением 3D- принтера позволило оценить особенности течения металла при штамповке исследуемой поковки, полноту формообразовании поковки и правильность выбора объема заготовки. При этом стоимость и время проведения физического моделирования многократно сократились по сравнению с использованием оснастки изготовленной традиционными способами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. P.C. Collins, C.V. Haden, I. Ghamarian, B.J. Hayes, T. Ales, G. Penso, V. Dixit, G. Harlow. Progress Toward an Integration of Process–Structure– Property–Performance Models for “Three-Dimensional (3-D) Printing” of Titanium Alloys, JOM, Vol. 66, No. 7, 2014, pp. 1299-1309
2. Интернет ресурс: <http://www.redeyeondemand.com/redeye-technology-insights/fdm-sheet-metal-forming/>(дата обращения 22.10.2014)
3. В.А. Бабенко, В.В. Бойцов, Ю.П. Волик. Объемная штамповка. Атлас схем и типовых конструкций штампов: Уч. Пособие для машиностроительных вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение 1982. – 106с., ил.
4. Интернет ресурс: <http://reprap.org/>(дата обращения 02.02.2014)
5. Интернет ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-принтер>(дата обращения 02.11.2014)
6. Harold F. Massey, B. Sc. The flow of metal during forging. B. & S. Massey Ltd., 1921, 66 p.

Сведения об авторах

Кононов Иван Юрьевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: konn4@yandex.ru

Аксёнов Леонид Борисович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., профессор

Должность: профессор

Электронная почта: l_axenov@mail.spbstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ В УСЛОВИЯХ ОАО “ЗАВОД “КРАСНЫЙ ВЫБОРЖЕЦ”

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния различных факторов технологического процесса производства профилей из цветных металлов на качество продукции в промышленных условиях. Установлено существенное влияние температуры нагрева контейнера на величину дефектов в готовой продукции. Даны конкретные рекомендации по условиям прессования профилей из некоторых марок латуни и меди.

Ключевые слова: прессование, профиль, цветные металлы, пресс-утяжина, температура, контейнер.

В номенклатуре полуфабрикатов, изготавливаемых из цветных металлов, значительную долю составляют простые и фасонные профили и трубы. Основным методом их производства является прессование из литой заготовки. Схема процесса прессования показана на рисунке 1. Он заключается в продавливании предварительно нагретого слитка 1, помещенного в контейнер 2, со сменной втулкой 6, через матрицу 3, закрепленную в матрицедержателе 4. Пуансон 5 передает усилие от пресса на заготовку через сменную пресс-шайбу 7.

Прессование осуществляется на специализированных гидравлических прессах горизонтального исполнения, оборудованных дополнительными механизмами для выполнения всего комплекса вспомогательных операций процесса.

Одним из старейших предприятий нашей страны, остающимся и в настоящее время в числе лидеров по производству профилей и проката из цветных металлов и сплавов является ОАО “Завод “Красный Выборжец”.

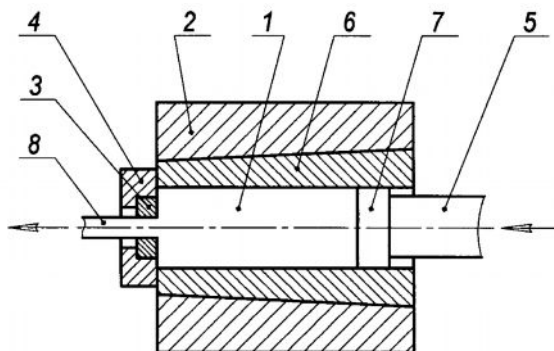


Рис. 1. Схема процесса прессования: 1 - заготовка; 2 - контейнер; 3 - матрица; 4 - матрицедержатель; 5 - пуансон; 6 - втулка контейнера; 7 - пресс-шайба; 8 - пресс-изделие

На предприятии разработаны и реализуются технологические процессы производства профилей и труб в широком диапазоне форм и размеров из меди и сплавов на ее основе. В качестве исходных заготовок используются слитки собственного производства, отлитые полунепрерывным методом. Процесс изготовления прессованных и тянутых изделий полностью контролируется службой качества.

Свойства готового продукта, их стабильность в пределах всей партии зависят от строгого соблюдения требований технологического процесса, возможности поддержания многочисленных параметров на всех операциях в жестких пределах, определяемых особенностями, каждого конкретного сплава.

Еще четверть века тому назад, когда экономика, была полностью плановой, загрузка практически любого цеха была 100%. Составлялась годовая экономическая программа, многие металлургические предприятия работали в три смены. Оборудование постоянно находилось в работе и своевременно обслуживалось

Сейчас, для того чтобы предприятие было обеспечено заказами необходимо выполнение следующих основных требований:

1. Конкурентоспособная стоимость выпускаемой продукции требуемого качества.
2. Возможность изготовления изделий небольшими партиями.
3. Сжатые сроки выполнения заказа.

В противном случае, из-за конкуренции юго-восточных стран, такое предприятие становится нежизнеспособным, если оно остается без поддержки государства.

Одним из путей снижения стоимости продукции является использование шихтовых материалов невысокого качества. Это создает иллюзию экономической выгоды, но может сказаться на качестве выпускаемой продукции и в конечном итоге на репутации предприятия [4].

ОАО “Завод “Красный Выборжец”, выполняющий заказы различных предприятий оборонного комплекса, гарантирует высокое качество своей продукции, используя только высококачественное сырье.

В тоже время при частых переходах от выпуска одного вида продукции к другому и малости объемов единичных партий, возможно возникновение дефектов, вызванных отклонением технологических параметров от оптимальных значений на различных стадиях процесса производства.

Одним из наиболее часто встречающихся дефектов в прессованных профилях, является полость, образуемая вдоль продольной оси прутка. Этот вид дефекта наблюдается только у той части прутка, которая формируется из части слитка, располагающейся ближе к пресс-шайбе.

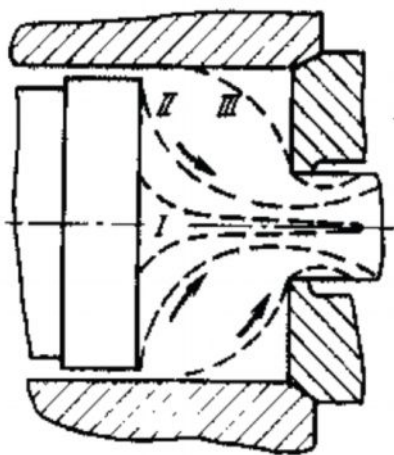


Рис. 2. Схема течения металла при прессовании и образования пресс-утяжины

Появление полости в прутке связано с образованием в слитке пресс-утяжины – воронкообразной полости, обращенной широкой частью к пресс-шайбе. Возникновение пресс-утяжины обусловлено неравномерным характером течения различных объемов металла слитка в контейнере, особенно в конце прессования.

Схема образования пресс-утяжины показана на рисунке 2 [5, 1]. Попадание пресс-утяжины вместе с прилегающими объемами металла в отверстие матрицы и приводит к возникновению продольной несплошности в прутке.

Поэтому прессование ведут таким образом, чтобы пресс-утяжина не выходила за пределы пресс-остатка, длина которого и определяется размером пресс-утяжины в направлении оси прессования.

Нестабильность размеров пресс-утяжины вынуждает вести прессование с увеличенным пресс-остатком. Увеличение его размеров влечет за собой уменьшение выхода годной продукции из слитка.

На рис.3. показано поперечное сечение дефектной части прутка из латуни ЛС-59-1 с пресс-утяжиной.

Размеры пресс-утяжины зависят:

- от природы сплава, определяемой его химическим составом,
- наличия литейных дефектов,
- однородности свойств материала по объему слитка,
- температурно-временных режимов нагрева слитков перед прессованием,
- относительных и абсолютных размеров прессуемых заготовок,
- соотношения размеров заготовки и отверстия матрицы,
- формы матрицы,
- температурно-скоростных режимов прессования и др.

Для выявления характера влияния различных технологических факторов на величину пресс-утяжины в условиях современного производства на ОАО “Завод “Красный Выборжец” с целью ее минимизации были проведены исследования по прессованию прутков круглого сечения из латуни ЛС-59-1.

Были отлиты слитки диаметром 175 мм, длиной 3 м. Технология изготовления слитков, осуществлялась по технологическим инструкциям ОАО “Завод “Красный Выборжец”.

Химический состав слитков полностью соответствовал ГОСТ 15527-2004, (табл. 1.).

Однородность свойств материала слитка оценивалась по распределению твердости по поперечному сечению слитка. Шаг измерения составил 10 мм. Твердость определялась по методу Бринеля 10/3000/30.

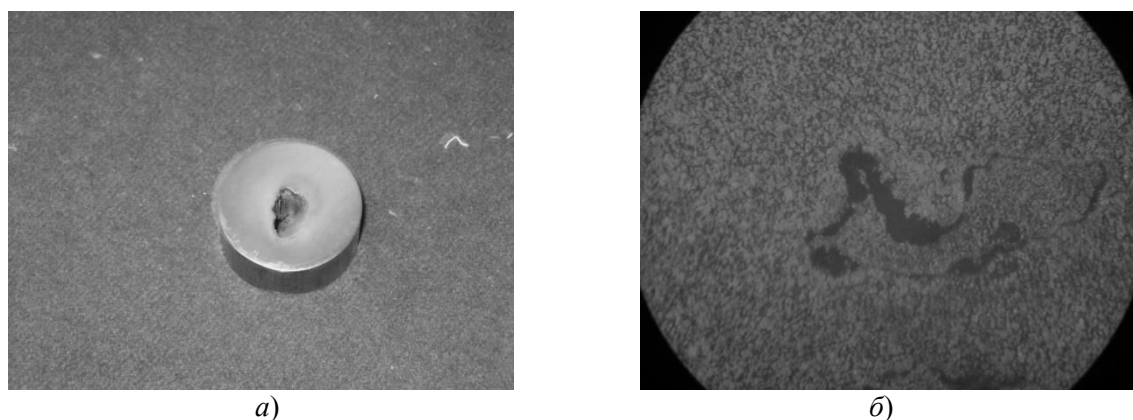


Рис. 3. Пресс-утяжина в прутке из латуни ЛС-59-1; диаметр прутка 30 мм.
а) образец б) микроструктура образца

Табл. 1. Сравнительный химический состав материала слитка из латуни ЛС-59-1

	Cu	Pb	Fe	Zn	Bi	Sn	Примесей	Si + Sn
Слиток	58,3	1,05	0,26	39,4	-	0,07	< 0.75	< 0.5
ГОСТ	57 - 60	0.8 - 1.9	до 0,5	37.05 - 42.2	до 0.003	до 0.3	0.75	< 0.5

Различие в значениях твердости в разных местах не превышает $\pm 1,5\%$, что свидетельствует об однородности структуры слитка.

Нагрев слитков перед прессованием осуществлялся в газовой печи. Температура и время нагрева устанавливались согласно технологии ОАО “Завод “Красный Выборжец” и строго выдерживались.

Таким образом, проведенные исследования показали высокое качество литых заготовок и стабильность режимов на операциях предшествующих прессованию. Следовательно, влияние этих факторов на нестабильность размера пресс-утяжины может быть исключено.

Для определения характера влияния условий прессования на величину пресс-утяжины в прутках из материала ЛС-59-1, была отпрессована партия прутков диаметром 30 мм, из заготовок диаметром 175 мм и длиной 450 мм, при постоянной скорости прессования.

Замеры длины дефектной части прутков показали, что у прутков, отпрессованных из первых заготовок длина пресс-утяжины на 30-40% больше, чем у прутков отпрессованных из последних.

Единственное отличие в условиях прессования заключалось в повышении температуры стенок контейнера с каждым последующим прессованием и, следовательно, в уменьшении захлаживания наружных слоев металла заготовки, контактирующих со стенками контейнера. По всей вероятности неравномерность механических свойств материала заготовки в контейнере, обусловленная неравномерностью температурного поля, является одной из причин приводящих к увеличению степени турбулентности течения металла в процессе прессования.

Равномерность распределения температуры по сечению слитка особенно важна для металлов и сплавов, у которых имеет место значительное изменение прочностных характеристик при высоких температурах, близких к температуре прессования.

В частности, для латуни ЛС-59-1, для которой рекомендованная температура нагрева слитка перед прессованием равна 760 – 780 °С [2, 3] наблюдается резкое возрастание прочности при охлаждении до температуры ниже 550 °С, а в диапазоне температур от 550 °С до 900 °С она остается на одном уровне.

Следовательно, для обеспечения равномерного характера течения металла при прессовании необходимо, чтобы температура слитка из ЛС-59-1 на поверхности контакта со стенками контейнера не опускалась ниже 550 °С.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что прессование латуни ЛС-59-1 и сплавов с аналогичным характером изменения свойств, должно осуществляться в предварительно нагретом, ”горячем”, контейнере.

Косвенным подтверждением важности этого фактора, является тот факт, что при прессовании прутков как в ”холодном”, так и в ”горячем” контейнере, из металлов таких, как медь М1, характеризующихся плавным изменением прочности в широком диапазоне температур, течение металла носит ламинарный характер и размеры пресс-утяжины минимальны.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Беляев С.В., Довженко И.В. Технология прессования. Красноярск:СБУ, 2007.
2. Смирягин А.П. Промышленные цветные металлы и сплавы. М.:Металлургия, 1956.
3. Баричко Б.В. Технология процессов прессования. Челябинск:ЮУрГУ, 2011
4. Пугачева Н.Б., Овчинников А.С., Лебедь А.В. Анализ дефектов промышленных заготовок из легированных латуней. ОАО «Ревдинский завод по обработке цветных металлов», 2012.
5. Жолобов В.В. Прессование металлов. М.:Металлургия, 1971.

Сведения об авторах

Мартынов Константин Викторович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доц.
Должность: доцент
Электронная почта: martunov@inbox.ru

Кедо Дмитрий Леонидович
ОАО “Завод “Красный Выборжец”
Рабочий адрес: 195009, Санкт-Петербург, Свердловская набережная, 12
Должность: начальник технического управления
Электронная почта: kedodl@mail.ru

Гоциридзе Алексей Вахтангович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доц.
Должность: доцент
Электронная почта: martunov@inbox.ru

УДК 539.261

В.Н. Востров, П.В. Кононов, Сунь Да

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСКАТКИ ФЛАНЦЕВ

Аннотация. С использованием конечно–элементных пакетов программ *ANSYS* в качестве постпроцессора и *LS-DYNA* как решателя моделируется напряженное состояние: заготовки в процессе раскатки фланцев на трубчатых заготовках по разработанной технологии. Разработанная технология раскатки фланцев расширяет технологические возможности процессов объемного формообразования фланцев. Математическая постановка задачи упругопластического течения базируется на принципе виртуальной работы. Задача решена с применением восьми узловых конечных элементов. Достоверность моделирования подтверждается экспериментальными данными.

Ключевые слова: раскатка фланцев, напряженное состояние, моделирование, программа *ANSYS*.

Детали с фланцами, значительно удаленными от торца, находят широкое применение в машиностроении. Разработанная технология раскатки фланцев на трубчатых заготовках [1, 2] расширяет технологические возможности процессов объемного формообразования фланцев: поперечно–клиновой прокаткой, выдавливанием и др. Поскольку, позволяет формировать детали с фланцами значительно удаленными от торца при соотношении наружного диаметра фланца D_{ϕ} к наружному диаметру втулочной части детали D_B

$$\frac{D_{\phi}}{D_B} \geq 1,3$$

на заготовках из материалов с относительным удлинением $\delta < \tilde{\delta}$.

Целью данной работы является моделирование напряженного состояния заготовки в процессе раскатки фланца, для оценки эффективности использования конечно–элементных

пакетов программ *ANSYS* в качестве постпроцессора и *LS-DYNA* как решателя при решении задач ротационного формообразования.

В соответствии с предлагаемой технологией (рис. 1) [1], на первом этапе раскатки заготовки деформирующий валок 1 устанавливают под углом β к оси приводной матрицы 2. Исходную трубчатую заготовку 3 одевают на стержневую часть выталкивателя 4 и устанавливают в приводной матрице 2. Опора выталкивателя 5 подводится к выталкивателю 4 и вводится с ним в контакт для повышения жесткости системы заготовка-инструмент. В процессе раскатки деформирующим валком 1, выставленный участок трубчатой заготовки 3 приобретает форму усеченного конуса. На заключительном этапе (рис. 1) участок трубчатой заготовки 3 в форме усеченного конуса раскатывают вторым деформирующим валком 6, установленным под углом α к оси приводной матрицы 2 и формируют фланец. В результате получают деталь требуемой формы. На рис. 1 обозначено: h_{Φ} – высота фланца, l_{Φ} – длина ступицы, $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр детали, $D_{\text{в}}$ – наружный диаметр втулочной части детали, D_{Φ} – наружный диаметр фланца.

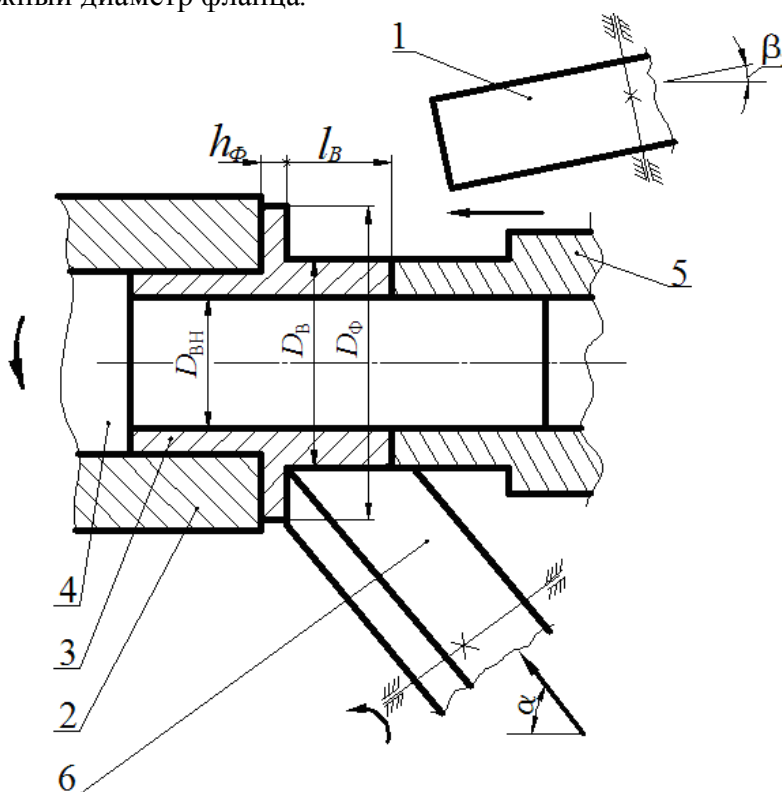


Рис. 1. Деформирование заготовки на заключительном этапе формирования фланца

Математическая постановка задачи упругопластического течения базируется на принципе виртуальной работы [3, 4].

В произвольный момент времени справедливо равенство работ внешних и внутренних сил:

$$V \sigma_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij} = (\rho + q) \dot{V},$$

где V – объем тела; σ_{ij} – напряжение, представляющее собой сумму девиаторной ψ_{ij} и шаровой $(\rho + q)\delta_{ij}$ частей тензора напряжений: $\dot{\rho} = -\frac{1}{3}\dot{\sigma}_{kk} - q$; q – вязкость; δ_{ij} – символ Кронекера.

Для решения задачи выбран программный комплекс *ANSYS LS-DYNA*, основанный на методе конечных элементов. Задача решена с применением восьми узловых конечных элементов. Программный комплекс *ANSYS* использовался в качестве постпроцессора, а *LS-DYNA* как решатель [5, 6]. Достоверность моделирования подтверждается экспериментальными данными.

Результаты расчета напряжений, на заключительном этапе формирования фланца, приведены на рис. 2.

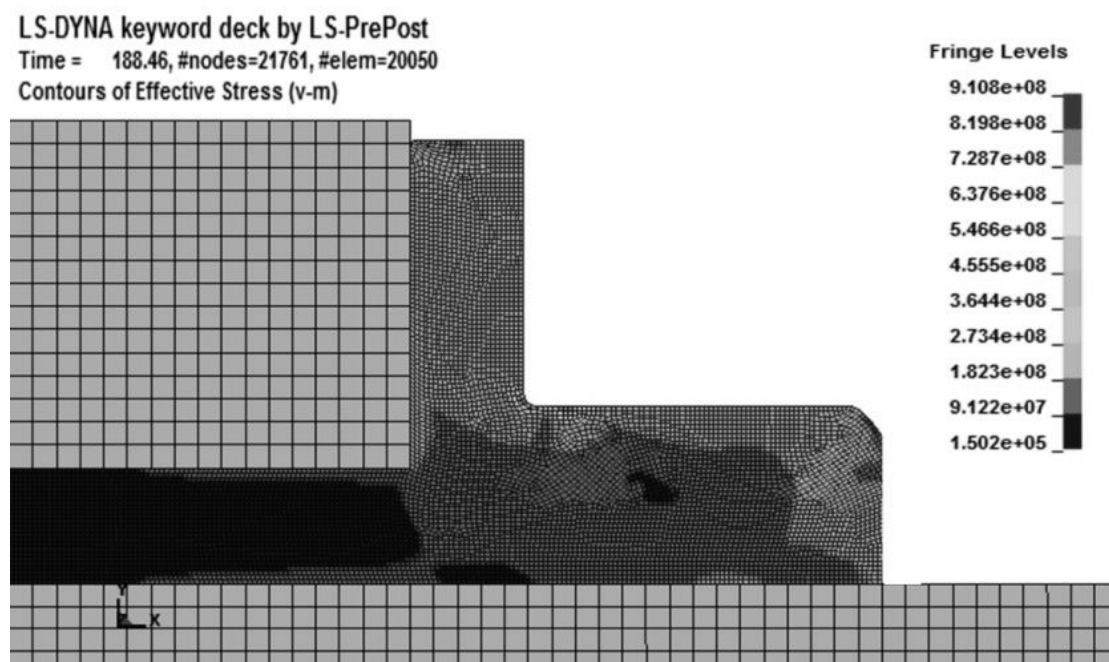


Рис. 2. Распределение интенсивности напряжений в детали на заключительном этапе формирования фланца

Выводы:

1. На основании компьютерного моделирования процесса раскатки фланцев и выполненных параметрических расчетов получена необходимая информация о напряженном состоянии заготовок.

2. Показана эффективность использования конечно–элементных пакетов программ *ANSYS* в качестве постпроцессора и *LS-DYNA* как решателя при решении задач ротационного формообразования.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-31655 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Патент на способ *RUS 2499648*. Способ раскатки фланцев на трубчатых заготовках / В.Н. Востров, П.В. Кононов. 2013.

2. Патент на полезную модель RUS 116079. Устройство для раскатки фланцев на трубных заготовках / Востров В.Н, Кононов П.А. 2012.
3. Hallquist, John O. LS-DINA. Theoretical Manual [Текст] / John O. Hallquist //Livermore Software Technology Corporation. 1998. – 498 p.
4. Han, Xinghui. 3D FE modeling of contact pressure response in cold rotary forging [Текст] / Xinghui Han, Lin Hua // Tribology International. V. 57. 2013. – P. 115–123.
5. ANSYS Theory Reference [Текст] / ANSYS inc., Canonsburg, PA. USA // Eleventh edition. ANSYS Release 10.0. 2005. – 1286 p..
6. Боровков, А.И. Возможности системы конечно–элементного моделирования ANSYS/LS–DINA [Текст] / А.И. Боровков / Сб. «Первая международная конференция пользователей программного обеспечения ANSYS» // М.: EMT–ANSYS–центр. 2003. – С. 128–136.

Сведения об авторах

Востров Владимир Николаевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт–Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: vostrov-vn@mail.ru

Кононов Павел Васильевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт–Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: аспирант
Электронная почта: KPV710@Rambler.ru

Сунь Да
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт–Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: не имеет

УДК 539.261

П.В. Кононов, А.В. Кудымец

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ РАСКАТКИ ФЛАНЦЕВ

Аннотация. С использованием конечно–элементных пакетов программ комплекса *Deform 3D*. моделируется кинематика течения металла в процессе раскатки фланцев на трубчатых заготовках по разработанной технологии. Разработанная технология раскатки фланцев расширяет технологические возможности процессов объемного формообразования фланцев. Математическая постановка задачи упругопластического течения базируется на принципе виртуальной работы. Достоверность моделирования подтверждается экспериментальными данными. Установлено, что для получения фланцев требуемого качества, необходимо осуществить инструментом подпор со стороны цилиндрической поверхности фланца.

Ключевые слова: раскатка фланцев, кинематика течения металла, моделирование, программный комплекс *Deform 3D*.

Детали с фланцами, значительно удаленными от торца, находят широкое применение в машиностроении. Разработанная технология раскатки фланцев на трубчатых заготовках [1, 2] расширяет технологические возможности процессов объемного формообразования фланцев: поперечно–клиновой прокаткой, выдавливанием, торцевой раскаткой и др.

Целью настоящей работы является анализ кинематики течения металла в процессе раскатки фланца на заготовке и разработка рекомендаций по формированию деталей требуемого качества.

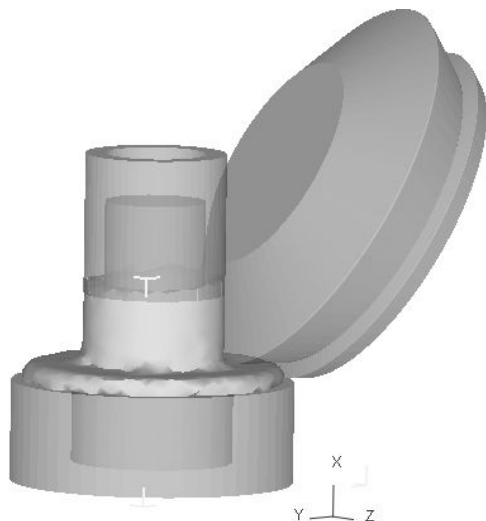


Рис. 1. Деформирование заготовки на заключительном этапе формирования фланца

В соответствии с предлагаемой технологией, на первом этапе раскатки деформированная часть выставленного участка трубчатой заготовки приобретает форму усеченного конуса. Раскатка заготовки выполняется первым валком, установленным под углом к оси приводной матрицы. На втором этапе раскатки заготовки изменяют угол наклона первого вала и деформируют участок сформированного усеченного конуса. На третьем этапе раскатки заготовки вторым валком (рис. 1) получают деталь требуемой формы

Математическая постановка задачи упругопластического течения базируется на принципе виртуальной работы [3, 4, 5].

Конечно–элементное моделирование процессов раскатки выполнено в программном комплексе *Deform 3D*. Исходная твердотельная геометрия заготовки и инструмента создана в *CAD*–системе и импортирована в комплекс *Deform 3D*. Положение деформирующих валков соответствует трем этапам

процесса раскатки. Достоверность моделирования подтверждается экспериментальными данными.

Кинематика течения металла заготовки в процессе формирования фланца представлена на рис. 2. Благодаря заданным углам наклона валков происходит интенсивное течение металла в радиальном и осевом направлениях. При этом радиальное течение металла обеспечивает получение фланца на срединной части детали, а течение металла в осевом направлении приводит к формированию ее втулочной части. Деталь приобретает необходимую форму.

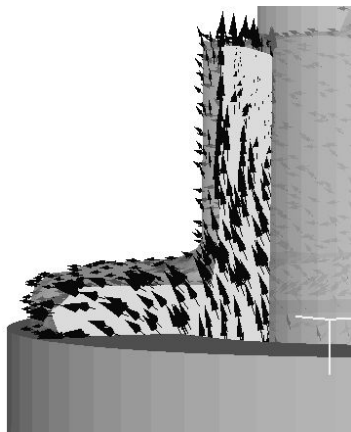


Рис. 2. Кинематика течения металла в заготовке на заключительном этапе формирования фланца

Моделирование кинематики течения металла в процессе раскатки показало, что для получения фланцев требуемого качества, необходимо осуществить инструментом подпор со стороны цилиндрической поверхности фланца, для ограничения течения металла. Это можно выполнить корректировкой формы раскатного вала

Выводы

1. На основании предложенной конечно–элементной математической модели и выполненных параметрических расчетов процесса холодной раскатки деталей с фланцем, получена необходимая информация о кинематике течения металла и даны рекомендации, для совершенствования исследуемого процесса.

2. Показана эффективность использования в *CAD*–системе исходной твердотельной геометрии заготовки и инструмента и импортирования этой системы в комплекс *Deform 3D* при решении задач ротационного формообразования.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-31655 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Патент на способ *RUS 2499648*. Способ раскатки фланцев на трубчатых заготовках / В.Н. Востров, П. В. Кононов. 2013.
2. Патент на полезную модель *RUS 116079*. Устройство для раскатки фланцев на трубных заготовках / Востров В.Н, Кононов П.А. 2012.
3. Рыбин, Ю.И. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением [Текст] / Ю.И. Рыбин //СПб.: Наука, 2004. – 644 с.
4. Han, Xinghui. 3D FE modeling of contact pressure response in cold rotary forging [Текст] / Xinghui Han, Lin Hua // Tribology International. V. 57. 2013. – P. 115–123.
5. Govik, Alexandr. Finite element simulation of the manufacturing process chain of a sheet metal assembly [Текст] / Alexandr Govik, Larsgunnar Nilsson, Ramin Moshfegh // Journal of Materials Processing. Technology. V. 7(212). 2012. – P. 1453–1462.

Сведения об авторах

Кононов Павел Васильевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт–Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: аспирант

Электронная почта: KPV710@Rambler.ru

Кудымец Алексей Витальевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт–Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: не имеет

**РАЗРАБОТКА И АДАПТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОНВЕРТАЦИИ
ДВУХМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ТРЕХМЕРНУЮ СЦЕНУ**

Аннотация. В данной статье аргументирована потребность современного общества в трехмерной визуальной составляющей, кратко изложена технология преобразования двухмерного изображения в псевдо-трехмерную форму на примере проекта «ожившие картины». Проект выполнялся в сотрудничестве с Государственным Русским музеем, результат в виде анимированной панорамы картины И.И. Шишкина демонстрируется в корпусе Кордегардия при Михайловском замке.

Ключевые слова: трехмерная графика, двухмерная графика, восприятие, зрение, изображение, анализ, конвертация, технология, анимация.

Человечество по достоинству оценило вклад информационных программных и аппаратных средств в жизнь социума. Представить современный мир без различного рода технических новинок не представляется возможным. Особое место среди последних занимают инновации в области цифровых изобразительных технологий.

Все большую популярность приобретает 3D-формат. Анализируя последние десятилетия, можно заметить, что человеческое общество стремится поглощать как можно большие объемы информации. В качестве яркого примера можно привести киноиндустрию, область, которая наибольшим образом зависит от темпов развития цифровых изобразительных технологий. Ежегодно появляются все более «современные» и «выразительные» форматы представления видео-информации, например, не так давно сменивший классический 3d-формат, технология IMAX-3D, фильмы с удвоенной частотой кадров и т. п. Очевидно, что основная причина активных исследований в данной сфере обуславливается стремлением усилить впечатление от просмотра кинофильма, «погрузить» зрителя в мир картины. Видеоряд, так или иначе представляет собой набор статичных плоских изображений поочередно сменяющих друг друга, а один из способов улучшить восприятие плоского двухмерного изображения, это сделать его трехмерным.

Важно заметить, что человеческий зрительный аппарат основан на понятии «бинокулярного зрения», согласно которому становится очевидным, что человек видит мир трехмерным, несмотря на то, что изображение предметов на сетчатках глаз двухмерное [1]. Следовательно, тяга к трехмерному восприятию вполне очевидна. Потребность в дополнительном измерении у человека возникает не только во время взаимодействия с медиа-данными, носящими развлекательный характер, но и при обучении, знакомстве с новыми объектами, изначально не имеющими третье измерение (например, картинами, текстом, разнообразной графикой и т.п.) и во многих других ситуациях. Например, конвертацию можно применять в музейной среде для создания стереоскопических инсталляций и, таким образом, привлекать и удерживать в музеях большую аудиторию.

На данный момент существует множество разрозненных технологий конвертации двухмерного изображения в трехмерное, каждая из которых носит узкоспециализированный характер и не всегда применима для решения конкретных задач, но, в общем случае, требует значительных финансовых затрат. В рамках разработки технологии конвертации двухмерного изображения в трехмерную сцену цель настоящей работы - выработать

оптимальный способ конвертации уже имеющегося материала для улучшения восприятия плоских объектов в музейной среде.

В рамках поставленных задач настоящей работы рассмотрены основные механизмы конвертации и различные технологии создания трехмерного изображения на основе плоской картины и в результате выполнена конвертация живописного полотна в трехмерную анимированную сцену.

Исходным объектом стала панорама, созданная из ряда отдельных произведений И.И. Шишкина (рис. 1). Очевидно, что данная панорама – объект статичный и плоский, а современные тенденции и планы руководства музея требуют ее перевоплощения в анимированный псевдо-трехмерный объект.

Первым этапом производится анализ изображения, условное разделение его на планы (передний, средний, задний), разделение на объекты и поиск фрагментов картины, потенциально пригодных для последующего анимирования. В данном случае было решено, что взаимодействие с наиболее четко прорисованными объектами первого плана будет определяться индивидуально. Для этого с оригинальной панорамы вырезаются все подобные объекты (стоги сена, крупные камни и коряги, полотна ручьев, забор и т. п.).



Рис. 1. Фрагмент панорамы, созданной на основе картин И.И. Шишкина

Следующим этапом непосредственно производится фрагментирование. Каждый глобальный объект холста, который в реальности был бы отдельной единицей становится самостоятельным изображением (рис. 2.).



Рис. 2. Деление холста на самостоятельные объекты

Далее, с целью произвести у итогового продукта реалистичную анимацию, полученные во втором этапе изображения разделяются, при необходимости, на подобъекты. Например, у каждого дерева выделяются характерные ветви, пригодные для анимации (при невыполнении данного пункта есть риск получить в результате гротескный результат, где все дерево в целом будет раскачиваться на ветру, а ветви дерева нет).

Когда третий этап закончен можно провести коррекционную работу – убрать с фона основной картины-подложки элементы, которые будут далее анимироваться (этот шаг выполняется для того, чтобы избежать проявления анимированного предмета на заднем плане, под самым анимируемым объектом при его смещении (рис. 3.).



Рис. 3. Коррекционный этап – подложка имеет нейтральный характер, все объекты, которые будут анимироваться удалены с данного слоя

Пятый этап включает в себя выбор программы для трехмерной визуализации, размещение камеры в сцене и поэтапную реконструкцию трехмерного пространства. Здесь требуется подобрать корректные настройки угла зрения, фокуса камеры, формата кадра и т. п. Также необходимо расположить плоские вырезанные изображения внутри сцены таким образом, чтобы расстояния между ними и их положения отображали реальное положение объектов на картине.

После того, как сцена собрана, проводится тестирование на визуальную схожесть плоского оригинала и псевдо-трехмерной сцены. Если на данном этапе различия признаны незначительными, то следующим этапом происходит поиск оптимальных методик для анимации фрагментов. Как правило, таких методик будет несколько.

Заключительный шаг – создание звукового сопровождения (при необходимости) и добавление к видеоролику деталей, полученных в результате дополнительной видеосъемки (полет птиц, дождь, пыль и т. п.).

Вышеописанная технология в данный момент находится на стадии разработки и не может являться универсальным решением, однако она позволяет удешевить производственный процесс и положить начало для развития нового оптимального способа конвертации существующего двухмерного материала в трехмерный для улучшения восприятия плоских объектов в музейной среде.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Энциклопедический словарь [Текст] / Сост. Ф.А. Брокгауз и И.А. Ефрон: В 86 т. — СПб.: «Терра», 1992. — т.19. — 613с.
2. Sandrew B. 2D – 3D Conversion Can Be Better Than Native 3D [Electronic resource]: 3D Focus.co.uk, forum. Режим доступа: <http://www.3dfocus.co.uk/3d-features/2d-3d-conversion-interview-legend-3d-barry-sandrew/1394> — Загл. с экрана. — На англ. яз.
3. Sandrew B. Talking More 2D to 3D Conversion with Barry Sandrew from Legend3D [Electronic resource]: 3D Vision Blog. Режим доступа: <http://3dvision-blog.com/tag/shrek-3d-conversion/> - Загл. с экрана. — На англ. яз.
4. Squires S. 2D to 3D conversions [Electronic resource]: Effects Corner, blog. Режим доступа: <http://effectscorner.blogspot.ru/2011/08/2d-to-3d-conversions.html#.UYz1gLWv9yI>. — Загл. с экрана. — На англ. яз.
5. Lai-Man Po Automatic 2D-to-3D Video Conversion Techniques for 3DTV [Electronic resource] / Department of Electronic Engineering City University of Hong Kong, pdf: Режим доступа:

Сведения об авторах

Автюшенко Алла Леонидовна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: инженер I категории, ассистент
Электронная почта: allakadabralla@mail.ru

Иванов Владимир Михайлович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д. физ.-мат. н., проф.
Должность: проф., зав. кафедрой
Электронная почта: ivm@imop.spbstu.ru

УДК: 681.3.016

А.О. Руденко, С.В. Мещеряков

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ БАЛАНСИРОВКИ
РЕСУРСОВ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

Аннотация. Большинство центров обработки данных сталкивается с необходимостью балансировки нагрузки между веб-серверами по различным алгоритмам. В зависимости от типа трафика и дизайна приложений их балансировка может осуществляться как на прикладном уровне стека TCP/IP, так и на более низких, транспортном или сетевом. В данной работе содержится сравнительный анализ и обоснованный выбор программных средств балансировки ресурсов высоконагруженных веб приложений.

Ключевые слова: балансировка ресурсов, высоконагруженные приложения, веб-серверы, открытый исходный код.

Типовая архитектура балансировки нагрузки и требования к ПО

Исследования проводились в компании RingCentral (США) [1], предоставляющей услуги IP-телефонии и другие веб сервисы, где используется несколько типов балансировщиков нагрузки. Актуальная проблема в многопользовательских компьютерных сетях — равномерное распределение нагрузочных сессий от удаленных клиентов к серверам приложений. В роли клиента может выступать любое ПО, непосредственно взаимодействующее с пользователем, например веб-браузер, или ПО, установленное на серверах.

Для балансировки HTTP(S) и иного TCP-трафика в RingCentral используются как коммерческие решения, например продукты BIG-IP от производителя F5 Networks [2], так и ПО с открытым исходным кодом, например Nginx [3] для маршрутизации и балансировки HTTP-трафика, Kamailio [4] для маршрутизации и балансировки SIP-трафика. Анализ некоторых других ресурсов, имеющих в Интернет в свободном доступе, содержится в обзорах [5, 6]. Цель данного исследования — обоснованный выбор ПО с открытым исходным кодом взамен коммерческих балансировщиков нагрузки BIG-IP для конкретных типов трафика TCP/UDP.

Ввиду целого ряда ограничений коммерческих продуктов, таких как невозможность быстрого внедрения нового или изменения существующего функционала, высокая стоимость сервисного обслуживания, был выполнен поиск альтернативных решений среди ПО с открытым исходным кодом. При этом сформулированы следующие требования к претендентам (рис. 1):

1. Балансировщик должен работать с любым TCP-трафиком, независимо от прикладного протокола.

2. Поддержка как равноценной балансировки пакетов между серверами (ECMP маршрутизация), так и приоритетной, разноценной (UCMP маршрутизация).

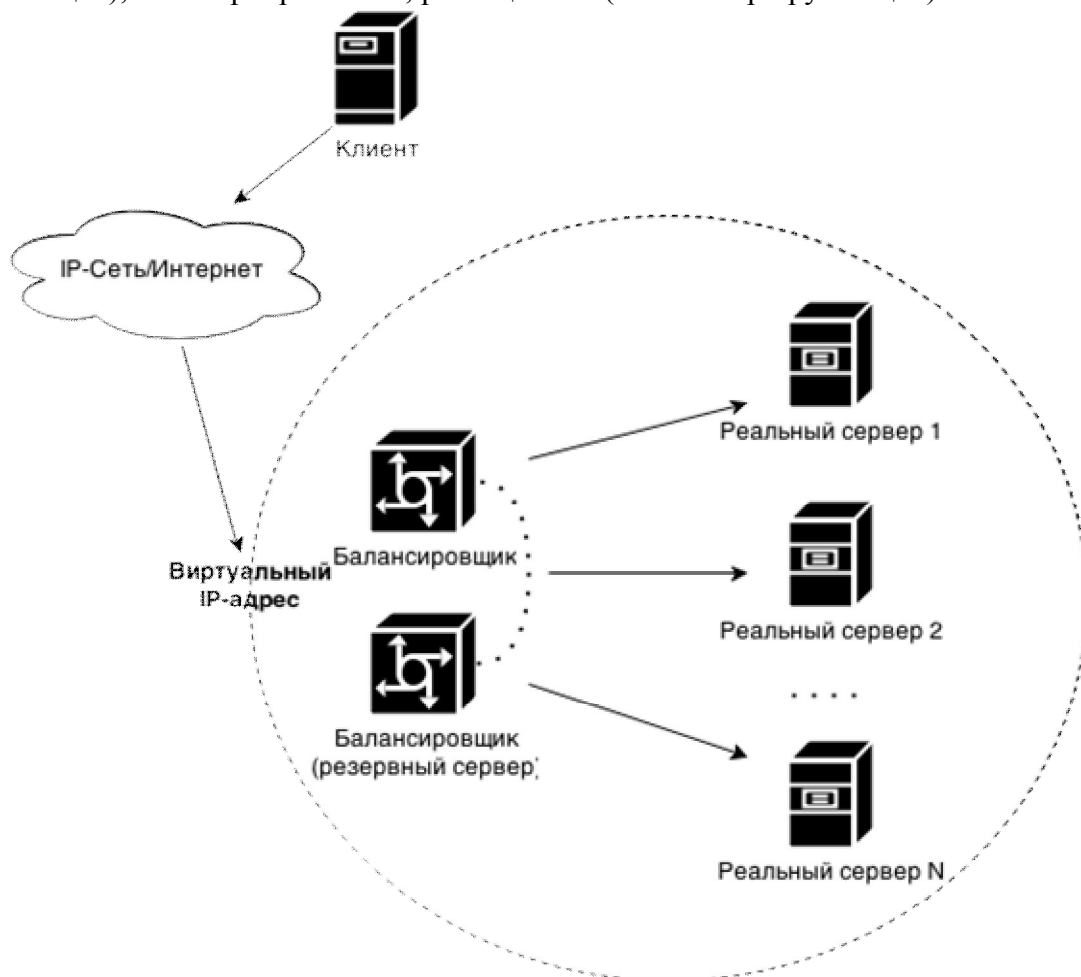


Рис. 1. Типовая архитектура балансировки

3. Возможность гибко добавлять и менять методы проверки сервера на работоспособность, включать/исключать серверы в «черных списках», которые используются для временного приостановления прохождения трафика через неработоспособный сервер.

4. Балансировщик должен быть сам по себе устойчив к отказам. В случае использования кластера из двух серверов (активный и пассивный) должна быть предусмотрена возможность синхронизировать существующие TCP-сессии, чтобы переключение пассивного режима в активный произошло максимально прозрачно для сессий. Если это требование не выполняется, то одновременный сброс всех активных сессий может привести к их лавинообразному одновременному переустановлению, что может быть критичным.

5. Реальные серверы (рис. 1) не должны быть подвержены никаким модификациям, т.е. проксированный, сбалансированный трафик не должен отличаться от прямого.

6. ПО должно работать в среде операционных систем GNU/Linux, CentOS, для которых в RingCentral имеются лицензионные дистрибутивы.

Сравнительный анализ программных продуктов

В таблице 1 приведены результаты функционального сравнения двух продуктов, наиболее популярных среди крупных мировых IT-компаний:

1. HAProxy [7] – ПО для проксирования и балансировки HTTP-трафика с поддержкой только TCP.

2. IPVS [8] – ПО, модифицирующее сетевой стек ядра Linux для добавления поддержки механизмов балансировки.

Табл. 1. Функциональное сравнение HAProxy и IPVS

Функционал	HAProxy	IPVS
Равноценная балансировка	+	+
Приоритетная балансировка	+	+
Проверка на работоспособность	+	+
Синхронизация состояний TCP-сессий с резервным сервером	отсутствует	+
Балансировка на транспортном уровне	TCP	TCP/UDP
Балансировка на прикладном уровне	HTTP	отсутствует

IPVS масштабно используется в Яндекс – крупнейшей российской поисковой системе в Интернет, TaoBao – популярной китайской торговой площадке. HAProxy предпочитают использовать в Stack Overflow – Интернет-ресурсе вопросов и ответов о программировании, Twitter – широко известном сервисе микроблогов, Reddit – популярном коллективном блоге.

Альтернативными продуктами являются: Pen – кроссплатформенное ПО, CARP – протокол дубликации общего адреса с механизмами балансировки, реализованный в ОС FreeBSD. Однако их популярность в мире крайне низкая и их дальнейшее исследование и тестирование не представляется перспективным.

При окончательном выборе продукта определяющим фактором явилось то, что в HAProxy отсутствует механизм синхронизации состояний TCP-сессий, а его самостоятельная разработка является чрезвычайно сложной технической задачей ввиду направленности архитектуры продукта на работу с HTTP. Поэтому по результатам сравнительного анализа и тестирования в качестве ПО для дальнейшей практической реализации балансировщика нагрузки был выбран IPVS со следующей конфигурацией:

1. Keepalived v1.2.12+ — утилита [9], реализующая отказоустойчивый кластер из IPVS-балансировщиков, где поддерживается протокол VRRP, поэтому потенциально может использоваться не только с IPVS.

2. Ipvadm v1.26-1 — утилита администрирования IPVS.

3. Iptables v1.4.21 — утилита администрирования сетевых фильтров.

4. Linuxkernel v3.10+ — операционная система.

5. CentOS v7.0 x64 — дистрибутив операционной системы на базе ядра Linux.

ЛИТЕРАТУРА:

1. RingCentral, Inc. <http://www.ringcentral.com/>
2. F5 Networks, Inc. <https://f5.com/products/platforms/appliances>
3. Nginx, HTTP-сервер с открытым исходным кодом.
4. Kamailio, SIP-сервер с открытым исходным кодом.

5. Мещеряков С.В., Щемелинин Д.А., Руденко А.О. Интеграция современных Интернет-ресурсов в задачах дистанционного контроля специалистов: Materials of the V International Scientific Conference.– Prague: Vědeckovýdatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2014.
6. Efimov V., Mescheryakov S., Shchemelinin D. Adaptive Control of Cloud Computing Resources in the Internet Telecommunication Multiservice System. The 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems, St. Petersburg, 2014.
7. HAProxy. <http://www.haproxy.org/>
8. IPVS. <http://www.linuxvirtualserver.org/software/ipvs.html>
9. Keepalived, отказоустойчивая кластеризация. <http://www.keepalived.org/>

Сведения об авторах

Руденко Александр Олегович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: нет
Должность: аспирант
Электронная почта: rudenko.ao@gmail.com

Мещеряков Сергей Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., доц.
Должность: профессор
Электронная почта: serg-phd@mail.ru

УДК 004.932.2

А.С. Суханова, В.В. Лаптев

ВОПРОСЫ ВИЗУАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ

Аннотация. Структуры данных являются распространенными показателями в среде управления бизнес-проектами. Инфографика как особое направление коммуникационного дизайна предусматривает ряд паттернов, позволяющих визуализировать информацию такого рода. Применение каждого из имеющихся паттернов сопряжено с определенными ограничениями и семиотической спецификой. Алгоритмизация их анализа позволяет перевести визуальную интерпретацию структур числовых данных в круг задач поддержки принятия решений, решаемых с помощью программных средств.

Ключевые слова: инфографика, визуализация данных, визуальное восприятие, структура данных, паттерны, ай-трекер.

Управление информацией, которая подразумевает построение структур различного рода и сценариев их восприятия, является важной прикладной задачей. Структуры данных являются распространенными показателями в среде управления бизнес-проектами. Вопросы, связанные с их визуальной интерпретацией, являются актуальными в связи с вариативностью формы представления. До сих пор существуют проблемы визуализации числовых данных, возникающие при выборе соответствующих типов диаграмм. Так, один и тот же пример структуры данных может быть представлен в различных паттернах: брусковых, секторных, плоскостных или потоковых диаграммах. Правильный выбор формы основывается на учете не только контекста и семантических связей между числовым массивом и его графическим

образом, но и на удобочитаемости графика, его простоте восприятия. Это касается визуализации не только структуры числовых данных, но и классификационных или иерархических схем с количественным анализом.

Графическое представление таких результатов, а значит и определение формы сообщения, относится к вопросам коммуникативного дизайна. Инфографика как его составная часть рассматривается как возможный объект прикладной информатики [1]. Необходимо рассмотреть особенности формирования структурных диаграмм с точки зрения удобства визуального восприятия и точности анализа представляемых данных. Критические замечания относительно использования круговых или брусковых диаграмм высказывались неоднократно. Однако первым, кто на практике обратился к этому вопросу, был Вальтер Кросби Иллс. В своей статье «Относительные достоинства круговых и брусковых диаграмм для представления составных частей» («The relative merits of circles and bars for representing component parts»), опубликованной в 1926 году, он попытался на основе проведенного им эксперимента обосновать преимущества и недостатки того или иного вида диаграмм [2].

По итогам эксперимента было установлено, что метод использования круговых диаграмм практически во всех пунктах показал лучшие результаты, нежели использование брусковых. Иллс пришел к следующим выводам:

1. Круговые диаграммы могут быть считаны так же быстро, как брусковые.
2. Круговые диаграммы можно прочесть более точно. Точность суждения увеличивается с количеством подразделений в кругах и уменьшается в случае брусковых диаграмм.

3. 50% участников эксперимента читают круговые диаграммы, используя дуги, 25% — площади и еще 25% — углы. Но, вне зависимости от метода, нет существенной разницы в точности суждения.

4. Круговые диаграммы достойны внимания и могут быть рекомендованы не только из-за их популярности и психологической привлекательности, но и на основе научных данных.

Однако далеко не все были согласны с результатами, полученными Иллсом. В 1927 году вышли сразу две статьи с критическими замечаниями, относящимися к его эксперименту. Статья Р. Ван Хана «Дальнейшие исследования в графическом использовании круговых и брусковых диаграмм» («Further studies in the graphic use of circles and bars») включает замечания об ошибках, допущенных в ходе эксперимента Вальтера Иллса. Хан указывает на необъективность полученных данных, ставит преимущества использования круговой диаграммы под сомнение и отдает предпочтение использованию брусковой диаграммы [3].

Фредерик Крокстон в статье «Брусковые диаграммы в сравнении с круговыми» («Bar charts versus circle diagrams») также касается эксперимента Иллса и проводит собственное исследование, направленное исключительно на «точность суждения», а не на остальные аспекты, которые рассматривал Иллс («быстрота решения», «метод решения» и др.) [4]. В своем эксперименте Крокстон использовал материал, созданный с учетом ошибок и недочетов работы Иллса. Тем не менее эксперимент показал, что в большинстве рассмотренных Крокстоном случаев, круговая диаграмма показывает лучшие результаты.

В 1991 году к вопросу визуализации данных с помощью круговой или брусковой диаграммы возвращаются Ян Спенс и Стефан Левандовски. Они проводят эксперимент на базе компьютера с этими видами диаграмм, а также добавляют еще одну новую форму — столбчатую диаграмму. Результаты эксперимента представлены в статье «Изображение пропорций и процентов» («Displaying Proportions and Percentages») [5].

В 2010 году были возобновлены исследования относительно влияния видов диаграмм на удобочитаемость и восприятие данных. Каролина Зимкевич и Роберт Косара ставят вопрос о том, как работает визуализация и как люди воспринимают визуальную форму в

качестве информации. Зимкевич и Косара также указывают на то, что размещение данных с помощью одного из видов диаграмм не должно быть произвольным на практике. Они проводят эксперимент, в котором помимо прочего рассматривают вопрос о том, как секторы круга воспринимаются вместе, и как они воспринимаются с разрывами между секторами и отсутствующим центром [6].

В настоящее время нет единого мнения о том, в каком случае какая из диаграмм — брусковая или круговая могут визуализировать данные наилучшим образом. На протяжении долгого времени считалось, что люди визуальнее лучше оценивают длину, чем углы, дуги и площади. В этом заключается преимущество брусковых диаграмм. Однако эксперименты, представленные выше, свидетельствуют об обратном.

Для того чтобы разобраться в проблеме, следует обратиться к самому первому эксперименту, проведенному Иллсом в 1926 году. За основу нашего эксперимента будут взяты данные, участвовавшие в его исследовании. Однако эксперимент будет проведен без использования карточек, а с помощью компьютера и прибора eye tracker, который позволит проследить движение глаз участников эксперимента. Это поможет исключить субъективность оценки испытуемых, чего не мог сделать Иллс, и получить более точные объективные результаты.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лаптев, В.В. Инфографика: основные понятия и определения / В.В. Лаптев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Гуманитарные и общественные науки. 2013. № 4 (184). С. 180–187.
2. Eells, W.C. The relative merits of circles and bars for representing component parts // Journal of the American Statistical Association. 1926. Vol. 21. P. 119–132.
3. Huhn, R. von. A discussion of the Eells' experiment / R. von Huhn // Journal of the American Statistical Association. 1927. Vol. 22, No. 160. P. 31–36.
4. Croxton, F.E. Graphic Comparisons by Bar, Squares, Circles, and Cubes/ F.E. Croxton, H. Stein // Journal of the American Statistical Association. 1932. Vol. 27, No. 177. P. 54–60.
5. Spence, I. Displaying Proportions and Percentages / Ian Spence, Stephan Lewandowsky // Applied Cognitive Psychology. 1991. Vol. 5. P. 61–77.
6. Kosara, R. Do Mechanical Turks Dream of Square Pie Charts? / Robert Kosara, Caroline Ziemkiewicz // Proceedings Beyond time and errors: novel evaluation methods for Information Visualization (BELIV). ACM Press, 2010. P. 373–382.

Сведения об авторах

Суханова Анна Сергеевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
Должность: студент
Электронная почта: a_s_sher@mail.ru

Лаптев Владимир Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
Ученое звание, степень: кандидат искусствоведения
Должность: доцент
Электронная почта: laptevsee@yandex.ru

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦВЕТА И ЦВЕТОВЫХ КОНТРАСТОВ В КИНОКАДРЕ

Аннотация. Предметом данной статьи является описание эмпирического исследования с использованием оборудования eye-tracker и специально подготовленного стимульного материала, а также разработка определенного математического аппарата для измерения влияния цвета и цветовых соотношений изображения на зрителя. Результаты требуется интерпретировать для прикладной области и выявить закономерности использования цвета в кинокадре в соответствии с поставленной задачей.

Ключевые слова: цвет, теория цвета, восприятие цвета, кинематограф, окулография, эксперимент.

Цветовая составляющая окружающего нас материального мира играет важную роль в его восприятии. Цвет влияет на человека физиологически, оптически, эмоционально, воздействует на ассоциативное мышление. А с тех самых пор, как в 1895 году всемирно известный американский изобретатель и предприниматель Томас Эдисон впервые вручную раскрасил киноплёнку для своего фильма «Танец Лои Фуллер», цвет становится одним из основных инструментов представления и в кинематографе. Одной из первых кинокартин, в создании которой грандиозное место было отведено работе с цветом, была трилогия «Властелин колец» новозеландского кинорежиссера Питера Джексона. Пристальное внимание к цветовому решению кадра вызвано желанием визуализировать атмосферу мира Дж. Р.Р. Толкиена, а реализация управления цветом в кадре стала возможна благодаря уже достаточно развитым к тому времени техническим средствам. Масштабная и глубокая работа с цветом полностью оправдала себя и, несомненно, стала одной из причин головокружительного успеха картины. На данном примере можно убедиться в эффективности цвета, как важнейшего инструмента в руках режиссера кино. Художественное управление цветом в кадре сегодня носит название цветокоррекция, однако теоретические основы гармонии цветов были заложены еще задолго до появления кинематографа. Изучению цветовосприятия человека посвящено множество исследований в различных областях науки. Значительной фигурой в данной области познания становится швейцарский художник и теоретик нового искусства Иоганнес Иттен, который предлагает свой вариант систематизации накопленного человечеством знаний о цвете. В труде «Искусство цвета» [1] он, опираясь на понятие дополнительности цветов, описывает модель двенадцатицветного цветового круга, дает определение цветовой гармонии и композиции, классифицирует контрасты. Описанные Иттенем понятия и законы являются фундаментальными в области колористики, широко применяются на практике. Принципы сочетания цветов, раскрытые И. Иттенем в процессе исследований, лежат в основе правильного построения изображений любого рода.

Значительность, как и сам факт наличия, влияния цвета в процессе восприятия изображения, будь то произведение живописи или кинокадр, несомненны, но только на интуитивном уровне. Цель данного исследования — выявление объективных доказательств, на уровне математической абстракции показывающих зависимость цвета и его восприятия человеком. Цвет, как понятие, имеет множество свойств и неизмеряемых нюансов, поэтому на первых порах данного исследования будет учитываться только факт наличия или отсутствия цвета. Таким образом, основополагающий параметр «цвет», по крайней мере, в первой серии опытов, принимает только два значения: 0 или 1, «истина» или «ложь». На

данном этапе необходимо и достаточно выявить существование самого факта вышеописанной зависимости.

Для проведения первой серии опытов понадобится оборудование eye-tracker, несколько групп испытуемых и определённый визуальный ряд. Измерение направления человеческого взгляда с помощью eye-tracker является широко применяемым и действенным методом когнитивной психологии. Прибор использует бесконтактные оптические методы регистрации движения глаз. Инфракрасная подсветка отражается глазным яблоком и регистрируется специально разработанным оптическим сенсором. В процессе обработки видеозаписи получается информация об ориентации глазного яблока в пространстве и её временная динамика [3]. В данной области исследования выделяют целый ряд различных типов движения глаз. Основные из них - это медленные следящие движения (фиксации) и саккады (быстрые движения глаз, которые могут быть произвольными или рефлексными).

Для создания визуального ряда, стимульного материала, требуется выбрать исходное изображение. В качестве такого изображения необходимо взять реалистичную фотографию. Приоритет фото над рисунком, обусловлен субъективным видением художника, являющимся неотъемлемой частью любого рисованного изображения. Очевидно, что в данном эксперименте субъективность — нежелательная категория. В противоположный конец умозрительной шкалы объективности можно было бы поместить программно сгенерированное изображение с использованием некой графической библиотеки. Действительно, на первый взгляд, созданное программой абстрактное изображение лучше всего отвечает условиям эксперимента, однако, полностью беспредметный и в цветовом отношении случайный кадр также не является оптимальным исходным материалом по причине, которая будет очевидна далее. Предполагается, что содержимое фотографии должно отвечать ряду требований, таких как: эмоциональная нейтральность, наличие минимальной смысловой нагрузки. Однако предметность должна сохраниться. Более того, предполагается, что изображение будет иметь несомненный и единственный центр внимания (главный объект) [5]. Количественные показатели цветовых составляющих (например, количество зеленого, красного и синего цвета для модели rgb), должны быть примерно равными, а их пространственное расположение достаточно равномерным. Следующим шагом является обесцвечивание изображения.

На данном этапе важнейшей проблемой является чистота эксперимента, абстрагирование от побочных факторов, способных неблагоприятно повлиять на измерения, и сами по себе не поддающиеся строгому измерению и учету. Для начала, постараемся исключить из стимульного материала все побочные (в данном исследовании) характеристики, которые может иметь изображение (композиция, предметность, смысловая нагрузка, эмоциональная окрашенность и прочее), кроме собственно цвета и его отсутствия. Для достижения этой цели с помощью специального программного обеспечения на основе исходного кадра должен быть автоматически сгенерирован ряд изображений с нарастающим уровнем энтропии. Под энтропией изображения в данном случае понимается его беспорядочность и зашумленность. Энтропия должна быть однозначно измеряема и создаваться с равным шагом, соответствующим количеству полученных изображений. Результатом окажется ряд кадров, в котором первый кадр, с минимальным уровнем энтропии, будет соответствовать исходному изображению, а последний, с максимальным уровнем энтропии, будет представлять собой полностью зашумленное изображение с абсолютным отсутствием предметности. Предполагается использовать десять уровней абстракции. На данном этапе становится очевидна важность роли предметности в исходном изображении, т. к. если бы исходное изображение было сгенерировано программным образом, уровень энтропии в нем изначально бы был максимальным (и абсолютным).

Репрезентативная выборка из генеральной совокупности составляет общепринятое для подобных экспериментов количество испытуемых - 30 человек. Демонстрацию изображений каждому испытуемому необходимо производить в случайном порядке. Данное условие является необходимым для исключения такого фактора, как группировка кадров и совместное воздействие их уже в качестве последовательности.

Постановка задачи для испытуемого перед экспериментом (или ее отсутствие) может кардинально повлиять на паттерн движения его глаз, что наглядно показывает в своих исследованиях советский учёный-физиолог Альфред Ярбус [2] (рис. 1). Именно поэтому в данном эксперименте задача должна быть поставлена определенно, ясно и единообразно для всех испытуемых.

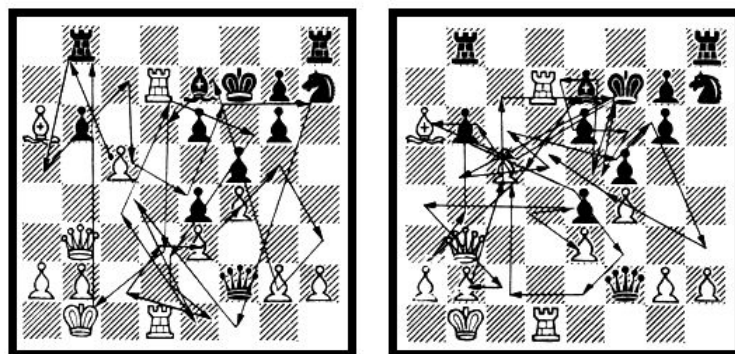


Рис. 1. В зависимости от поставленной задачи, шахматист по-разному осматривает доску с фигурами. Киносъемку глаз проводил к.пед.н. В.Н. Пушкин

Изначально, оборудование eye-tracker производит запись двух координат точки (x , y) в единицу времени, а также измеряет диаметр зрачка. Из этих данных исследователь может получить информацию следующего, более высокого, порядка, как то: средняя (максимальная) длительность фиксации, средняя (максимальная) скорость (ускорение) саккады, средний (максимальный) диаметр зрачка, и так далее. А также может быть получена графическая схема пути «рассматривания» изображения.

Взяв за основу один из параметров, числовые значения которого прибор выдает в качестве результата измерений, можно составить график зависимости между двумя величинами. По одной из осей следует отмерить показатели прибора (например, максимальную длительность фиксации), а по другой оси - уровни энтропии ($n = 1, 2...10$). В результате построений получим графическое представление одномерного распределения для каждого уровня энтропии. Исследуя полученный график, можно установить корреляцию (или ее отсутствие) между этими двумя величинами. Таким образом, нахождение статистической зависимости на данном этапе уже может считаться признаком верно выбранного пути исследования [4]. Однако действительно значительные выводы представляется возможным получить только после проведения второй части эксперимента.

Этапы и условия второй части эксперимента остаются такими же, как и для первой части. Различие состоит в том, что на первом этапе исходное изображение не обесцвечивается. Кроме того, предполагается взять уже другую группу испытуемых (по-прежнему в количестве 30 человек). Затем, полученный в результате второго эксперимента график следует сравнить с первым. При условии обнаружения устойчивых различий в результатах двух вышеописанных экспериментов, отличием между которыми было только наличие или отсутствие цвета в исходном изображении, и, как следствие, в стимульном материале, представляется возможным сделать вывод о существовании влияния цвета на восприятие изображения, а также выдвинуть гипотезу дальнейшего эксперимента.

Предполагается, что следующий эксперимент будет направлен на исследование восприятия изображений, измененных по принципу, проиллюстрированному рис. 2. Здесь образность изображения будет заменена геометрическими примитивами, а затем абстрактными пятнами. Гипотезой данного планируемого эксперимента выступает утверждение, что оригинальный кадр и его абстрактная интерпретация в виде примитивов имеют схожий шаблон рассматривания, что позволит существенно упростить анализ кадра. Здесь необходимо выявить методологию постановки эксперимента и произведения измерений, основанного на результатах текущего эксперимента и особенностях условий следующего исследования.



Рис. 2. Видоизменение кадра из фильма Андрея Тарковского «Зеркало»

Дальнейшие исследования необходимо структурировать в соответствии с теорией цвета и контрастов по Иттену. Цветовые отношения в стимульном материале (кинокадрах) будут изменены таким образом, что в результате будут получены изображения, которые однозначно можно будет разделить на следующие категории: оригинальное цветовое решение, контраст (дополнительных цветов, холодного и теплого, по светлоте и насыщенности), нюанс, то есть близкие по тону цвета (по светлоте, по насыщенности), монохром (черно-белое изображение, тонированное), гамма, не отвечающая законам теории цвета (неправильная гамма).

После проведения подсчетов и определения наличия или отсутствия зависимости одних величин от других, необходимо сделать выводы о найденных закономерностях, а также о предпочтительном использовании конкретных цветовых решений в кино в зависимости от жанра, плана, объекта изображения, динамики или статики кадра, предполагаемой эмоциональной окраски.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Иттен И. Искусство цвета [Текст]. Издательство: М.: Д. Аронов, 2007 г.
2. Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. [Текст]. Издательство: Наука, 1965 г.
3. Duchowski A. Eye tracking methodology. Theory and practice. [Текст]. Издательство: Springer-Verlag London Limited, 2007 г
4. Pallez D., Cremene M., Baccino T., Sabou O., Analyzing human gaze path during an interactive optimization task. [Электронный ресурс]: Режим доступа: www.elsevier.com, свободный. – Загл. с экрана.
5. Zhonga M., Xinbob Zh., Xiao-chunc Z., Wangd J.Z., WenhuaW. Markov chain based computational visual attention model that learns from eye tracking data. [Электронный ресурс]: Режим доступа: www.elsevier.com, свободный. – Загл. с экрана.

Сведения об авторах

Павлова Дарья Максимовна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 28
Должность: студент магистратуры

Электронная почта: pavlovadariam@gmail.com

Виктор Эдмундасович Янчус

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 28

Должность: старший преподаватель

Электронная почта: victorimop@mail.ru

УДК 766:002.55

Т.К. Ермолова, А.А. Митрофанов

ВОПРОСЫ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЭЛЕКТРОННЫХ МОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Электронные мониторинговые системы (дашборды) применяются повсеместно. Однако, они являются темой мало изученной. Инфографика в дашбордах визуализируются при помощи простых автоматизированных инструментов. В процессе проектирования дашбордов полностью исключается роль дизайнерского решения, что приводит к ряду проблем, делающим работу пользователей менее эффективной.

Ключевые слова: дашборды, информационные панели, визуализация данных, визуальное восприятие, инфографика.

Дашборды (информационные панели, приборные панели, контрольные панели, электронные мониторинговые системы) — это инструмент визуализации информации. Современный человек каждый день сталкивается со значительным количеством информации во время работы и отдыха. Для упрощения восприятия и повышения эффективности ее использования данная информация визуализируется при помощи дашбордов. Однако, не существует никаких конкретных рекомендаций к проектированию этих информационных панелей. Актуальность изучения дашбордов обуславливается растущей популярностью этого инструмента визуализации, как на предприятиях и в государственных организациях, так и в повседневной жизни.

Существует несколько определений дашбордов. С. Фью определяет дашборды, как «визуальную репрезентацию наиболее важной информации, которая требуется для достижения одной или нескольких целей. Эта информация расположена на экране таким образом, чтобы ее можно было отслеживать с первого взгляда» [1]. Дашборды называют визуальным инструментом, который визуализирует информацию в реальном времени на одном экране. Они позволяют пользователям быстро и просто считывать информацию с одного экрана [2]. Дашборды также описываются как интуитивные, легкодоступные и простые в использовании, достаточно гибкие, чтобы на одном экране можно было бы расположить информацию разных видов и типов. Каждый дашборд проектируется с учетом специфики назначения [3]. Однако, основной целью проектирования такого инструмента является помощь в быстром принятии решений [4].

Дашборды можно разделить на несколько видов: оперативные, аналитические и стратегические. Стратегические помогают улучшить координацию и работу коллектива, аналитические позволяют проанализировать информацию и оперативные передают информацию в реальном времени [5].

Для первых характерны аннотации, встроенные инструменты общения и схемы стратегий и рабочего процесса. Стоит отметить, что такие дашборды наименее динамичны. Аналитические системы мониторинга включают в себя как анализ текущей информации, так

и прогнозы. Оперативные состоят из значительного количества экранов, графики, символов, сигналов тревоги и таблиц.

Дашборды включают в себя несколько «слоев информации» [5]:

1. графическая абстрактная информация, которая позволяет отслеживать основные данные;
2. подытоженная и проанализированная информация, которая позволяет выявить какие-либо проблемы и их источники;
3. информация, которая указывает на действия, которые должны быть предприняты для решения проблемы.

Следовательно, информацию, которая визуализируется в дашбордах, можно классифицировать следующим образом: мгновенная информация (для оперативного контроля, включающая в себя тревожную, требующую мгновенного реагирования), аналитическая информация и стратегическая информация.

Можно выделить ряд рекомендаций к составлению дашбордов. Среди них: дашборд должен быть прост для понимания и не вызывать замешательства [4], не должен иметь отвлекающих элементов [6] и «во всем дашборде количество цветных пикселей, не отображающих данные, должно быть сведено к минимуму» [1]. Однако не существует конкретных рекомендаций по построению дашборда, что делает процесс составления дашбордов произвольным, сложным и не всегда удачным.

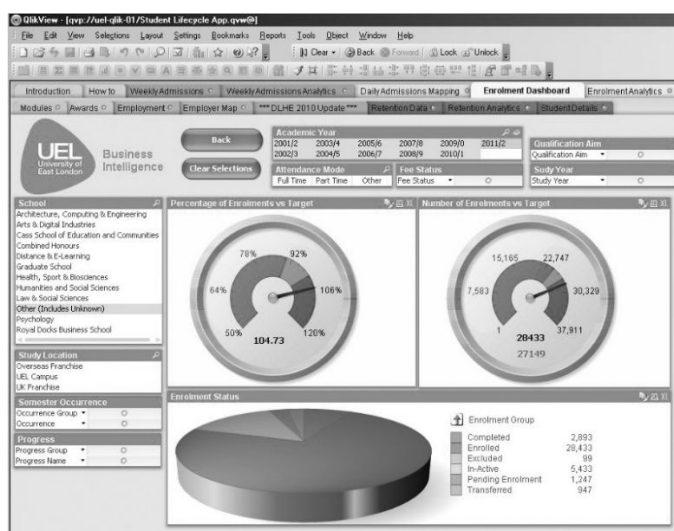


Рис. 1. Дашборд Восточного университета Лондона

В дашборде Восточного университета в Лондоне можно выявить целый ряд недостатков: в данной системе используется большое количество трехмерных объектов, градиентов и ярких цветов. Тени и блики на объектах затрудняют восприятие. Трехмерная секторная диаграмма не позволяет считывать конкретные значения и способствует некорректному восприятию информации. Верхнее меню дашборда состоит из обширного числа таблиц, изучить которые требуется значительное количество времени.

Не менее важный аспектом проектирования является разработка композиционного решения. На дашборде Восточного университета, объекты расстановлены в произвольном порядке без учета правил композиции, что значительно влияет на восприятие отражаемой на экране информации.

Основной проблемой, при составлении данного дашборда, было вмещение на один экран большого количества опциональных данных. Можно предположить, что эти данные не

всегда были расположены с учетом человеческого восприятия экрана и данных. При более близком изучении диаграмм, используемых в дашборде, можно выделить ряд ошибок, допущенных при их составлении: несмотря на то, что график легко считывается, в нем присутствуют тени и градиенты, которые не переключаются с общим графическим решением дашборда, но значительно замедляют восприятие данных. Градиентный фон, композиционно выделяет график на странице, однако замедляет процесс считывания с него данных. Диаграммы в этом дашборде визуализируются при помощи стандартных инструментов, что означает недостаточную проработку дизайнерского решения.

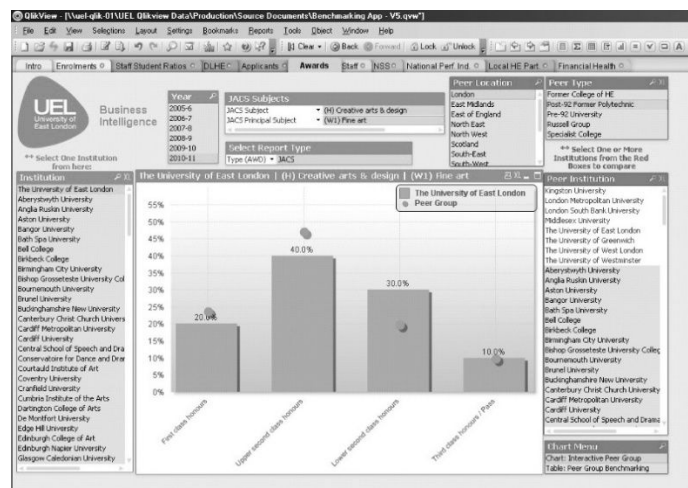


Рис. 2. Дашборд Восточного университета Лондона

Для данного дашборда характерно значительное количество однотипной информации, скомпонованной в одном месте, но визуализированной разными методами. После рассмотрения трех экранов дашборда Восточного университета Лондона, можно заключить, что для этого инструмента визуализации нет единых правил оформления и компоновки элементов на экране. Следовательно, можно утверждать, что при проектировании данного дашборда, не было уделено должного внимания составлению дизайнерской концепции.

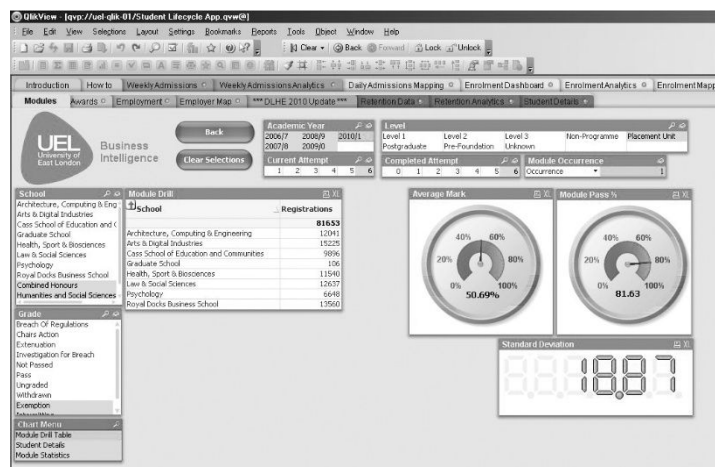


Рис. 3. Дашборд Восточного университета Лондона

Исходя из выше описанного, мы поставили перед собой цель разработать методику построения дашбордов. Для ее достижения мы поставили перед собой следующие задачи:

1. проанализировать имеющуюся на данную тему литературу и, на основе этого анализа составить ряд общих требований, выдвигаемых авторами по построению дашбордов;
2. анализировать выявленные требования на их достаточность;
3. провести ряд экспериментов с целью изучить специфики восприятия дашбордов потребителями и, как результат, создать дашборд, спроектированный по разработанной методике.

Во время проведения экспериментов, особое внимание будет уделено влиянию паразитной информации на эффективность работы пользователя.

Дашборды, несмотря на свое повсеместное применение, являются темой мало изученной. Инфографика в дашбордах визуализируются при помощи простых автоматизированных инструментов, что полностью исключает участие дизайнера в процессе проектирования их интерфейсов. Такой подход, создает ряд значительных проблем, таких как отсутствие композиционных решений, некорректное применение цветовых гамм, а также внедрение паразитирующей информации. Для разработки методики проектирования дашбордов требуется ряд экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Few S. Information dashboard design. The Effective Visual Communication of Data. O'reilly Media, 2006
2. Elias M., Bezenarius A., Annotating BI visualization dashboards: Needs and challenges. Proceeding of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computer Systems, 2012.
3. Harel E., Sitko T., Digital dashboards: Driving higher education decisions. EDUCAUSE Center for Applied Research, Research Bulletin, 2003 (19).
4. Yahya H., Anwar Md. R., Monitoring student attendance dashboard. International Journal of Asian Social Science, 2007.
5. Wayne E. Deploying dashboard and scorecards, TDWI Best Practices Report.
6. Bera P., Do Distracting Dashboards Matter? Evidence from an Eye Tracking Study, Information systems: Education, Applications, Research, 2014.

Сведения об авторах

Ермолова Татьяна Константиновна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: ermolova.tk@gmail.com

Митрофанов Алексей Андреевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: ассистент
Электронная почта: alexmitroff@gmail.com

УДК 7.048

А.И. Миндорина

ИВАНОВСКИЙ АГИТАЦИОННЫЙ ОРНАМЕНТ

Аннотация. Ярким периодом в истории развития текстильного рисунка послереволюционной России являются 1920–1930-е годы. Это время не только восстановления

текстильной промышленности после огромных потрясений, но и время бурной творческой деятельности ивановских художников, которые находили новые, неповторимые, характерные только для этого периода направления в искусстве оформления текстиля.

Ключевые слова: орнамент, агитация, пропаганда, агитационный орнамент, конструктивизм.

Город Иваново (Иваново-Вознесенск) издавна славился своей текстильной промышленностью. Формирование Иваново, как широко известного текстильного центра приходится на начало XVII века, а в середине XVIII века здесь уже возникают первые полотняные мануфактуры. В связи с этим, искусство орнамента в Иваново проявило себя наиболее ярко именно в оформлении текстиля.

Узоры и колеры ситцев конца XVIII — начала XIX века обнаруживают различные истоки художественной культуры, которой владели ивановские мастера. Прежде всего, они наследовали орнаменты и композиции узоров, которые были созданы мастерами западноевропейского декоративно-прикладного искусства. Эти орнаменты и композиции на ситцы перешли, очевидно, с шелковых тканей, которые делались «в европейском вкусе». Но, обладая стилевым единством с узорами шелковых тканей, орнаменты ситцев этого направления имеют и своеобразие. Здесь обнаруживается сосуществование текстильных узоров, характерных для стилей разных эпох.

Так, узор выбойки мануфактуры О.С. Сокова с изображением крупных фантастических плодов и крупных листьев по своему орнаментальному и композиционному решению созвучен узорам тканей конца XVII — начала XVIII века. Точно так же на ситце мануфактуры И.М. Ямановского, выработанном в конце XVIII века, в решении узора видны отзвуки «травного» орнамента, характерного для орнаментов XVII века. Ситцы мануфактуры О.С. Сокова с круто извивающейся кружевной, а на другом ситце цветочной гирляндой выглядели несколько старомодно в конце XVIII века. Подобная композиция в шелковых тканях была модной в середине XVIII века. Не чужды были ивановским мастерам и мотивы в узорах ситцев, навеянные восточной экзотикой, увлечением которой было отмечено западноевропейское прикладное искусство в последней четверти XVIII века. На некоторых ивановских ситцах этого времени воспроизведены сюжеты, созвучные этому направлению. На одном из них, изготовленном в конце XVIII — начале XIX века, среди пальм и цветочных веток помещены экзотические птицы.

Другая часть ивановской продукции показывает более непосредственное знакомство мастеров с орнаментами восточного искусства. Торговые связи ивановцев с восточными странами были давними. Но наиболее прочно вошел в орнамент ивановских набоек и ситцев узор в виде миндалевидной фигуры или «боба», скрюченного «огурца». Этот элемент орнамента встречается на ситцах в двух видах. Один из видов этой фигуры всегда имеет ясно очерченные контуры. Такие фигуры заполняют обычно средники платков или покрывают метровые ткани. Другие виды миндалевидных фигур расположены всегда на концах шалей, иногда и в средниках шалей. Они представляют собой растительные и цветочные мотивы, скомпонованные в миндалевидные фигуры, контуры которых не очерчены.

Ярким периодом в истории развития текстильного рисунка послереволюционной России являются 1920–1930-е годы. Это время не только восстановления текстильной промышленности после огромных потрясений, но и время бурной творческой деятельности ивановских художников, которые находили новые, неповторимые, характерные только для этого периода направления в искусстве оформления текстиля. Появление тематических или агитационных рисунков в текстиле самым тесным образом было связано с политическими, экономическими и социальными преобразованиями, происходившими в России после Октябрьской революции 1917 года. В 1918 году В.И. Ленин выдвинул план развития искусства в условиях победы социалистической революции. Наглядным примером

внедрения идеологии в повседневную жизнь стала развернувшаяся дискуссия о текстильной орнаментации. Кроме того, поворот к новой тематике был связан с творчеством молодых художников-энтузиастов, выпускников ВХТУТЕИНа [1].

Отличительной местной особенностью в оформлении ситцев и сатинов советского периода следует считать механическое включение советской символики в привычный цветочный узор. Изображения самолетов, пятиконечных звезд, шестеренок, колосьев, серпов соседствовали в тканях с маками, розами, ромашками, цветами хлопка. Это соединение разнородных мотивов строилось по традиционной схеме букетов, полос и гирлянд.

Основой композиции рисунка многих ивановских тканей являются продольные полосы — «восточные дороги». В XVII веке полосатые ручные набойки представляли собой подражание восточным тканям, которые были популярны у азиатских народов и исполнялись по шёлку. В России они вырабатывались по льняным холстам и полотнам и носили название «дорожников». Рисунок «дорожников» — это чередование полос различной ширины: однотонных, разноцветных или заполненных мелкими цветочными орнаментальными мотивами. Разработка полосатого орнамента отличалась большим разнообразием.

Тема ленинской «Электрификации всей страны» так же получила отражение в орнаментах на тканях: стали изображаться лампочки, линии передач, пересечения проводов.

Одной из излюбленных тем ивановских художников стала тема авиации. В композиции из цветов стали включаться лопасти пропеллеров, самолеты и парaplаны, изображения дирижаблей. Не обошли вниманием и морскую тематику.

Тема спорта и здорового образа жизни тоже отразилась на украшении ситцев. В орнаментах тканей появляются изображения спортсменов и спортивной атрибутики: мячей и теннисных ракеток. Особой популярностью пользовалась тема «Водный спорт»: существует множество вариантов текстильных рисунков, изображающих парусники, водное поло, гребцов и другие мотивы.

В 1928–1929-х годах в иваново-вознесенских тканях утверждается производственная тематика [2]. В текстильный рисунок приходят в значительной степени обобщённые либо очень условные индустриальные и сельскохозяйственные мотивы (силуэты фабрик, паровозы, подъёмные краны, станки, тракторы, снопы, фигуры рабочих, жниц и др.). Гармония вращающихся механизмов предстаёт в рисунках ивановских тканей в динамике во многих комбинациях.

В работе над тематическими орнаментами встречались большие трудности. Многие из художников никогда в жизни не видели аэроплана, танка, трактора, а в качестве подсобного материала использовали иллюстрированные журналы тех лет: «Смена», «Советское фото» и др.

Острая нехватка красителей в 1920-е годы и большая потребность в тканях художественных средств. Перевод текстильного мотива в условную графику даёт интересное орнаментальное решение, особенно популярными становятся одноцветные ткани с новым приёмом трактовки изображения. В Иваново такой тип рисунков называют «перекатами» — изображение как бы вибрирует за счёт толщины и частоты штриховых линий.

В пределах одного цвета (красного, тёмно-синего, чёрного) в сочетании с фоном художники добивались удивительной декоративной выразительности. Благодаря этому приёму узор на ткани получает динамичную игру силуэтных и линейно-штриховых изображений, многократное повторение одинаковых элементов не воспринимается однообразно и экономится краска. Одним из лучших примеров подобного решения являются ситцы С.П. Бурылина, Р.Г. Матвеевой, Д.Н. Преображенской, С.В. Логинова. Использование агитационного орнамента в текстильной промышленности сошло на нет после критики,

прозвучавшей в середине 1930-х годов из центра [3]. Орнамент вернулся к традиционным растительно-цветочным формам.

Создание агитационных рисунков в Иваново-Вознесенске — сложное и противоречивое явление, многие из орнаментов воспринимаются не просто как попытки найти компромисс между традиционной формой и новым содержанием, но и как попытки сохранения школы ивановского дизайна.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лаврентьев, А.Н. Варвара Степанова / А.Н. Лаврентьев. М. : Фонд «Русский авангард», 2009. 250 с. (Серия «Творцы русского классического художественного авангарда»).
2. Бесчастнов, Н.П. Художественная роспись по ткани 1920–30-х годов, поиски и эксперименты / Н.П. Бесчастнов // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА. 2010. № 3. С. 106–112.
3. Рыклин, Г.Е. Спереди трактор, сзади комбайн / Г.Е. Рыклин // Правда. 1933. 6 октября.

Сведения об авторах

Миндорина Арина Игоревна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: bisatulia@mail.ru

УДК: 4616-3510

Н.В. Никифоров

МЕТОДЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИГРОКА В КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГРАХ

Аннотация. Современные компьютерные игры, как молодая и активно развивающаяся разновидность визуальных развлечений, нередко представляют собой полноценную историю, потенциально не только не уступающую кинематографу, но и имеющую преимущество в виде интерактивности. Интерактивность - фактор, отличающий психологическое воздействие в процессе игры, от психологического воздействия неинтерактивного кино. От игрока требуется принятие решений, в, зачастую, экстремальных условиях, что является дополнительным рычагом воздействия на эмоциональное состояние человека и что, в свою очередь, является условием, при котором накопленное эмоциональное состояние может повлиять на выбранное решение.

Ключевые слова: компьютерные игры, игровой дизайн, игровое впечатление, принятие решений, эмоции, психология.

С момента своего зарождения и по настоящий день, компьютерные игры шли по пути комплексного развития игровой (первоначальной, унаследованной из до-цифровых времен) и повествовательных составляющих. На самых ранних этапах повествовательная составляющая если и присутствовала, то в минимальной форме и опиралась в большей степени на воображение играющего, чем на попытку донести до него авторскую задумку. Впоследствии, повествовательная составляющая росла в объеме и сложности, но она никогда окончательно не отделялась. Таким образом, можно говорить о неразрывной связи игрового процесса и повествования, которая выражается во впечатлении или переживании (оригинальный термин, англ. — Experience) [1].

В случае с кинематографом, за десятилетия его существования возникли многочисленные жанры, оказывающие психологическое воздействие на зрителя, такие как фильмы ужасов, триллеры, мелодрамы и пр. Их существование и развитие, очевидно, обусловлено спросом зрителя на предлагаемые ими переживания – страх, напряжение, интрига, сопереживание, грусть и тому подобные эмоции. Продолжительный спрос на протяжении десятилетий сформировал набор художественных приемов, позволяющих донести до зрителя желаемое психологическое воздействие. Тем не менее, переживание зрителя при просмотре кино лишено интерактивности: есть повествование, но нет игрового процесса со стороны самого зрителя, он не предпринимает никаких действий, способных повлиять на происходящее на экране, не принимает решений.

Таким образом, можно сделать вывод, что ключевой разницей между кино и современной компьютерной игрой является фактор интерактивности. Но всегда ли наличие интерактивности влияет на повествование? Джесс Шелл утверждает, что эта взаимосвязь не однозначна: многие современные игры, несмотря на активное наличие игровой составляющей, имеют последовательное повествование, ничем не отличающееся от механизмов повествования в кино. Такой механизм в применении к играм называется «нитью жемчуга» (оригинальный термин, англ. – String of Pearls), где «жемчужина» – это некий четко отделенный от остальных блок повествования (анимированная заставка, в которой игрок не делает ничего, только смотрит короткий ролик), а «нить» – это игровой процесс, ведущий игрока от одной «жемчужины»-заставки к другой [1].

Число таких игр велико, и такой принцип повествования продолжает активно использоваться в новых проектах. В основном, подобная модель свойственна играм жанра action, в которых для игрока проложен однозначный путь, который он обязан пройти. Наименований можно привести немало, начиная с классики – серии Half-Life, первая часть которой была одной из первых предложивших такую модель в 1998 году, кончая недавно вышедшей Call of Duty: Advanced Warfare. Такие игры опираются на кинематографические принципы воздействия на игрока: несмотря на то, что игрок обладает некоторым контролем над происходящим, контроль этот иллюзорен и заключен исключительно в скорости и качестве прохождения игровых моментов, но никак не в управлении повествованием.

Тем не менее, такая модель далеко не единственная, и не менее распространенными являются игры с ветвящимся повествованием, где «нить жемчуга» делится в определенных узлах на разные нити, создавая таким образом дерево возможных событий. В данном случае, у игрока куда больше контроля над происходящим и он получает возможность выбрать путь, по которому пойдет повествование.

Именно при появлении ветвления возможно прямое обращение к игроку и, как следствие, прямое участие его в процессе повествования. Игрок перестает быть бессловесным наблюдателем, имеющим право только перемещаться и выполнять строгие указания, обозначенные игровой механикой, он получает право голоса, хотя бы в ограниченной мере. Принимая решение, куда пойдет повествование, игрок несет ответственность за судьбу тех или иных персонажей или целых сообществ, описываемых в сюжете игры.

Очевидно, что раз есть элемент принятия решений, необходим и механизм демонстрации последствий и предпосылок этого выбора. Именно здесь встает вопрос воздействия на игрока, убеждения его сделать тот или иной выбор, создания мотивации принять то или иное решение. Отсутствие мотивации к выбору сводит смысл выбора на нет, так как в таком случае выбор может быть сделан банальным генератором случайных событий.

Логически, из этого следует, что на игрока необходимо повлиять определенным образом, убедить в рациональности определенного решения, моральности или же ввести в

определенное эмоциональное состояние, в котором его выбор будет предсказуем. Используя сочетания всех этих механизмов возможно смоделировать принятие сложного решения в реальной жизни.

Эмоциональный фактор представляется наиболее интересным, в силу того, что он способен оказать влияние на все остальные факторы. В последние несколько лет активно проводились исследования по воздействию интерактивных и неинтерактивных материалов на эмоции и психологическое состояние человека.

Если говорить об исследованиях эмоциональных воздействий на человека посредством неинтерактивного визуального воздействия, важно упомянуть работу Тибора Боссе и коллег из Университета Амстердама, в которой было проведено экспериментальное исследование воздействия пугающего, тревожного видеоматериала на человека. Эксперимент состоял в демонстрации испытуемым серии видеороликов, один из которых состоял из нарезки отрывков из фильмов ужасов. При этом проводилось измерение электропроводимости кожного покрова и частоты сердцебиения. В результате, исследование выявило ряд общих для всех испытуемых реакций, которые впоследствии команда Тибора Боссе планирует учесть при разработке интерактивного игрового инструмента для тренировки эмоционального самоконтроля в стрессовых ситуациях [2].

Основной тенденцией исследований вопроса эмоций в играх в 2014 году стало экспериментальное изучение эмоционального возбуждения в реакциях на игровые и неигровые ситуации в виртуальной реальности. Изучая реакции испытуемых на изображения определенной тематики [3] или на необходимость выполнения некоего быстрого действия или принятия решения [4], исследователи проводили анализ физиологических параметров организмов испытуемых и делали на основе этого выводы о стрессовом эффекте, оказываемом сценариями в виртуальной реальности. Все рассмотренные исследования выявили отсутствие корреляции между скоростью сердцебиения и электропроводимостью кожи, но выявили корреляцию между реакциями испытуемых и их психологическими типами, выявленными предварительно посредством тестов [4]. Схожие результаты демонстрирует другое исследование, проведенное ранее, в котором было выявлено четкое различие в эмоциональной реакции на показанные сцены из телефильма *Ugly Betty* («Дурнушка Бетти») у разных полов, на основе чего были предложены концепции для разработки гендерно-ориентированных компьютерных игр с эмоционально-зависимым игровым процессом [5].

Наиболее интересным в рамках данной работы представляется исследование, проведенное в 2013 году Мариной Фиори и ее коллегами на тему влияния эмоций на рациональное принятие решений. Было проведено комплексное исследование, в котором, опираясь на Теорию Игр, испытуемым было предложено смоделировать серию экономических транзакций, как справедливых, так и несправедливых. При этом на испытуемых проводилось эмоциональное воздействие посредством аффективных изображений из библиотек GAPED (Geneva Affective Picture Database) и IAPS (International Affective Picture System). В результате исследований была выявлена зависимость между эмоциональным состоянием и склонностью к тому или иному решению: например, страх или вина толкали индивидуума предлагать более честную сделку, так же как и сделки между друзьями, в массе были более честными, чем с незнакомыми людьми [6].

Таким образом, с учетом упомянутых исследований, была поставлена цель изучить эмоциональное влияние игровой среды и игрового контекста, а также конкретных ситуаций, на игрока и на принимаемые им решения. Исследования прошлых лет показывают влияние аффективных изображений и отдельных кинематографических сцен, но не показывают комплексное влияние игровой среды и поведения персонажа на настроение играющего, на его отношение к персонажу и на то, какое решение он примет в экстремальной ситуации.

С практической точки зрения, это исследование поможет систематизировать существующие методы психологического воздействия на игрока и выработать новые, что в результате поможет развитию и применению дизайна впечатлений – комплексной системы художественных визуальных, аудиальных и сценарных приемов в разработке компьютерных игр с максимальным погружением игрока в процесс. Исходя из этого, целью данного исследования является разработка методики психологического воздействия на игрока в компьютерной игре.

Для ее достижения были сформулированы следующие задачи:

1. Проанализировать имеющуюся литературу по данной теме, и составить на ее основе ряд требований к механизмам психологического воздействия.

2. Проанализировать повествовательные механизмы существующих игровых продуктов, опирающихся на предоставление игроку выбора пути дальнейшего развития повествования.

3. Создать серию экспериментальных прототипов сред и диалоговых сцен, согласно требованиям, составленным на основе рассмотренной литературы.

4. Провести ряд экспериментов с целью изучить механизмы воздействия системы образов в среде на эмоциональный фон испытуемого и на принятие им решений.

Психологическое воздействие на участника интерактивной симуляции или игры — активно изучаемая в данный момент обширная тема, в которой по-прежнему остается множество нерешенных вопросов. Бессистемное применение кинематографических приемов психологического воздействия в игровой среде не приводит, в силу особенностей игр, как интерактивного продукта, к однозначно прогнозируемому результату, что способно повлечь снижение интереса к продукту и, следовательно, экономические убытки. Помимо этого, изучение вопроса влияния среды и ситуации на игрока способно помочь сконструировать средства виртуального тренинга как для профессионально заинтересованных лиц, так и для широкой публики. Для разработки оптимальной методики воздействия на эмоции игрока в игровой среде необходимо провести ряд экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Schell J. The Art of Game Design: A Book of Lenses // Elsevier Inc. — Burlington, USA, 2008. — 518 p.
2. Bosse T., Gerritsen C., de Man J. Inducing Anxiety through Video Material // Communications in Computer and Information Science. — 2014. — Volume 434, pp 301–306.
3. Estupiñán S., Rebelo F., Noriega P. Can Virtual Reality Increase Emotional Responses (Arousal and Valence)? A Pilot Study // Design, User Experience, and Usability. User Experience Design for Diverse Interaction Platforms and Environments. Lecture Notes in Computer Science. — 2014. — Volume 8518, pp 541–549.
4. Cusveller J., Gerritsen C., de Man J. Evoking and Measuring Arousal in Game Settings // Games for Training, Education, Health and Sports. Lecture Notes in Computer Science. — 2014. — Volume 8395, pp 165–174.
5. Zhao H., Zhang J.J., McDougall S. Emotion-Driven Interactive Digital Storytelling // Entertainment Computing — ICEC 2011. Lecture Notes in Computer Science. — 2011. — Volume 6972, pp 22–27.
6. Fiori M., Lintas A., Mesrobian S. Effect of Emotion and Personality on Deviation from Purely Rational Decision-Making // Decision Making and Imperfection. Studies in Computational Intelligence. — 2013. — Volume 474, pp 129–161.

Сведения об авторах

Никифоров Николай Владимирович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность:

Электронная почта: allottho@gmail.com

ВРЕМЕННАЯ ТИПОГРАФИКА КАК НОВЫЙ ВИД ДИЗАЙНА. СТАНОВЛЕНИЕ ТЕРМИНОЛОГИИ

Аннотация. В данной работе временная типографика рассматривается как отдельное направление в дизайне. Проблема состоит в том, что ключевые термины описывают абсолютно различные явления одинаковыми словами. В статье дается определение этого нового вида типографики. Описана его специфика и отличие от традиционных видов. Определяется кинетическая типографика как гибрид типографики и цифровой анимации, а временная описывается как соединение типографики и других парадигм, которые не могут считаться потомками статической типографики.

Ключевые слова: Временная типографика, кинетическая типографика, динамическая типографика, голографическая поэзия.

С развитием технологий дизайн, основанный на движущемся тексте, приобретает новые формы. Разнообразие вариантов использования движущихся на экране букв приводит к необходимости осмысления этого процесса. Работ на русском языке, посвященных этой теме, не существует. Исследования на английском языке находятся в процессе появления. Вопрос о терминологии важен, потому что он может обозначить, чем новый вид типографики принципиально отличается от традиционных форм.

Ведущим специалистом в области осмысления феномена временной типографики является профессор британского Университета Хартфордшира Барбара Брауни. Она считает, что «кинетическая типографика возникла на стыке двух различных направлений как гибрид типографики и цифровой анимации. Учения о типографике берут за основу фиксированную идентичность напечатанного символа, тогда как главной особенностью цифровой анимации является кинетизм, приводящий к трансформации. Она приходит к выводу, что «Возможно, по этой причине исследования кинетической типографики не представляют адекватное объяснение о типографических образах, которые трансформируют и изменяют свою идентичность. Тексты о временной типографике предлагают тщательный анализ ее движения или покадрового изменения в течение времени. Но исследования не включают в себя примеры, в которых изобразительные объекты трансформируются в цифры, или в шрифтовую анимацию».

Брауни вводит в научный оборот термин временная типографика и объясняет в чем его отличие от других форм. Анализируя феномен, можно прийти к выводу, что «Временная типографика разделяется на несколько категорий «поведения» шрифта». «Последовательное представление» демонстрирует статическая типографика, она связана с определенным временным промежутком. «Кинетическая или динамическая типографика, приводит к тому, что буквы приобретают динамику (они анимированы, находятся в движении или изменяют свою форму)».

Но среди массы произведений, сделанных с использованием временной типографики, есть артефакты, которые не вписываются в устоявшуюся терминологию. В них появляются формы, которые только временно являются типографическими, и в какой-то момент они могут трансформироваться во что-то совершенно иное, тем самым избегая неподвижности, которая присуща напечатанным символам. Брауни приводит примеры работ, в которых трансформации, происходящие со словом, намеренно лишают текст смысла, или они обретают значение товарного знака, или изображение слова превращается в изображение объекта (воздушных шариков или грозовых молний) [1, 2, 3]. В телевизионной заставке канала 4 вывески с улиц Токио под определенным углом зрения выстраиваются в цифру 4,

что обозначает номер канала (рис. 1). Брауни утверждает, «для приведенных примеров характерно, что идентичность форм со временем меняется. Слово, которое существует вначале как набор букв, в последующих кадрах превращается в абстрактное изображение. Форма может трансформироваться в несколько образов с течением времени. Этот вид поведения отличается от «движения» (изменение в пространстве не влияет на сущность или форму символа), и от других форм «кинетизма». В исследованиях, посвященных временной типографике, существующей на экране, нет адекватной терминологии для описания типографики, меняющейся в такой степени, что она превращается в новые образы. Эти формы, гибриды типографики и других парадигм, не могут считаться потомками статической типографики».

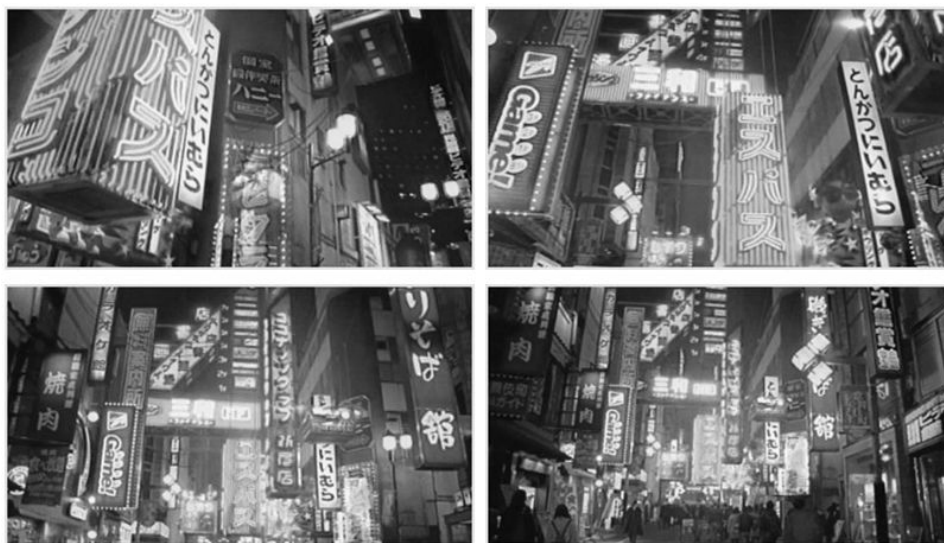


Рис.1. MPC, Токио, рекламный ролик канала Channel 4, 2006

Брауни полемизирует с Вулман и Беллатони, авторами книги «Шрифт в движении». «Вулман и Беллатони описали термин «движущийся текст» как «текст, который движется, трансформируется, мутирует, дублируется, размывается и взаимодействует». Примеры классифицируются в соответствии со средой, в которой они находятся, а не в соответствии с поведением, которое они демонстрируют, и, как следствие, эти примеры недостаточно отображают разнообразие поведений, которые существуют во временной типографике. Их примеры в основном базируются на движении, а современная типографика на экране, либо не содержит движения, либо создается с помощью более сложных трансформаций или форм кинетизма» [4].

Теоретическое осмысление феномена временной типографики находится в процессе осмысления. Брауни утверждает: «Многие теоретики спорят по поводу использования ключевых терминов. Зачастую, люди описывают абсолютно различные явления одинаковыми терминами. Например, определения «временная типографика», «кинетическая типографика» и «динамическая типографика» широко используются для описания движущихся слов на экране, которые перемещаются или изменяются во времени. Вонг полагает, что термин «временная типографика» относится к любому тексту, не зависимо от того, пассивный ли текст, или интерактивный (который динамично изменяется во временном промежутке). Шпехт и Хиллнер оба описывают «динамическую типографику», но если Шпехт подразумевает под этим термином любой движущийся шрифт, то Хиллнер его использует только в отношении интерактивного шрифта. Ли, Форлизи и Хадсон описывают типографику, которая одинаково существует во временном и пространственном измерениях,

как «кинетическую типографику». Хиллнер использует термин «кинетическая» для описания слова, которое движется или имеет движущиеся части, но его определение слишком строго, чтобы включить «другие временные изменения». В дальнейшем Хиллнер предлагает термин «виртуальная типографика» для использования в определении «текстовых элементов», которые «изменяют свою позицию по отношению друг к другу».

Брауни находит отправную точку, с которой начинаются нестыковки в теории. Она считает, что ошибаются те исследователи, которые видят истоки временной типографики в истории развития статической типографики.

«Временная типографика часто представляется как прямой потомок статической типографики, так же, как компьютерный экран часто представлен в качестве следующего шага эволюции от печатной страницы. В печати буква остается фиксированной единицей, и тексты, в которых временная типографика представляется исключительно как прогресс в области статичной типографики, сохраняют устаревшее предположение, что буква — это фиксированный статичный объект». Брауни согласна с исследователями Вонг и Хиллнер, которые «утверждают, что временная типографика должна рассматриваться как отдельное направление».

Чтобы понять закономерности, по которым трансформируется шрифт, Барбара Брауни предлагает «заглянуть за пределы цифровой анимации и типографики, обратиться к истокам» которые она находит в голографической поэзии Эдуардо Каца [5]. В произведениях Каца «форма, освобождающаяся от «постоянства значения», трансформируется между лингвистическими и изобразительными областями». Анализируя его работы можно понять, «чем трансформация отличается от обычного движения».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Dan Waber. Strings [Internet] / Dan Waber. 2005. URL: http://collection.eliterature.org/1/works/waber_strings.html. (дата обращения: 22.11.2014).
2. MPC's Channel 4 Ident [Internet]. 2007. URL: <http://www.youtube.com/watch?v=R94X1M7r1SU>. (дата обращения: 22.11.2014).
3. BB/Saunders series of idents for Five [Internet] / 2012. URL: <https://vimeo.com/29365547>. (дата обращения: 22.11.2014).
4. Brownie, B. Fluid Characters in Temporal Typography [Internet] / Barbara Brownie // Fusion-journal. 2012. URL: <http://www.fusion-journal.com/issue/001-fusion/fluid-characters-in-temporal-typography/>. (дата обращения: 22.11.2014).
5. Кас, Е. Andromeda souvenir [Internet] / Eduardo Кас. 1990. URL: <http://www.ekac.org/allholopems.html>. (дата обращения: 22.11.2014).

Сведения об авторах

Беляева Мария Владимировна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: funnycat2009@gmail.com

Диодорова Татьяна Игоревна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: доцент
Электронная почта: diodorovatatyana@mail.ru

ОНЛАЙН ПЛАКАТ КАК МЕТОД ОБУЧЕНИЯ

Аннотация: Онлайн-плакат возник как эффективный метод обучения. Эта форма обучения дает студенту шанс изучить новые материалы, а преподавателю проанализировать мыслительный процесс. Глоггин – это инструмент, возникший в онлайн мире. Он обладает потенциалом вовлекать студентов и влияет на их способ изложения информации. Виртуальный плакат есть гибкая платформа, дающая новые возможности для овладения новыми медиа. Эффективность онлайн-плаката зависит от профессиональности подхода в дизайне.

Ключевые слова: Онлайн-плакат, визуальная грамотность, сочетание текста и медиа.

В связи с появлением виртуального метода разработки плакатов важно осмыслить новую специфику его создания. Плакат был одной из самых ранних форм рекламы и стал развиваться в качестве среды для визуальной коммуникации в начале XIX века. Он оказал влияние на развитие книгопечатания, потому что был предназначен для чтения на расстоянии. Предполагалось производство плакатов большого размера. Плакат быстро распространился по всему миру, став одним из основных продуктов графического дизайна и торговли [1].

Плакат использовался в самых разных целях: для продвижения различных политических партий, для рекрутинга, для рекламы продуктов и продвижения каких-либо идей.

Художники международного стиля считали, что плакат является наиболее эффективным инструментом для коммуникации. Их вкладом в область дизайна является попытка усовершенствовать уже существующий плакат. Постеры всех видов и форм по-прежнему популярны, несмотря на рост интернет пространства [2, 3].

Педагоги считают эффективным метод преподавания, при котором ученики самостоятельно создают постеры. Постерразмещенный в общественном пространстве – отличный способ обмена информацией. В аудитории, где студенты исследуют различные подходы к теме, метод создания постеров выполняет две задачи – выявляет, как индивид понимает тему и какие подходы в развитии вопроса он предлагает. В последнее время наиболее эффективным методом обучения является создание онлайн-плакатов. Это связано с развитием технологий и появлением планшетов.

Онлайн-плакат воспитывает визуальную грамотность, он построен на сочетании текста и медиа. Особая его ценность в том, что это опыт самостоятельной работы для студента. Создавая плакат, студент изучает новые материалы, а преподаватель может проанализировать мыслительный процесс студента. Использование материалов из средств массовой информации дополняет существующую идею и является основой для большинства проектов по созданию плакатов, как в интернете так вне его пространства.

У плакатов на бумажных носителях существует ряд недостатков: их публикация связана с определенными материальными затратами, они недолговечны, информацию невозможно изменить, она ограничена текстом и изображениями. Большинство плакатов обречено стать мусором.

Грамотность возникает как результат эволюции культурных и коммуникативных практик в определенных группах людей. Грамотность меняется как следствие изменений в обществе или технологиях. Поскольку технологии увеличивают интенсивность и сложность интеллектуальной среды, в двадцать первом веке требуется, чтобы грамотный человек обладал широким спектром возможностей и компетенций. Эти навыки – от чтения интернет-

газет до участия в виртуальных классах – должны быть множественными, динамичными и податливыми.

Что такое Glogging? Это термин, который составлен из слов: Graphics и Weblog, он является еще одним инструментом, возникшим в онлайн мире (рис. 1, 2). Он обладает потенциалом вовлекать студентов и влияет на их способ изложения информации. Результат работы может быть доступен для широкой аудитории в том числе и в цифровом пространстве [4].

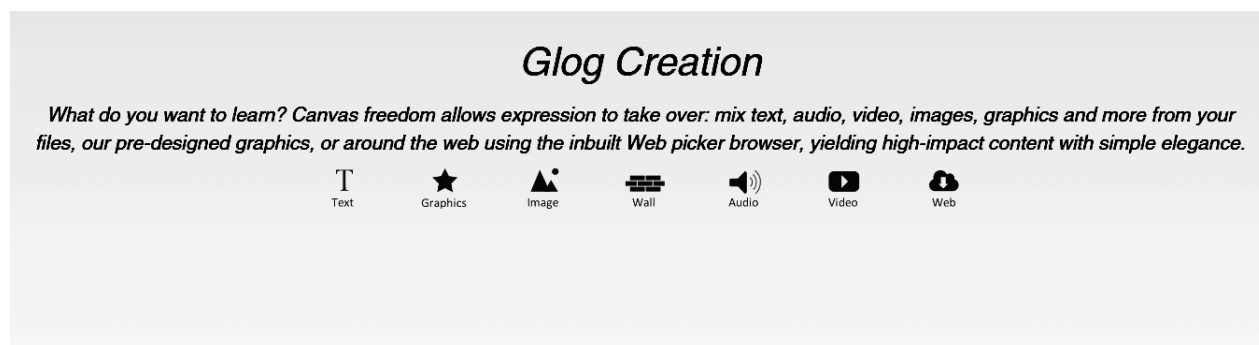


Рис. 1. Изображение учебного портала

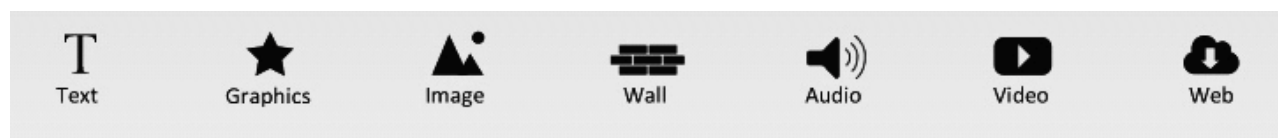


Рис. 2. Увеличенное изображение рабочих иконок портала

Виртуальный плакат есть гибкая платформа, на которой студенты могут использовать и микшировать практически любую форму СМИ для реализации проекта на онлайн-холсте. В итоге, вместе с обобщенным пониманием предмета обсуждения и рассуждением на данную тему, студент может поместить видео, звуковые файлы, изображения и многое другое, поскольку предметы, в онлайн-плакате можно с легкостью перемещать или заменять посредством простого щелчка кнопкой мыши.

При создании цифровых плакатов трудности неизбежны. Возможности, которые дают технологии не всегда приводят к нужному эффекту.

Самым успешным является плакат, где дизайн использован осознанно. Визуальная грамотность является одним из самых важных навыков, которым сложно овладеть. Плакат, существующий в материальном мире не возможен без профессионального дизайна. Такой плакат всегда продуман от начала до получения конечного результата.

Процесс создания плаката все время ускоряется, удаляется большинство препятствий, но самым важным становится вопрос визуальной культуры. Эффективность онлайн-плаката возможна в том случае, если его дизайн основан на принципах проектирования, имеющих глубокую традицию в искусстве плаката. Идея, что вы можете это сделать, совсем не означает, что вы сможете это сделать [5].

ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://www.designishistory.com/1850/posters/>
2. <http://www.internationalposter.com/>
3. Martijn F. Le Coultre, A Century of Posters Paperback – September 1, 2002
4. <http://edu.glogster.com/>
5. Kevin Hodgson, article, <http://www.learnnc.org/lp/pages/6542>

Сведения об авторах

Шишкина Александра Игоревна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: sanek_femme@mail.ru

Диодорова Татьяна Игоревна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: доцент
Электронная почта: diodorovatatyana@mail.ru

УДК 7.02

А.С. Клыгач, П.А. Орлов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ВНИМАНИЯ В СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИИ

Аннотация: были записаны зрительные фиксации глаз испытуемых, смотревших видеоматериал длиной 13 минут в: моноизображении без очков, моноизображении и с очками и стереоизображения и с очками. Выяснилось, что кластерные модели моноизображения без очков схожи, а кластерные модели моно- и стереоизображения различаются не только количеством кластеров, но и положением их на монтажном кадре.

Ключевые слова: ай-трекер, стерео, моно, изображение, паттерн, анализ.

Целью работы является сравнение кластерных моделей зрительных фиксаций в стерео и моно видео кадрах.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить такие задачи:

- Изучить технологию показа стереоизображения;
- Проанализировать примеры использования стереоизображения в мире;
- Изучить направления и статьи по стереоизображению с eye-tracker-ом;
- Поставить гипотезу;
- Настроить оборудование и подготовить стимульный материал;
- Набрать испытуемых и провести тестирование;
- Собрать и проанализировать данные;
- Основываясь на результатах эксперимента, сделать выводы.

На первом этапе была изучена технология показа и создания стереоизображения. Также были проанализированы отрасли, где эта технология используется.

Следующим этапом был поиск и изучение статей с исследованием стереоизображения с помощью ай-трекера [1, 3]. В процессе анализа по этой тематике выяснилось, что таких исследований и экспериментов крайне мало.

На основе изученного материала была поставлена гипотеза: кластерные модели зрительных фиксаций стерео и моно видеокдра различаются между собой.

В распоряжении был ай-трекер SMired250, стереопроектор от компании «Christie», модель «MirageHD3» с затворными очками и два компьютера. к одному компьютеру был подключен ай-трекер, к другому стереопроектор, также прилагалось программное обеспечение к ай-трекеру: iViewX, ExperimentCenter 3, BeGaze 3. Были сняты размеры

экрана для проекции видео для калибровки устройства и установлены в программе iViewX. Частота считывания захвата движения глаз установлена в 60 Hz.

Стимульный материал взят из фильма «Аватар». Общая длина видео составляла 13 минут 10 секунд. Разрешение изображения было 1280*720 для каждого глаза. Видеопара вертикальная.

Всего в эксперименте приняли участие 27 человек (возраст испытуемых 18-43 года). Участники эксперимента были разделены на три группы, смотревшие стимульный материал в: моноизображении и без очков, моноизображении и в очках (эта группа испытуемых нужна для определения влияния очков на проверку нашей гипотезы или нет), стереоизображении и в очках. Испытуемый мог принимать участие в эксперименте только в одной из групп.

Из полученных данных был взят один монтажный кадр одинаковый для всех испытуемых. После этого были обработаны и созданы три файла с координатами фиксаций для каждой группы. С помощью языка программирования «R» в «R Studio» и библиотеки «Mclust» были получены кластерные модели трех групп[2].



Рис. 1. Кластерный модель испытуемых, смотревших стимульный материал в моноизображении и без очков



Рис. 2. Кластерный анализ испытуемых, смотревших стимульный материал в моноизображении с очками

Характер распределения фиксаций первых двух картинок визуально схож, а, следовательно, можно предположить, что фактор очков никак не влияет на исследование (рис. 1 и 2). Если посмотреть на моно и стереоизображения, то они отличаются между собой (рис. 1 и 3). Во-первых, в отличие от моноизображения, в стереоизображении три кластера, а не два. Более того, центры двух кластеров из трех расположены в нижней части кадра, чем у моноизображения (центры обоих кластеров расположены в верхней части кадра).



Рис. 3. Кластерная модель испытуемых, смотревших стимульный материал в стереоизображении и с очками

Таким образом было подтверждено, что кластерные модели зрительных фиксаций стерео и моно видеокadra различаются между собой. Следующие этапы исследования: на существующих кластерных моделях сделать проверку качества, построить кластерные модели с большим количеством данных (включая саккады, время и др.), сравнить разные технологии показа стереоизображения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Jukka Häkkinen. What do people look at when they watch stereoscopic movies?/ Jukka Häkkinen [идр.] http://www.tobii.com/Global/Analysis/Trajectory/EyeTrackAwards/jukka_hakkinen.pdf, 2010 г.
2. А.Б. Шипунов. Анализ данных с R (II)/ А.Б. Шипунов, А.И. Коробейников, Е.М. Балдин <http://www.inp.nsk.su/~baldin/DataAnalysis/R/R-07-datamining.pdf>
3. В.А. Барабанщиков. Методы регистрации движений глаз: теория и практика. http://www.psyedu.ru/files/articles/2304/pdf_version.pdf, 2010 г.

Сведения об авторах

Клыгач Александр Сергеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: программист 1-ой категории
Электронная почта: voolf00@yandex.ru

Орлов Павел Анатольевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

ТЕХНОЛОГИЯ БЫСТРОГО ОБНОВЛЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ ЗАГРУЖЕННОСТИ ВЕБ ПРИЛОЖЕНИЙ

Аннотация. Архитектура современных компьютерных приложений и дизайн программных интерфейсов в крупных ИТ компаниях строятся по принципу «облачных» технологий, функционирующих в условиях высокой загрузки веб серверов со стороны возрастающего количества клиентских запросов. Непрерывное развитие компьютерных технологий диктует необходимость постоянно совершенствовать дизайн веб приложений, корректировать и добавлять новую функциональность без ущерба производительности системы в целом. В данной работе описан относительно простой метод обновления ПО на неограниченном количестве кластеров без прерывания основного цикла сервисного обслуживания.

Ключевые слова: облачные технологии, компьютерные приложения, веб серверы, непрерывный цикл обслуживания, обновление программного интерфейса.

Массовая установка обновлений на большом количестве кластеров представляет собой актуальную проблему, поскольку требует остановки веб сервисов на определенное время, что бывает недопустимо в системах с непрерывным циклом обслуживания 24/7. Дополнительное требование состоит в том, что все образы установленного ПО внутри кластера должны быть одинаковы и обновляться на новую версию на всех серверах одновременно.

Предложенный метод быстрого массового обновления ПО апробирован и принят к использованию в телекоммуникационной компании RingCentral (США) [1], в которой эксплуатируется более 10000 серверов, в основном виртуальных, расположенных в 8 центрах обработки данных США, Европы и Азии. Управление всей распределенной «облачной» инфраструктурой осуществляется удаленно по защищенным каналам сети Интернет при помощи автоматизированных средств собственной разработки [2] и адаптированных программных продуктов внешних поставщиков, таких как система мониторинга Zabbix [3], система автоматической установки ПО Puppet [4].

Все изменения архитектуры и ПО планируются заранее и устанавливаются в период наименьшей загрузки и низкой пользовательской активности. Типовая процедура обновления кластеров включает следующие фазы (рис. 1):

Phase 0. Начальное состояние перед началом обновления.

Phase 1. Исключение из маршрутизации первого сервера и его обновление.

Phase 2. Отключение остальных серверов и тестирование первого.

Phase 3. Обновление и подключение остальных серверов.

По новой технологии используется резервный кластер, на котором при отключенной внешней нагрузке заранее устанавливается образ нового ПО:

Phase 0. Начальное состояние перед началом обновления.

Phase 1. Обновление резервного кластера целиком и его тестирование.

Phase 2. Переключение на новый кластер, в случае ошибок быстрый откат.

Phase 3. Спустя несколько дней обновление основного кластера.

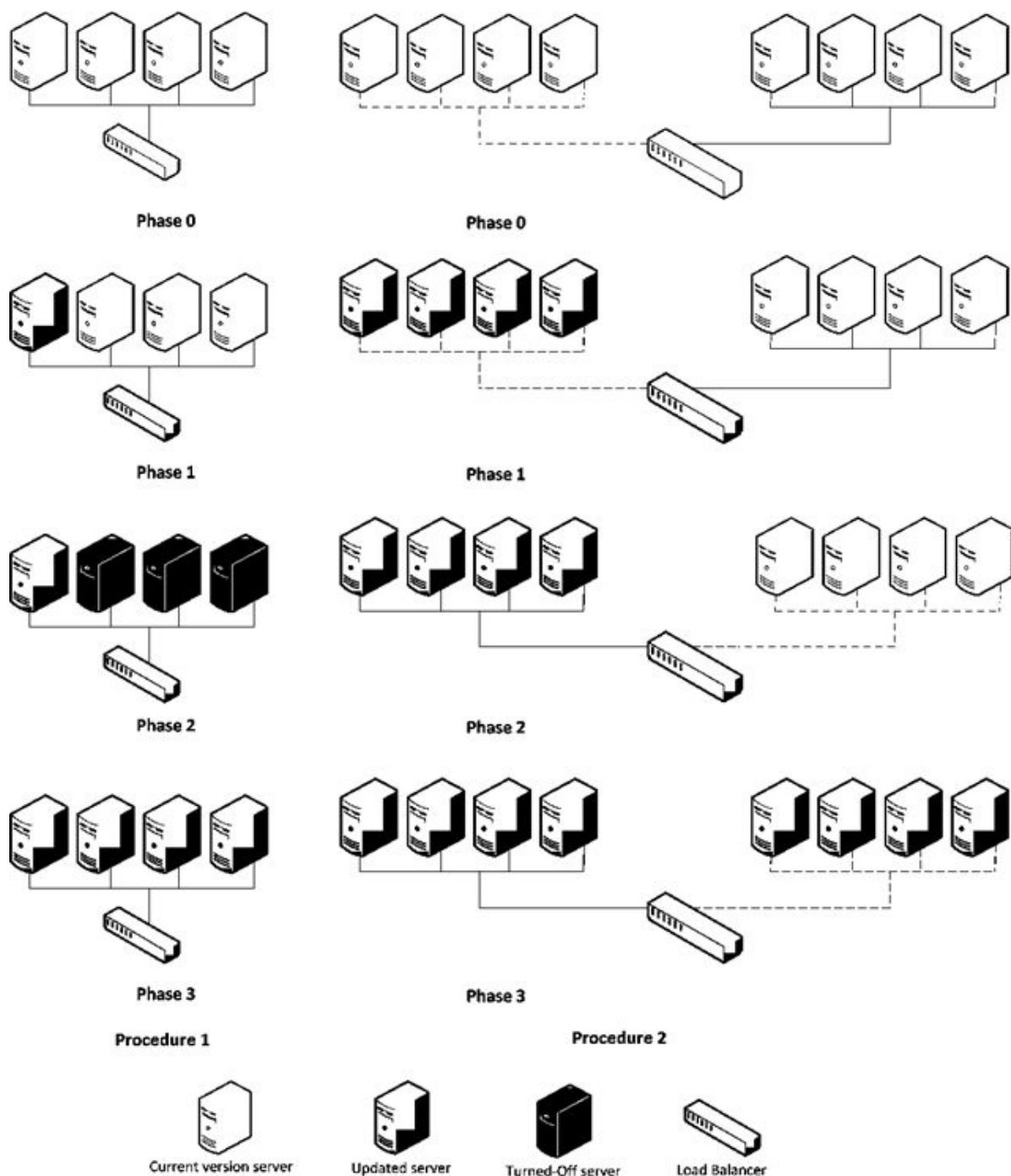


Рис. 1. Типовое обновление (Procedure 1) и новое с резервным кластером (Procedure2)

Размер резервного кластера определяется в каждом конкретном случае практической реализации. В компании RingCentral это достигает 200 серверов, например, для маршрутизаторов популярных в США факс сообщений.

Преимуществами новой технологии являются гибкость и простота практической реализации, бесперебойность веб сервисов в период технического обслуживания. Недостатком является некоторая избыточность компьютерного оборудования, арендуемого в центре обработки данных. Однако это не 100% дублирование, т.к. один и тот же резервный кластер может быть использован для обновления разных компонентов и веб сервисов. В компании RingCentral таких компонентов более 90, и их обновление происходит несколько

раз в квартал. По новой технологии ежедневное количество установок ПО способно достигать 1000 серверов в зависимости от сложности обновления и объема образа ПО, что безусловно эффективно для любой крупной IT компании.

ЛИТЕРАТУРА:

1. RingCentral, Inc. <http://www.ringcentral.com/>
2. Efimov V., Mescheryakov S., Shchemelinin D. Adaptive Control of Cloud Computing Resources in the Internet Telecommunication Multiservice System. The 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems, St. Petersburg, 2014. <http://www.icumt.info/2014/>
3. Mescheryakov S., Shchemelinin D. Analytical Overview of Zabbix International Conference 2013. St. Petersburg State Polytechnic University Journal, 2014, V. 1(188). http://en.ntv.spbstu.ru/telecom/article/T1.188.2014_12/
4. Mescheryakov S., Shchemelinin D. Big Software Deployments in a Big Enterprise Environment. The 2nd ASE Intern. Conf. on Big Data Science and Comp., Stanford University, USA, 2014. <http://www.ase360.org/handle/123456789/135>

Сведения об авторах

Щемелинин Дмитрий Александрович
Санкт-Петербургский политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н.
Должность: соискатель
Электронная почта: dshchmel@gmail.com

Мещеряков Сергей Владимирович
Санкт-Петербургский политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., доц.
Должность: профессор
Электронная почта: serg-phd@mail.ru

УДК 7.048

А.С. Зенина

ЯЗЫЧЕСКАЯ СИМВОЛИКА СОВРЕМЕННОГО ОРНАМЕНТА

Аннотация. Языческая культура становится вдохновением для современных рукодельниц и ремесленников. Создаются прекрасные изделия, сувениры и украшения с древней символикой. Солярные знаки, ромбы, деревья, птицы и другие условные мотивы не забылись с исчезновением язычества, а гармонизировались в современном мире, окружают нас и не дают забыть о далеких предках-славянах.

Ключевые слова: орнамент, символика, знаковые системы, славянская культура, язычество.

Изобразительное искусство России завораживает и поражает воображение. Оно создано за счет наложения отпечатков всех пережитых страной событий и перемен. Но где, в какой области искусства, лучше всего слышны эти отголоски былых времен? Считается, что декоративный орнамент является настоящим зеркалом своего народа, копилкой знаний и опыта. Так можно ли в современном орнаменте увидеть черты самой древней русской культуры – славянского язычества?

Орнамент той эпохи – одно из самых самобытных явлений всего нашего народа. Вообще «язычество» в переводе означает «народная вера». И искусство его было глубоко символичным, бережным. Потому что больше всего крестьяне боялись оказаться под влиянием темных сил, духов, бесов. И везде, в любом деле старались призвать на помощь своих богов. Помогали им в этом особенные сакральные знаки, которые были нескольких видов. Самыми древними из них были символы, связанные со стихиями природы: огнем, землей и водой.

Знаком небесного огня являлась так называемая свастика или солярный знак (рис. 1) – древнейший и мощнейший символ Солнца, тепла и благодати.



Рис. 1. Солярный знак



Рис. 2. Знак плодородной земли

Другим сильным почитаемым символом, самым распространенным в вышивках, является знак плодородной земли, земли-кормилицы (рис. 2). Изображался он чаще всего в виде ромба, разделенного на четыре части и с точками внутри, что означало засеянное поле. Символ воды, так называемые «хляби небесные» – красивый, имеющий много вариаций знак, которым чаще всего украшали дом, надеясь отвести от него беду, связанную со стихией.

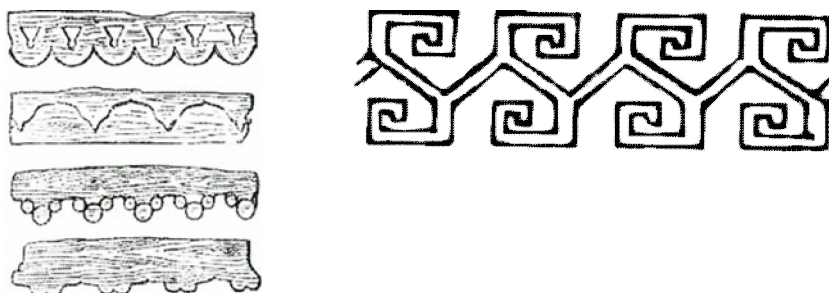


Рис. 3

Другим культовым знаком, имеющим несколько толкований, является «мировое древо» [1] (рис. 4). Это символ мироустройства (единение мира богов – Прави, мира земного – Яви и мира подземного – Нави). Также этот знак связывают с образом Матери-Земли и с волшебной силой природы в целом.

Но те символы, о которых сказано выше, далеко не единственные. Известно очень много комбинаций основных знаков, образующих новые. А также символы всяческих благополучий, такие как: ложка, утка, топор, конь и множество других – все они и по сей день не потеряли свой смысл.

Окруженный магической символикой, древний славянин уже не мог представить своего существования без нее. Орнамент крепко слился с сознанием людей и их образом жизни. И, естественно, объявление христианства на Руси не могло вычеркнуть такую важную часть жизни людей. Языческая символика стала запретной, но она не исчезла, а трансформировалась, слилась с новым миром [2].

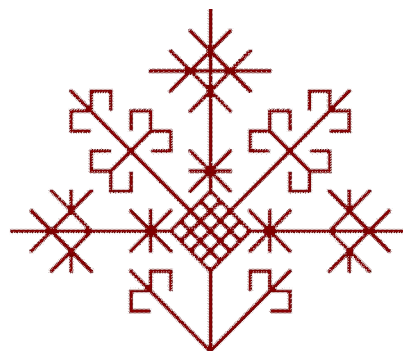


Рис. 4. Знак «мировое дерево»

И если сегодня мы неосознанно говорим «чур меня» и плюем три раза через левое плечо (эти небольшие обряды являются отголосками языческих), то также неосознанно мы стремимся окружить себя тем, что веками защищало наших предков – символами.

Это подсознательное стремление можно увидеть во многом – в декоративно-прикладном творчестве, в украшениях, татуировке, в декорировании одежды и предметов быта, и даже в современной компьютерной графике, логотипах и эмблемах.

Такие модные сейчас свитера с узорами. Многие думают, что эти узоры имеют скандинавское происхождение, но ведь в свое время и скандинавы были приверженцами языческой веры, очень близкой к славянской. Мы легко можем заметить в этих красочных узорах знакомые орнаменты – ромбы, геометричные цветы, точки и их переплетения.

Языческие мотивы порой встречаются и в любом другом декоре одежды и даже обуви.



Рис. 5.

Эти примеры лишь малейшая часть того, что можно увидеть на людях, в магазинах, в собственном шкафу. Но мы настолько привыкли жить рядом с орнаментом, что даже разучились его замечать. А ведь даже в современной архитектуре уже знакомые нам языческие мотивы выглядят на удивление органично. Языческая культура становится вдохновением для современных рукодельниц и ремесленников. Создаются прекрасные изделия, сувениры и украшения с древней символикой. И даже в таких бытовых вещах, как пуговицы или узор постельного белья нас настойчиво сопровождает, например, солярный

знак – как самый сильный и древний символ, он оказался незабвенным в веках. Если присмотреться, этот самый солярный знак является основой и для очень известных эмблем марок автомобилей: Mercedes и BMW. Круг, поделенный на 3, 4 или 6 секторов – это самое древнее изображение символа Солнца.

Вспомним фирменный стиль прошедшей недавно Олимпиады 2014 года в Сочи. Он состоит из множества цветных ромбов, внутри которых при подробном рассмотрении можно найти и другие элементы языческого орнамента, что не удивляет нас, ведь единение всей России всех времен – такова была идея Олимпиады.

Наша страна действительно огромна, практически необъятна, как в пространственном измерении, так и во временном. Но несколько внимательных взглядов вокруг – и мы видим, что связь времен не потеряна. Мы видим, что нас окружает та же магическая символика, что была вокруг человека тысячелетия назад. И пусть мы уже не придаем этим знакам сакрального значения, но подсознательно чувствуем от них защиту и благо. Поэтому солярные знаки, ромбы, деревья, птицы и другие условные мотивы не забылись с исчезновением язычества, а гармонизировались в современном мире, окружают нас и не дают забыть о далеких предках-славянах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Буткевич, Л.М. История орнамента: Учебное пособие для вузов / Л.М. Буткевич. М.: Владос, 2008. 267 с.
2. Лоренц, Н.Ф. Орнамент всех времен и стилей [альбом] / авт. текста Н.Ф. Лоренц; сост. В. Шевченко. М.: Белый город, 2007. 719 с.

Сведения об авторах

Зенина Анастасия Сергеевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: yaroni@mail.ru

УДК: 658.512.23

В.В. Золина, Ю.Т. Хрузин

КУХНЯ - ТРАНСФОРМЕР ДЛЯ МАЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Аннотация. В докладе проведен анализ аналогов кухонного оборудования, рабочих местах и мебели. В результате исследования выявлены и сформированы общие тенденции в их формировании: стремление к уменьшению габаритов, трансформируемость, компактные вертикальные конструкции и тп. Выявлена проблема в необходимости малогабаритных кухонь. Сформированы основные задачи для разработки новой модели кухни малых размеров, при которых она будет удобной, функциональной, вместительной, включающей в себя все необходимые устройства.

Ключевые слова. кухня, человек, рабочее место (РМ), модульность, трансформируемость, складированность, эргономичность, вертикальные конструкции.

Для многих семей кухня это центр дома, где проводится большая часть времени, здесь готовят и принимают пищу, а так же просто собираются и общаются с друзьями. Не у каждого человека есть возможность установить в своей квартире или доме большую кухню. Существует проблема в жилье для потребителей эконом - класса, в квартирах с небольшой площадью, отведенной для кухни, где из-за стесненных условий нет возможности

использовать ее как гостиную. Проблема выявлена и она актуальна. Таким образом цель разработки - создать удобную кухню для стесненных условий.

Несмотря на развивающийся технический прогресс, работа на кухне остается ручным трудом. При разработке кухни следует уделить внимание технологическому процессу подготовки и приготовления пищи. В любой кухне можно выделить три основные зоны активности, соответствующие видам деятельности при приготовлении пищи: хранение (шкафы и холодильник), обработка продуктов (мойка и разделочная поверхность) и приготовление пищи (плита и духовой шкаф). Расположение центров активности должно отражать естественную последовательность действий при приготовлении блюд: хранение — обработка — приготовление. При стремлении увеличения (расширения) этих зон в горизонтальном направлении, человек может набегать по кухне несколько километров, постоянно возвращаясь к рабочему месту (зона подготовки продуктов - рабочая поверхность), наклоняясь и приседая. Сокращая расстояние между центрами активности на кухне, можно снизить затраты времени и сэкономить силы пользователя. Важно не переусердствовать — теснота и скованность резко повышают утомляемость.

Кухню можно отнести к технологическому оборудованию, предназначенному для приготовления и приема пищи и рассматривать ее как рабочее место для приготовления пищи (как систему человек - машина (Ч - М)). Кухня является самым распространенным "рабочим местом". Такой взгляд позволяет осуществить подбор и анализ аналогов рабочих мест и рассмотреть общие тенденции в их формировании. Например: в автомобильной и медицинской технике, в технологическом сварочно-монтажном оборудовании, в офисном оборудовании и т.п. (Рис. 1)



Рис. 1. Рабочее место в разных сферах деятельности человека

Анализ рабочих мест в перечисленных сферах деятельности человека позволяет нам сделать выводы о тенденциях в организации рабочих мест:

1. Стремление к уменьшению габаритов (особенно занимаемой площади при аренде), повышение механизации в управлении и обслуживании.
2. Стремление к установлению коротких связей в системе «Ч-М» при управлении и обслуживании объекта. Размеры РМ определяются размерами человека-оператора.
3. Формообразование изделия подчинено его функциональным особенностям.

Кухонный гарнитур, или просто кухня, как все привыкли её называть, относится к предметам интерьера, а значит кухню можно рассматривать как мебель для дома. Анализируя разработки в сфере мебельного дизайна, можно выявить следующие тенденции:

модульность построения, эргономичность, трансформируемость, складировуемость, и вертикальное развитие конструкций. (Рис. 2)

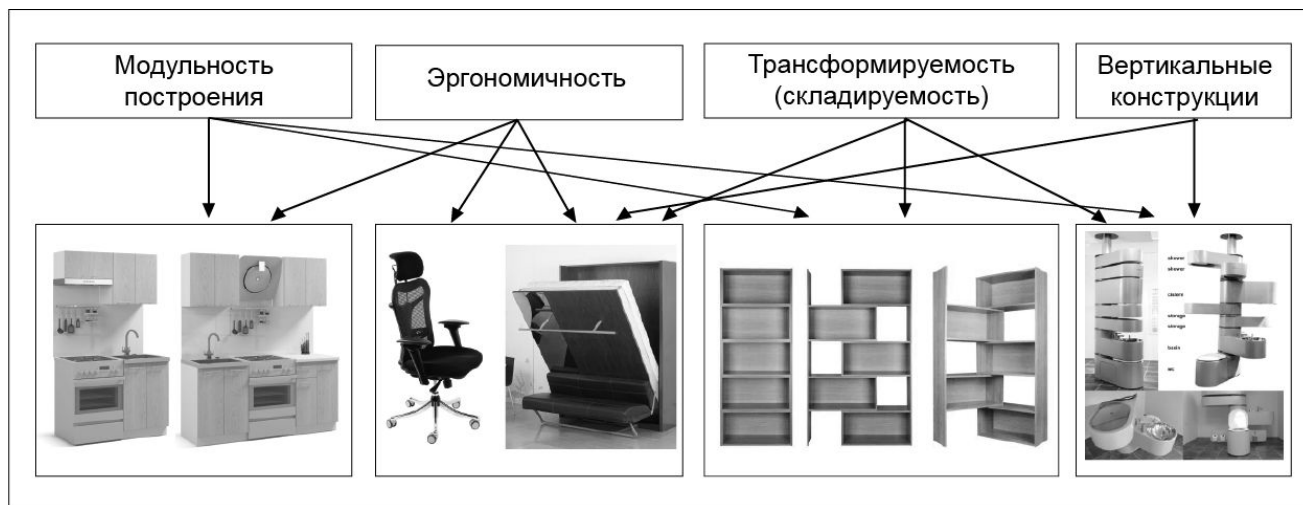


Рис. 2. Тенденции в мебельном дизайне

Анализ мебели дает обобщённые выводы о тенденциях их формирования:

1. Стремление к уменьшению габаритов при повышении механизации в управление и обслуживании;
2. В мебели выявлено общее стремление к трансформируемости;
3. Формообразование кухни подчинено выявленным тенденциям в её построение.

Стремление к компактным вертикальным конструкциям стало развиваться с середины XX века (шкафы-купе и другие мебельные конструкции). Оно отражает потребность уменьшения занимаемой площади (экономии пространства) и становится основой в развитии разрабатываемой кухни - трансформера.

Разработчики кухонного оборудования стремятся повысить его потребительские качества (повышение комфорта посредством расширения зон хранения, обработки и приготовления) увеличивая занимаемую площадь, что вступает в противоречие с потребностью широкого круга потребителей эконом класса в уменьшении занимаемого пространства. Противоречие можно разрешить путем учёта тенденций, выявленных в проведенном исследовании, а именно: обеспечением трансформируемости и повышением уровня эргономичности (короткие связи) посредством использования вертикально-компоновочных решений. (Рис. 3)

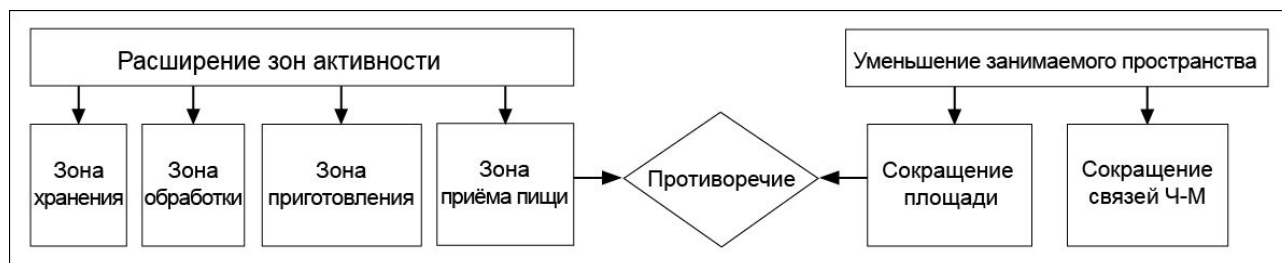


Рис. 3. Схема, раскрывающая противоречия в разработке кухни

Разрабатываемая кухня - трансформер будет сочетать в себе модульность современных кухонь и использование вертикального построения, тем самым экономя свободное пространство и площадь, а системы складировуемости и трансформации помогут сделать кухню удобной и функциональной (Рис. 4).

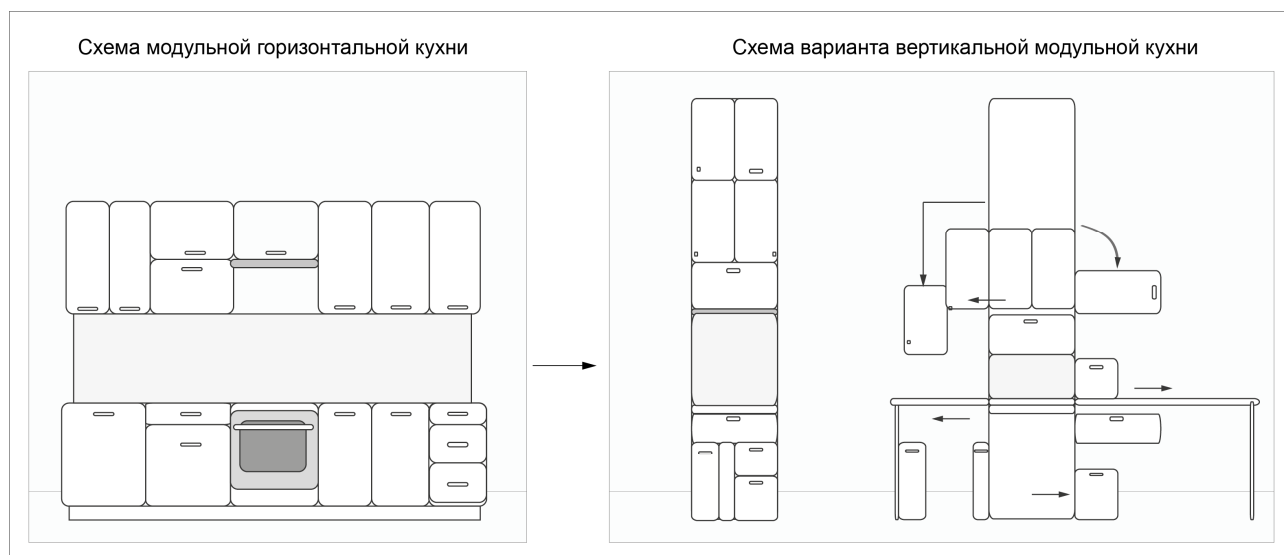


Рис. 4. Сравнительная схема компоновок модульных кухонь

Кухня будет включать в себя всё необходимое: рабочую поверхность, систему хранения, холодильник, варочную поверхность, мойку, микроволновую печь, а так же ёмкость для мусора.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аронов, В. Р., Концепции современного дизайна. - М.: Артпроект 2011.
2. Глазычев, В.Л., Дизайн как он есть. - М.: Европа 2011.
3. Морис, Р., Фундаментальные основы дизайна продукции. - М.: Cooking 2013.
4. Норман, Д. А., Дизайн промышленных товаров.– М.: Вильямс 2012.
5. Рунге В.Ф., Эргономика и оборудование интерьера. - М.: Архитектура-С 2006.

Сведения об авторах

Золина Валентина Валерьевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студентка магистратуры
Электронная почта: Zollenberg@mail.ru

Хрузин Юрий Тимофеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
Должность: доцент
Электронная почта: xguzin@yandex.ru

МОБИЛЬНОЕ КАФЕ

Аннотация. В докладе приведены результаты разработки мобильного двухэтажного кафе. Подробно рассмотрены интерьер и экстерьер, а также преимущества данного вида кафе перед стационарными аналогами.

Ключевые слова: мобильность, стационарность, компактность, эргономичность, интерьер, экстерьер.

Мобильное кафе в настоящее время приобретает все большую популярность по нескольким причинам:

1. Отсутствие арендных платежей, что в стационарной торговле является, пожалуй, самой большой статьёй расходов;

2. Возможность заказа мобильного кафе на пикник, на корпоративный отдых на природе. Создание уединенной атмосферы при обслуживании официантом;

3. В течение работы мобильного кафе, можно осуществлять шаговую доставку продуктов жителям района дислокации кафе. Продавец торгует, а водитель принимает заявки на доставку и разносит продукты клиентам;

4. Можно разворачивать торговлю, возле учебных учреждений, возле кинотеатров и театров в часы начала или окончания сеансов, во время городских торжеств на месте проведения праздника [6].

Мобильное кафе подходит для ведения бизнеса по следующим направлениям: продажа кофе и чая, продажа выпечки, тортов, десертов, различных хот догов, бутербродов, бургеров, сэндвичей, пирожков, пиццы. Будут так же востребованы полуфабрикаты, а так же салаты, закуски. Меню Мобильного кафе может ничуть не уступать меню стационарного кафе.

Цель - разработка интерьера и экстерьера передвижного кафе. К кафе данного типа были предъявлены следующие требования:

– кафе должно быть компактным, т.е. помещаться в габариты обычного междугороднего автобуса;

– кафе должно быть трансформируемым, быстро приводиться в состояние готовности к работе с момента прибытия на место работы;

– эргономичность и комфорт для обслуживающего персонала и любого клиента [1].

Проведен анализ аналогов и, исходя из вышестоящих требований, принято решение о создании двухэтажного мобильного кафе.[2]

Кафе в закрытом состоянии представляет собой обыкновенный двухэтажный автобус (рис. 1).

Для того, чтобы привести кафе в состояние, готовое к работе, необходимо поднять и закрепить барные стойки 1, расположенные вдоль правого и левого борта автобуса. Затем поднять защитный экран 2, закрывающий зону раздачи и витрины. Экран в открытом виде выполняет функцию навеса над зоной бара первого этажа. Предусмотрена возможность в сухое теплое время приподнимать крышу второго этажа 4 для увеличения высоты потолка. Крыша поднимается совместно с боковыми гранями второго этажа 3 для единения с окружающей средой. После выполнения вышестоящих операций, кафе считается готовым к работе (рис. 2).

Кафе имеет два этажа. Первый этаж предусматривает зону для быстрого питания и для заказа еды с собой. Второй этаж оборудован столиками на несколько человек каждый и стульями. Здесь можно не спеша поесть, обсудить насущные дела или просто поболтать. (рис. 3)



Рис. 1. Кафе в состоянии транспортировки

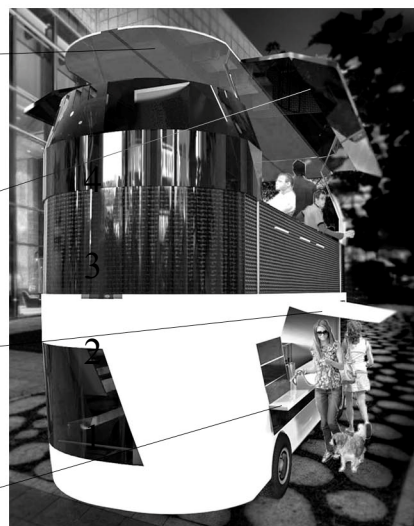


Рис. 2. Кафе в рабочем состоянии

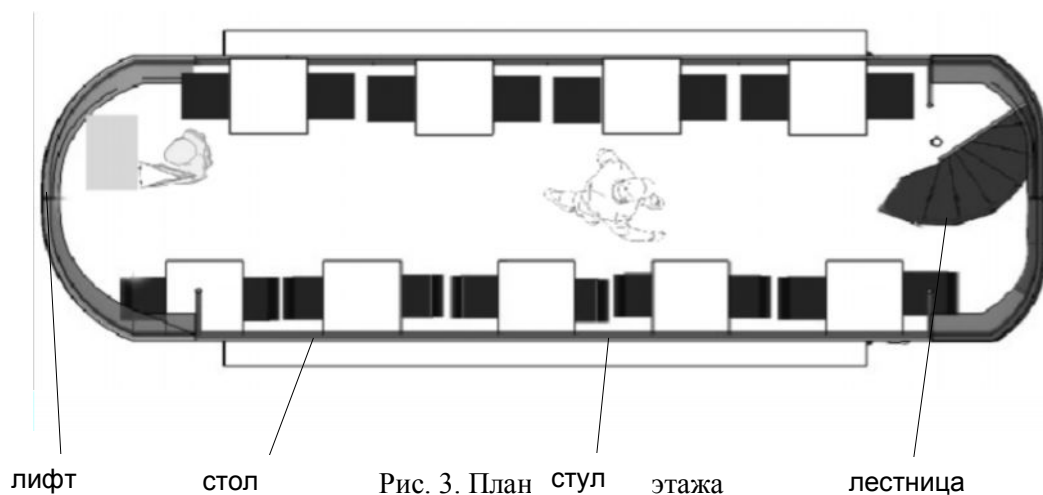


Рис. 3. План

Предусмотрен комплект складных стульев и столов, которые легко и быстро устанавливаются на территории рядом с кафе и на втором этаже, если есть необходимость увеличения числа посадочных мест. Мебель хранится в сложенном виде в нишах рядом с лестницей на первом этаже автобуса. Обслуживание второго этажа осуществляется официантом. Для удобства работы официанта кухню и второй этаж связывает малогабаритный грузовой лифт. Таким образом официант отдает заказ повару и получает уже готовые блюда не покидая верхний этаж. На второй этаж посетители кафе поднимаются по винтовой лестнице. На первом этаже в качестве стола используются откидные барные стойки. Заказ передается на стойку непосредственно поваром. Также на первом этаже расположена кухня, место водителя и туалет (рис. 4). Кухня разделена на две симметричных рабочих зоны с одинаковым набором технологического оборудования для универсализации работы с одной и с другой стороны. Рабочие места находятся в непосредственной близости к раздаче готовых блюд и напитков. Каждая технологическая зона включает холодильную камеру, варочную поверхность, фритюрницу, соковыжималку, духовой шкаф, мойку со смесителем, гриль, кофемашину, стойку для хранения и сушки посуды, полки и ящики для приборов и кассу [3]. Повар после приготовления блюда сразу отдает его на барную стойку. Также боковые грани автобуса оборудованы прозрачными витринами, в которых показан ассортимент бара, бокалы для различных видов напитков, а также выпечка и десерты.

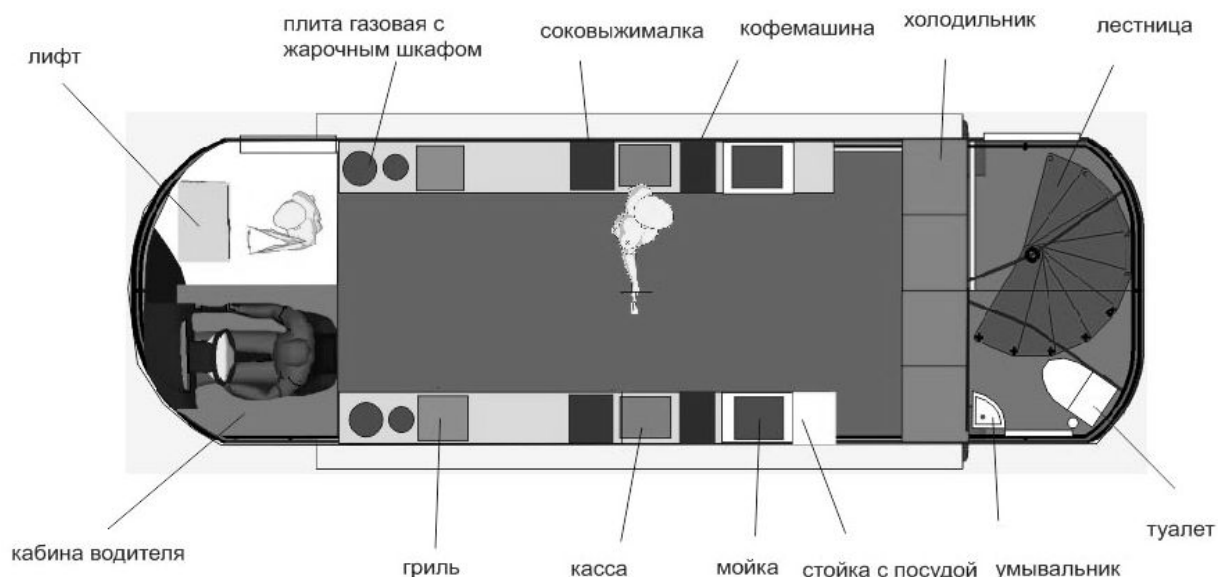


Рис. 4. План первого этажа

Исходя из планировки, обслуживание кафе осуществляется при помощи 3-4 человек. Это водитель, официант и два повара. Возможно совмещение двух должностей для сокращения персонала.

Предложена концепция кафе на колесах, которая функционально сочетает в себе компактность, вместимость, быстроту трансформации и высокую степень мобильности. Представлено стилевое решение кафе с учетом тенденций современного рынка (Рис. 1, 2) [4].

Экстерьер автобуса получился необычным, современным, функциональным, без лишних деталей. Салон автобуса удобен как для персонала, так и для клиентов кафе [5]. Несмотря на то, что автобус имеет небольшие размеры по сравнению со стационарным кафе, он имеет все необходимое для оптимального функционирования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лазарев Е.Н. Дизайн машин – Л.: Машиностроение. Лен.отделение, 1988-256с.
2. Проектирование и моделирование промышленных изделий (С.А. Васин, А.Ю. Талашук, В.Г. Бандорин и др.) Под ред. С.А. Васина, А.Ю. Талашука – М.: Машиностроение-1, 2004-692с.
3. Сомов Ю.С. Композиция в технике – 3-е изд.; перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1987- 288с.
4. Художественное конструирование. Проектирование и моделирование промышленных изделий: учеб. для студентов худож-пром. Вузов / Быков З.Н., Крюков Г.В. и др. Под ред. З.Н. Быкова и Г.Б. Минервина -М.: Высш.шк.1986-239с.
5. Дьяченко В.А., Никитина Т.А., Серякова О.В., Хрузин Ю.Т. Методическое пособие. Проектирование и моделирование промышленных изделий - М.: Оргсервис-2000,2007-30с
6. <http://homestartup.ru>

Сведения об авторах

Крюкова Анна Александровна
 Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
 Учебный адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
 Должность: студент 6 курса
 Электронная почта: criuckova.anya@yandex.ru

Хрузин Юрий тимофеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул.,29
Учебная степень, звание: к.т.н., доцент.
Должность: доцент
Электронная почта: xguzin@yandex.ru

УДК 004.9

А.А. Манакова, Н.А. Долгая, Д.П. Гуськова

АНАЛИЗ РОЛИ СПЕЦИАЛИСТА ПО СВЯЗЯМ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ В СФЕРЕ WEB-ДИЗАЙНА

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос роли специалиста по связям с общественностью в сфере web-дизайна. Были рассмотрены этапы создания сайта и проанализирована степень участия PR-специалиста на каждом из этапов. Исходя из результатов анализа, были кратко сформулированы основные функции PR-специалиста в процессе создания web-сайта. Были сделаны выводы о том, что современный PR-специалист должен обладать достаточными знаниями, чтобы координировать работу по созданию web-сайта практически на всех этапах, а на некоторых этапах принимать непосредственное участие в работе. Конечной целью работы данного специалиста должно являться создание благоприятного образа организации с помощью Интернет-ресурсов.

Ключевые слова: связи с общественностью, web-дизайн, оптимизация и продвижение сайта, коммуникации.

Работа специалиста по связям с общественностью (PR) заключается в формировании благоприятного информационного поля между субъектом и его аудиторией. Цель PR – повлиять на общественное мнение через каналы массовой коммуникации.

Наиболее перспективным, популярным, богатым с точки зрения инструментария средством массовой коммуникации в XXI веке стал Интернет. Всемирная сеть привнесла в процесс коммуникации новые способы взаимодействия создателя и потребителя контента: мобильность, моментальную обратную связь, традицию тиражирования информации. [2]

С появлением Интернета открылась новая глава в связях с общественностью, потому без знания и умения работать с web-ресурсами сегодня PR не может быть эффективным на 100%. Рассмотрим, какое место занимает работа PR-специалиста в процессе создания базового инструмента коммуникации в Интернете – web-сайта. Также проанализируем сущность работы PR-специалиста, который участвует в процессе создания сайта. [3]

PR-специалист в сфере web-дизайна может выступать в разных ролях: быть заказчиком от организации, быть исполнителем в команде создателей сайта. При этом он может выступать заказчиком внутри фирмы или делать заказ сторонней организации. Выступая в роли исполнителя, PR-специалист может быть в составе команды, создающей сайт внутри компании-заказчика или работать в студии web-дизайна.

Круг обязанностей специалиста по связи с общественностью может быть различным. Часто он зависит от размера компании: в крупных компаниях более узкая специализация и строгий регламент, в небольших фирмах круг обязанностей более размыт и может затрагивать смежные области деятельности.

Компетенции PR-специалиста будут максимально использованы при создании сайта, если его функционал в организации широкий. Рассмотрим такую модель работы, так как она для нас наиболее интересна. Для начала ознакомимся с алгоритмом работы при создании web-сайта.

Рассмотрим этапы создания сайта:

1. Анализ целей и задач
 - 1.1 Цели создания сайта
 - 1.2 Оценка целевой аудитории
 - 1.3 Выбор типа и модели сайта
2. Разработка структуры сайта
3. Написание детализированного технического задания
4. Подготовка и редактирование информации для сайта
5. «Серфинг» - просмотр вариантов по выбранному направлению, поиск аналогов
6. Выбор названия, адреса, разработка логотипа, графического символа (если надо)
7. Создание сайта
 - 7.1 Разработка понятного интерфейса и навигации
 - 7.2 Разработка схемы сайта
 - 7.3 Создание модульной сетки
 - 7.4 Разработка дизайна
 - 7.5 Программирование
8. Оптимизация и продвижение сайта
 - 8.1 Написание ключевых слов (мета-тегов) и заголовков, соответствующих поисковым запросам
 - 8.2 Реклама и рассылки
 - 8.3 Анализ и выбор наиболее эффективного метода продвижения.
 - 8.4 Поддержка сайта и дальнейшее продвижение по выбранному методу.[5]

Постановка целей и задач создания сайта производится непосредственно при участии PR-специалиста. Web-сайт в этом ключе должен соответствовать специфике деятельности организации, коммуникативным целям, маркетинговой стратегии, предпочтениям и потребностям целевой аудитории, а также должен дополнять прочие информационно-коммуникативные материалы, которые публикует организация. Исходя из целей, формируется модель и структура сайта. Данные сведения ложатся в основу технического задания для web-дизайнера или программиста.

Информационное (текстовое, визуальное, звуковое, прочее) наполнение сайта – область ответственности PR-специалиста, так как его основная задача – отследить и сформировать сообщение от лица организации для пользователя. Задача PR-специалиста – своевременно преподнести актуальную информацию, адаптированную к контексту Интернет-общения, в соответствии с имиджем организации. [4]

Важную роль играет правильная передача фирменного стиля организации посредством web-сайта. Графические элементы (логотип, шрифт, прочие изображения) и дизайн должны соответствовать принятому в организации набору цветов и форм. Задача PR-специалиста – обеспечить размещение на сайте ключевых элементов бренда, чтобы облегчить идентификацию для пользователя.

Интерфейс, навигация и дизайн создаются при участии PR-специалиста таким образом, чтобы потенциальному пользователю управление было приятно и доступно на интуитивном уровне. PR-специалист привлекает социологические, психографические и демографические данные, чтобы сформировать портрет клиента и выяснить его информационные потребности. [1]

Заключительный этап работы с сайтом (оптимизация и продвижение) предполагает наиболее ответственную фазу деятельности PR-специалиста. Рекламная стратегия, продвижение через партнёрские сайты и социальные сети, грамотное использование мета-тегов, поисковая оптимизация – все эти направления координируются PR-специалистом организации, её информационным «проводником». Оценка коммуникативной и

экономической эффективности, как неотъемлемый элемент PR-деятельности, применима к работе web-сайта.

В заключение, кратко сформулируем основные функции PR-специалиста в процессе создания web-сайта:

- Целеполагание;
- Анализ Интернет-среды, анализ целевой аудитории;
- Формулирование технического задания;
- Консультирование;
- Контроль выполнения технического задания;
- Информационное наполнение сайта;
- Оптимизация сайта средствами PR;
- Оценка эффективности.

Таким образом, современный PR-специалист должен обладать достаточными знаниями, чтобы координировать работу по созданию web-сайта, принимать участие в наполнении сайта, анализировать эффективность и вносить коррективы в его оформление.

Целью работы данного специалиста является создание благоприятного образа организации для потенциальных покупателей/посетителей ресурса; вывод сайта на топовые позиции поисковых систем; успешная рекламная кампания для привлечения целевой аудитории на сайт. Работу по раскрутке бренда компании можно считать успешной, если достигнуты цели и задачи, которые ставились руководством перед запуском проекта (увеличение прибыли организации, приток новых пользователей, наращивание массы цитирования материалов с сайта, и тому подобное). PR-специалист служит определенным «мостом» между заказчиком-организацией и целевой аудиторией, и от его профессионализма зависит успешность данной кампании.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Добренков В.И., Кравченко А.И. Методы социологического исследования. - М.: Инфра-М, 2011.
2. Елинер И.Г. Роль медиадизайна в мультимедийной культуре // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета культуры и искусств. №4, 2012.
3. Паринов А.В., Парина Л.В. Телекоммуникационные и компьютерные технологии в связях с общественностью. Воронеж, 2011.
4. Чумиков А.Н., Бочаров М.П. Связи с общественностью: теория и практика: учебник. 6-е изд. М.: Издательство «Дело» АНХ, 2010.
5. Вукс Т.А. Основы веб-дизайна. [Электронный ресурс] / NunDesign – URL: <http://www.nundesign.com/st/35.html#webbegin> (дата обращения: 02.11.2014)

Сведения об авторах

Манакова Алина Александровна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Учебный адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент 5 курса
Электронная почта: alinamanakova93@gmail.com

Долгая Нина Александровна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: nina-27@mail.ru

Гуськова Дарья Павловна
ООО "АртВизио"
Рабочий адрес: Санкт-Петербург, Политехническая ул., д.26.
Должность: арт-директор
Электронная почта: daria@artvisio.com

УДК 7.02

М.В. Моисеева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫРАЗИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ЖИВОПИСИ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНОЙ ГРАФИКИ

Аннотация: Художники, занимающиеся трехмерной графикой, все чаще при визуализации используют эффект ручного рисования. Связанно это с тем, что целлулоидная анимация стала долгим и дорогостоящим процессом. Но ни одна анимационная студия не готова отказаться от классического рисования, и применяет эффект ручного творчества в своих трехмерных фильмах, стараясь создать впечатление у зрителей о просмотре рисованной мультипликации. В данной статье рассматривается возможность использования выразительных средств живописи при визуализации трехмерной сцены.

Ключевые слова: живопись, 3D визуализация, художественные средства выразительности, светотеневой контраст, перцептивное восприятие.

Рисованная мультипликация отмирает как искусство в связи с ее дороговизной и трудоемкостью. Анимационные студии, одна за другой, постепенно закрывают департаменты, работающие с двухмерной графикой. Несмотря на это, художники, занимающиеся трехмерной графикой, все чаще обращаются к классическим приемам, имитирующим ручное творчество. Пытаясь сохранить классический стиль целлулоидной анимации, они используют художественные средства выразительности классического ручного творчества - живописи, рисунка и графики.

Количество фильмов, имитирующих ручное рисование, с каждым годом растет. В процесс создания вовлечены как крупные, так и маленькие анимационные студии. В 2006 году был выпущен мультипликационный фильм «Ренесанс» в стиле нуар, имитирующий черно-белую графику. Студия «Disney» в 2012 году презентовала свой знаменитый черно-белый короткометражный мультфильм «Parermap», в котором создатели отразили эффект рисования карандашом, выпустив для этого собственную компьютерную программу.

На международном кинофестивале в Торонто в 2013 году была представлена работа Брюса Алкока «Impromptu». Для своего фильма он черпал вдохновение из работ американского скульптора Александра Колдера, который приобрел всемирную известность замысловатыми фигурами из проволоки. Режиссер реализовал эту идею, используя цветные линии как основу дизайна для своей картины. При первом просмотре, кажется, что это целлулоидная анимация, но присмотревшись к движениям персонажей становится понятно, что картина сделана с помощью 3D программ. [6]

Компьютерная графика широко используется в голливудских фильмах и на коммерческом телевидении. И возможности поистине безграничны, но иногда она продолжает выглядеть пусто и поверхностно. Проблема кроется в недостатке цвета. Целлулоидная графика очень чувствительна. Когда изображение загорается на пленке, оно не становится светлым мгновенно, а изменяется постепенно. [7]

Использование выразительных средств живописи при визуализации трехмерного пространства увеличит количество цветовых оттенков, что обогатит конечную картину и создаст имитацию ручного творчества.

Живопись это вид изобразительного искусства, заключающийся в создании картин, выполненных красками (масляными, темперными, акварельными, гуашевыми и др.) и нанесенными на твердую поверхность. Главное выразительное средство живописи - цвет, его способность вызывать чувства, ассоциации и усиливать эмоциональность изображения.[5]

Живописный подход может использоваться и в других видах изобразительных искусств. Его сущность заключается в изображении объекта во взаимосвязи с окружающей его пространственной световоздушной средой, в тонкой градации тональных переходов.

Важными средствами художественной выразительности в живописи, кроме цвета, являются пятно и характер мазка, обработка красочной поверхности (фактура), валёры, показывающие тончайшие изменения тона в зависимости от освещения, рефлекс, появляющиеся от взаимодействия лежащих рядом цветов.

Восприятие света и тени является основополагающим принципом в построении объема и целостного образа предмета. Если нарисовать предмет путем набора линий и изгибов, получится плоская картина. Живые реальные объекты образуются с помощью светотеневых взаимоотношений передающихся посредством блика, света, полутени, собственной тени, рефлекса и падающей тени.

Каждый объект имеет свой собственный цвет, но он практически никогда не воспринимается глазом в точности таким, какой он есть. Он полностью зависит от приходящего и уходящего света, от окружения и восприятия человека смотрящего на него. Предметный цвет – это точный неизменный цвет. Но только сложным набором оттенков можно создать гармоничную наполненную картину.

Лучи, идущие от таких источников света, как солнце, луна, лампа, создают общее освещение и отражают краски предметов. Каждый, окружающий человека, предмет служит фильтром для падающего на него светового потока. При этом часть света поглощается предметом, а другая - отражается. Рефлекс всегда значительно темнее света, но немного светлее тени. Иногда его называют отсветом. Область в собственной тени на предмете, на которую попадает отраженный свет от другого освещенного предмета или освещенной части того же предмета. Проще говоря, отраженный свет в тени. Точное воспроизведение рефлекса очень важно, именно он дает понять зрителю, что данный предмет существует не один, а в окружении других вещей, даже если они не изображены на рисунке. [5]

Таким образом, главные составляющие живописи это светотеневые и цветовые контрасты. Данные средства выразительности будут присутствовать и при переводе сюжета картины из полотна в цифровую реальность.

Трехмерную сцену на компьютере можно представить в виде композиции элементов поверхностей объектов, которые освещаются источниками света и проектируются на области двумерного изображения. Границы между элементами трехмерных поверхностей и между участками различной освещённости образуют контрастные края, или контуры.

Образование некоторых контуров на изображении в основном объясняется свойствами освещения, а не формой трехмерных поверхностей. Границы освещенных и теневых областей формируются вследствие изменения потока световой энергии, падающей на поверхность объекта. Например, количество падающей энергии может уменьшаться в случае попадания поверхности в область тени других объектов. [2]

На двумерных полутоновых изображениях сгибы часто проявляются в виде значительных изменений интенсивности, так как соединенные поверхности относительно источников света могут располагаться по-разному. Вследствие различия материалов на освещенных трехмерных поверхностях образуются рефлекс, блики и полутени. [2]

Таким образом, двухмерное изображение, полученное в результате рендеринга трехмерной сцены, воспринимается человеком как набор светотеневых отношений и цветового контраста, так же как и картина, нарисованная от руки художника. В обоих случаях восприятие идет через считывания информации о цвете, свете и тенях. Но чтобы картина действительно стала похожа на живописное полотно должна присутствовать имитация штрихов, мазков и фактуры краски. Полученный рендер будет восприниматься зрителем как художественная картина, если по стилистическому содержанию она будет напоминать ему полотна знаменитых мастеров.

Имеется большое количество информации о принципах осуществления процесса распознавания. В частности, известно, что на распознавание естественных объектов существенно влияет контекст, в котором идентифицируется объект. Предшествующий перцептивный опыт имеет большое значение в процессе восприятия. Более того, особенности восприятия определяются всем предшествующим практическим и жизненным опытом человека, поскольку процесс восприятия неотделим от деятельности. [1]

В процессе восприятия, для того чтобы классифицировать воспринимаемый объект, человек будет выдвигать и проверять гипотезы о принадлежности объекта к различным категориям. Следовательно, при восприятии активизируется прошлый опыт.

Если при визуализации трехмерной сцены использовать основные приемы характерные для живописи, такие как мазки или подтеки краски, полученные с помощью кисти или мастихина, рефлексy, блики, а так же особое внимание уделить светотеневым отношениям и цветовым контрастам, то можно предположить, что зритель воспримет трехмерное изображение как двухмерное. Основываясь на предшествующем перцептивном опыте, человек будет идентифицировать рендер как художественное полотно. Как известно рисунок сделанный, на бумаге, картоне или холсте может быть объемным по содержанию, но художник наносит краски на плоскую поверхность. Таким образом, итоговый рендер может восприниматься как двухмерное изображение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Маклаков А.Г., Общая психология [Текст] : учеб.для вузов. СПб.: Питер, 2011. — с. 583
2. Шапиро Л., Компьютерное зрение, [Текст] : пер. с английского./ Шапиро Л., Стокман Д. - М.: БИНОМ, Лаборатория знаний Питер, 2006. — с. 752
3. Isaac Botkin., Non-photorealistic Rendering Using Existing Tools // SIGGRAPH 2009/ - URL: <http://www.outside-hollywood.com/siggraph/>
4. Raul Reyes Luque. The Cel-Shading Technique // Dissertation, 2012. URL: http://raulreyesfinalproject.files.wordpress.com/2012/12/dissertation_cell-shading-raul_reyes_luque.pdf
5. Смитт Р., Настольная книга художника: Оборудование, материалы, процессы, техники [Текст]/ Рэй Смит; Пер. с англ. В.А. Нефедова. - М.: Издательство Астрель, 2004. – с. 384
6. Mark Mann, Dead or Alive: 3D Animation and the Pygmalion Problem // Article, 2013. URL: <http://ca.blouinartinfo.com/news/story/952149/dead-or-alive-3d-animation-and-the-pygmalion-problem>
7. YujiOniki., TheartofMiyazaki'sSpiritedAway, [Текст]; English text adaptation by Yuji Oniki, Studio Ghibli. – Published by VIZ Media, LLC, 2002, с. 240

Сведения об авторе:

Моисеева Мария Вячеславовна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент 6 курса магистратуры
Электронная почта: innoituksen@yandex.ru

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КОНЦЕПТ-АРТА В ИГРОВОЙ ИНДУСТРИИ

Аннотация: Статья посвящена историческому исследованию появления феномена концепт-арта в игровой индустрии, а также возникновению социальной профессии концепт-художника. Особое внимание уделяется семантике термина «концепт-арт». Дан краткий обзор истории развития компьютерных технологий и игр и общая оценка ситуации в игровой индустрии на сегодняшний день. Проведен сравнительный анализ продуктов и сформулированы выводы о том, что компьютерные игры вышли за рамки развлечений и постепенно становятся частью культуры.

Ключевые слова: концепт-арт, концепт-художник, игровая индустрия, компьютерные игры.

Концепт-арт (лат. *conceptus* - мысль, понятие) - это художественное направление в медиа-дизайне, задачей которого является создание изображений, отражающих основную идею будущего фильма, видео-игры, анимации и т.д., т.е. визуализация основного художественного замысла задолго до финального выпуска продукта. Термин «концепт-арт» означает устройство знаковых систем изображения в конкретной окружающей среде, а также относится к области визуальных разработок и общему впечатлению проекта. «Концепт-художник - это ключевой генератор передовых идей в компьютерной графике, который позволяет установить взаимосвязь между мыслью и ее визуализацией. Он должен придавать смысл и осуществлять правильный подход в разработке (как общего стиля, так и деталей) персонажей, окружающих сред и других объектов. Все это может быть облачено в форму локаций планет далеких миров и персонажей несуществующих форм пространства» [1, с.2, пер. автора], или архитектурных форм, которые потенциально могут быть реализованы в нашем мире. В случае игровой индустрии иногда сразу приступают к созданию реальных макетов таких, например, как гоночная модель полицейской машины для игры *Need for Speed: Hot pursuit 2010*, которая использовалась для съятия «промо-роликов» (от англ. «*promotion*» - видеоролик, представляющий продукт широким массам) и трейлеров к самой игре.

Помимо практической функции, концепт-арт может выступать сильнейшим средством коммуникации. Подобная профессия высоко ценится, так как эти люди участвуют в разработке продукта на самых ранних стадиях проекта - на этапе предпроизводственного проектирования (от англ. «*pre-production*» ранний этап, стадия производства), который в зависимости от масштаба проекта может занимать от 1 месяца до 1,5 - 2 лет. В этот период закладываются базисные идеи и концепт-художник оказывает на них свое непосредственное влияние. На данном рисунке [2, с.10] (рис. 1) представлена диаграмма основных фаз типичного процесса разработки игры. Здесь дан сравнительный график объема проделанной работы на производстве для различных профессий, в т.ч. и концепт-художника, на котором отражена основная суть работы концепт-художника на этапе предпроизводственного проектирования - генерация и визуализация новых идей для их последующего развития аниматорами, программистами, звукорежиссерами и т.д. Концепция как идея, и концепция как изображение - не одно и то же, и поэтому, концепт-арт - это мощнейший инструмент создания виртуальных миров.

Большинство развитых стран в мире успешно продвигают индустрию развлечений, которая дает прибыль экономике стран. Сегодня является эпицентром разработок международных многобюджетных проектов индустрии вследствие низкой стоимости

рабочей силы. «Чтобы удовлетворить требованиям международных стандартов качества, необходимо в первую очередь развивать концептуальное мышление» [1, с.2, пер. автора]. Но само по себе такое мышление невозможно найти «в соседнем дворе». Это и есть феномен, который разбирается на страницах данного исследования. Подобное мышление складывается из существующих на сегодняшний день законов и тенденций индустрии развлечений.

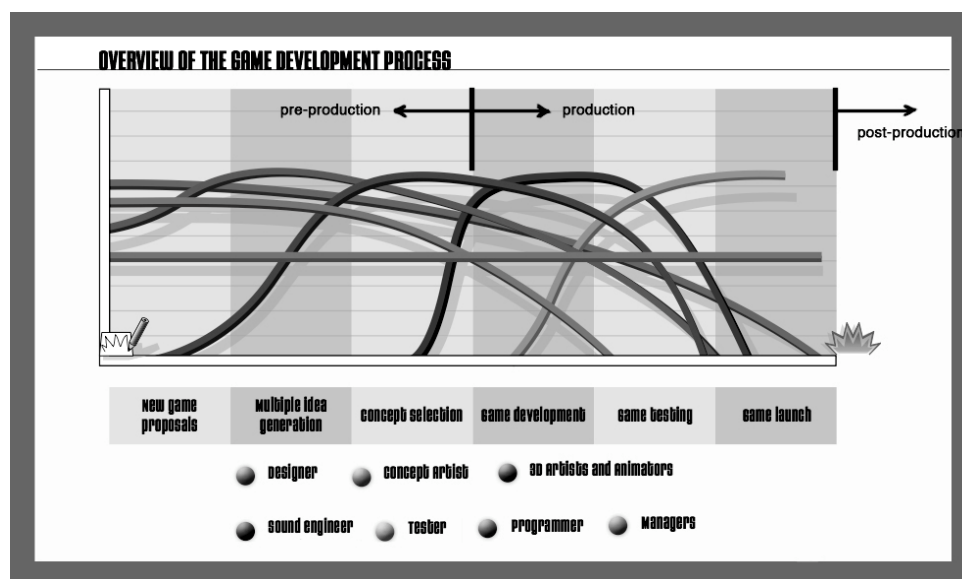


Рис. 1. Обзор процесса разработки игры

Концептуальные рисунки создавали еще сотни лет назад для театральных постановок. И, конечно же, в начале XX века все фильмы создавались совместно с художниками, которые имели различный статус на производстве: дизайнер сцен, дизайнер постановок, дизайнер по костюмам и т.п., но сам термин «художник» закрепился гораздо позднее, когда дизайнеры игр в конце 1980-х стали серьезно востребованы.

Термин «концепт-арт» мог возникнуть в рамках автомобильной индустрии при создании концепт-каров или же как часть анимационной индустрии. Тем не менее, все нуждались в людях, которые бы делали такую работу, независимо от того какой термин использовался для ее обозначения. Употребление словосочетания «концепт-арт» зафиксировано ещё в 1930-х годах студией Walt Disney Feature Animation. И здесь, можно заключить, что выделение социальной профессии концепт-художника и понятие «концепт-арт» обязано началу бурного развития эры компьютерных технологий.

«Компьютерные игры такие, какими мы их знаем сегодня, эволюционировали на протяжении последних трех десятилетий от «текстовых игр» до гипер-реалистичных 3D-игр, с многообразием локаций и персонажей» [2, с.9, пер. автора]. «Видео-игра - это электронная программа, имеющая конкретный дизайн интерфейса (например - джойстик) для взаимодействия человека с видео-выводящим устройством, «девайсом». Первые видео-игры создавались в научных лабораториях. А самый первый патент № 2455992 на видео-игру был выдан в 1948 году под общим названием: «Развлекательный прибор на катодно-лучевой трубке»» [3, пер. автора]. Вот некоторые популярные видео-игры раннего периода: ОХО (1952) - крестик-нолик, Tennis for Two (1958) – «Теннис на двоих», Spacewar (1961) – «Космическая война» (данная игра запускалась на компьютере стоимостью порядка \$100,000). Но ни одна из данных игр не продавалась широкой публике в следствие гигантских размеров машин или высокой стоимости разработок. В 1972 году Ральф Баер выпустил совместно с лабораторией разработок Magnavox знаковую игру Odyssey. Примерно в тот же период Нолан Бушнелл и Тэд Дабни основали компанию Atari и выпустили Pong -

первую в истории коммерчески-успешную игру. К 1974 году конкуренцию Atari составила компания Midway, которая создала игру Space Invaders в 1978 г. - «Космические захватчики». В 1980 году цвет пришел на экраны мониторов. Появились такие работы, как Puck-Man (1980). Оригинальное название игры впоследствии изменили на Pac-Man. За один год Pac-Man принес разработчикам более \$1 млрд. В 1981 году на рынок продуктов пришла компания Nintendo с игрой Donkey Kong (прапоритель Mario Brothers), в которой присутствовала сюжетная линия - такое было впервые. И вплоть до середины 1990-х был выпущен не один десяток крупных игр. К 2000-м годам графическая составляющая картинки приобрела решающее значение. Разработчики игр экспериментировали с различными типами жанров, персонажей, локаций и многим другим. Так постепенно сформировалась игровая индустрия. Студии-разработчики привлекали все больше концепт-художников.

Помимо многомиллионных проектов игр, сейчас постепенно начинают открываться школы и вводятся в колледжах и университетах мира направления обучения «концепт-арт», «дизайнер виртуальных миров» и т.п. В России недавно была сформирована «Scream School» - первый в России образовательный центр, ориентированный на комплексную подготовку квалифицированных специалистов компьютерной графики в кино, рекламе, анимации, телевидении, разработке игр и медиа-индустрии со специальной образовательной программой «концепт-арт». Помимо этого, в интернете можно найти достаточное количество сообществ и сайтов, посвященных данной тематике. В течение двадцати лет концепт-арт занял прочные позиции на рынке социальных профессий, он диктует тенденции в геймдизайне и не только. Например, возьмем к рассмотрению работы двух ведущих художников современности в области компьютерных игр - Сиды Мидаи Рафаэля Лакосте. Сид Мид создавал работы в основном до 2000-х гг., в то время, как Рафаэль Лакосте - ближе к 2005-2006 гг. Можно наглядно видеть различие в техниках, в проработке деталей и цветовой глубине изображений. «Игра свободно проявляется в человеческой деятельности, как осознание и изучение окружающего мира, как личное творчество и активность индивидов... В последнее десятилетие XX века интерес к данной проблеме сильно возрос в связи с появлением Интернета и компьютерных игр.». [5, с.1]

На основе исторических изысканий можно сказать следующее: каждый последующий продукт выдвигает индустрию игр на новый уровень. Мировая индустрия активно развивает компьютерные технологии для создания идей в области концептуальной иллюстрации - ищет новые методы получения финальной картинки, привлекает колоссальные вычислительные мощности с целью создать трехмерную окружающую реальность. Каждый день создаются тысячи профессиональных идей для еще несуществующих или уже создающихся проектов игр, которые воспитывают вкус потребителя и других разработчиков игр по всему миру, так как «видеоигры апеллируют к нам на мотивационном уровне» [6, с.3]. Поэтому, игры и концептуальные иллюстрации к ним - это зеркало внешнего мира, степень развития современных технологий и показатель действующих эстетических тенденций в нише дизайна. «Фильмы и изображения - все это реалии вокруг нас» - писала Катерина Хабер, эксклюзивный продюсер фильма «Бегущий по лезвию», 1982 г. [4, пер. автора]. Компьютерные игры - часть социальной сферы. Они переросли форму обычных развлечений и стали культурным артефактом, имеющим многочисленные применения в нашей жизни и культурном наследии. Они, как и фильмы, литература, музыка - исторические вехи, которые могут быть полезны историкам, социологам и культурологам в контексте современной истории эпохи глобализации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Shamsuddin, A.K., Md. Islam, B., Dr. Md. Islam, K. Evaluating Content Based Animation through Concept Art // International Journal of Trends in Computer Science Volume Issue 11 - 2013 - 13 с.:
2. Stoneham, B. How to Create Fantasy Art for Video Games: A Complete Guide to Creating Concepts,

Characters, and Worlds - A&C Black Publishers, October 1, 2010. - 129 с.:

3. Saleem, S. Brief History of Video Games. // TED conference. – 2009. [Электронный ресурс]. URL: <http://ed.ted.com/lessons/a-brief-history-of-video-games-part-i-safwat-saleem> (дата обращения 21.11.2014).

4. Mead, S. Visual Futurist: The Art and Life of Syd Mead. // Syd Mead. – 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://sydmead.com/v/12/store/syd-mead-documentary/> (дата обращения 20.11.2014).

5. Прокшина, Л.Р. Роль игры в современном российском обществе. - Уфа. – 2006 // Электронная библиотека диссертаций - 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dissercat.com/content/rol-igry-v-sovremennom-rossiiskom-obshchestve> (дата обращения 20.11.2014).

6. Эсмин, Б.К. Игра и технология. Изменение реалий, новый потенциал. Игра со всех сторон. Современные исследования, междисциплинарный подход, практические рекомендации, взгляд в будущее. - М.: Прагматикакультура. Фонд научных исследований, 2003 - 15 с.

Сведения об авторах

Калясин Дмитрий Владимирович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 28

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: dmitryklsn@gmail.com

Карпова Юлиана Игоревна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 28

Ученая степень: нет

Ученое звание: доцент

Электронная почта: yuly-karpova27@mail.ru

УДК 796.52

А.А. Петровичева, Ю.Т. Хрузин, В.А. Дьяченко

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ СКАЛОЛАЗАНИЯ

Аннотация. В докладе проведен детальный анализ аналогов подобной техники. Сформированы основные задачи для разработки новой модели. Приведены результаты разработки тренажера для скалолазания, а именно, предложен новый вариант (на котором могут заниматься сразу два человека), в котором обеспечивается облегченность и простота конструкции, сочетающиеся с привлекательным внешним видом, удовлетворяющий критериям безопасности в эксплуатации.

Ключевые слова: скалолазание, тренажер, скалодром, дизайн-проект, анализ, эргономика, прототип, соматографическая схема.

Скалолазание привлекает все большее количество желающих заниматься этим видом спорта (отдыха). Но разнообразие и качество выпускаемых скалодромов (тренажеров) для предварительной подготовки и тренировки не удовлетворяет растущему потребительскому спросу. Поэтому тема выбранного курсового проекта актуальна.

Цель курсового проекта - разработка дизайнерского решения тренажера для скалолазания и использования в тренажерных залах, офисах, на открытых площадках и т.п.

В процессе разработки произведен анализ широкого спектра аналогов подобной отечественной и зарубежной техники, в результате которого выработаны основные направления для разработки новой модели, сформированы основные технические,

эргономические и эстетические требования: (облегченность, надежность и простота конструкции; безопасность эксплуатации; единство стилевого решения) [1],[3],[4],[5].



Рис. 1. Тренажер для альпинистов

В качестве прототипа выбран тренажер для альпинистов ClimbStation Portable (Финляндия) (рисунок 1) [2]. Существующая модель громоздка и не привлекательна по форме. Сохраняя все возможности прототипа, предложен новый объект с такими же удобствами, но более компактный конструкции и с более совершенным дизайном [3].

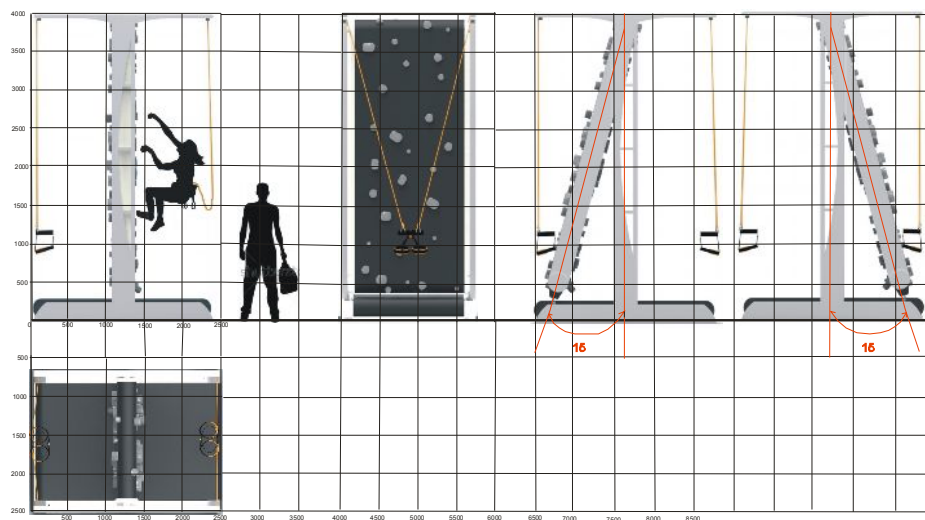


Рис. 2. Соматографическая схема и углы отклонения плоскости ленты

Для большей ясности представлена соматографическая схема, с движущейся лентой, обеспечивающей подъем и спуск спортсмена одновременно, выполненная на масштабной сетке. Схема отображает пропорциональное отношение человека с тренажером (рисунок 2).

На предложенном тренажере могут заниматься сразу два человека. Плоскость ленты, разработанного скалодрома, отклоняется на 15 градусов в обе стороны при помощи механизма, состоящего из асинхронного двигателя со встроенным редуктором АИР (рисунок 3). Двигатель 10 располагается в основании тренажера. Он передает вращение

роликам 2 при помощи ременной передачи. К ремню 3 крепится неразъемное соединение 4, которое в свою очередь соединено с основанием ленты при помощи пружины 5. Таким образом, осуществляется отклонение наклонной плоскости ленты. Движение самой ленты осуществляется с помощью вала 14, к которому присоединен двигатель 9 и зубчатые колеса 12. В качестве безопасности тренажер оснащен страховкой 13, а на его основании уложен спортивный мат 11. Плоскость ленты держится на металлическом каркасе 7. Лента выполнена из специальной прорезиненной ткани. Зацепы 6 на ленте сделаны из пластика и крепятся к ленте при помощи саморезов.

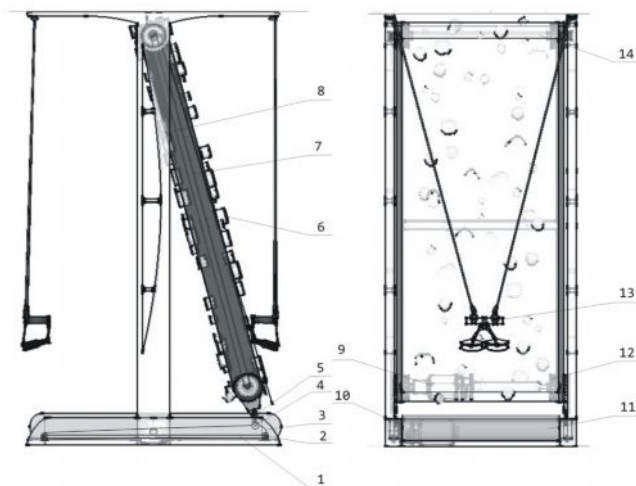


Рис. 3. Компоновочная схема тренажера для скалолазания:

1 – опора между роликами; 2 – ролики; 3 – ремень; 4 – неразъемное соединение;
5 – пружины; 6 – зацепы; 7 – каркас ленты; 8 – опора; 9, 10 – двигатель; 11 – мат;
12 – зубчатое колесо; 13 – страховка; 14 – вал

Скалодром имеет привлекательный внешний вид с различными вариантами цветографического исполнения. Надеюсь, что представленная модель будет востребована как профессионалами, так и любителями этого вида спорта. Итоговый вариант дизайна скалодрома представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Дизайн-проект скалодрома

ЛИТЕРАТУРА:

1. Проектирование и моделирование промышленных изделий. Методическое пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине «Проектирование и моделирование промышленных изделий» (промышленный дизайн) / В.А. Дьяченко, Т.А. Никитина, О.В. Серякова, Ю.Т. Хрузин – М.: «Оргсервис-2000», 2007. – 30 с.
2. <http://www.cyberstyle.ru>
3. Художественное конструирование. Проектирование и моделирование промышленных изделий: учеб. для студентов худож.-пром. Вузов / Быков З.Н., Крюков Г.В и др. Под ред. З.Н. Быкова и Г.Б. Минервина – М.: Высш.шк. 1986. – 239 с.
4. Ю.С. Сомов. Композиция в технике – 3-е изд.; перераб. и доп. – М.: машиностроение, 1987. – 288 с.
5. Проектирование и моделирование промышленных изделий (С.А. Васин, А.Ю. Талашук, В.Г. Бандорин и др.). Под ред. С.А. Васина, А.Ю. Талашука – М.: Машиностроение-1, 2004. – 692 с.

Сведения об авторах

Петровичева Анастасия Анатольевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Учебный адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: Студент 6 курса
Электронная почта: AnastasiFilippovna@yandex.ru

Хрузин Юрий Тимофеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доц.
Должность: доцент
Электронная почта: xguzin@yandex.ru

Дьяченко Владимир Алексеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: automats@imbox.ru

ДИНАМИЧЕСКОЕ СТОЯНИЕ

Аннотация. В работе исследована возможность автоматического управления двуногим статически неустойчивым шагающим аппаратом в режиме динамического стояния.

Ключевые слова. Шагающие аппараты, управление движением, динамическое стояние, динамическая устойчивость.

Режим динамического стояния можно описать как одновременное покачивание в двух плоскостях [1], [5]. Стояние отличается от прямолинейной ходьбы сменой направления движения через каждые два шага. При этом при любых начальных условиях необходимо обеспечить стабилизацию движения с ограничением по скорости [3]. Управление стоянием будем осуществлять посредством задания длительности текущего шага t_1 , скорости в конце текущего шага V_{t1} и выбора координат места постановки ноги в начале следующего шага $X_{л}$ и $Z_{л}$. Длительность шага и скорость в конце текущего шага будем определять из требования снижения резкости движений корпуса аппарата [2]. Необходимо также задаться допустимой длиной шага, максимальными значениями скорости перемещения аппарата и частотой шагов. Сформируем управление ходьбой на основе уравнений движения перевернутого маятника:

$$\begin{cases} X_{л} = \frac{(kx_{t0} + \dot{x}_{t0})\Psi + (kx_{t0} - \dot{x}_{t0})\Psi^{-1} - 2\dot{x}_{t1}}{k(\Psi + \Psi^{-1})} \\ Z_{л} = \frac{(kz_{t0} + \dot{z}_{t0})\Psi + (kz_{t0} - \dot{z}_{t0})\Psi^{-1} - 2\dot{z}_{t1}}{k(\Psi + \Psi^{-1})} \end{cases}$$

Где x_{t0} , z_{t0} , $\dot{x}_{t0}$, $\dot{z}_{t0}$ – координаты и скорости центра тяжести аппарата в момент начала текущего шага; $t_1 = \text{const}$ – время окончания текущего шага; $k = \sqrt{g/L}$; L – высота центра тяжести; g – ускорение свободного падения; $\Psi = e^{kt_1}$.

Уравнения движения рассматриваемого шагающего аппарата с учетом величин второго порядка малости получены в работе [4]. На их основе с использованием уравнений перевернутого маятника был численно промоделирован режим динамического стояния. В качестве системы управления всеми приводами принимались ПД-регуляторы в цепях обратных связей. На рис. 1, 2 и 3 показаны результаты расчетов при $t_1 = 0,37$ с и .

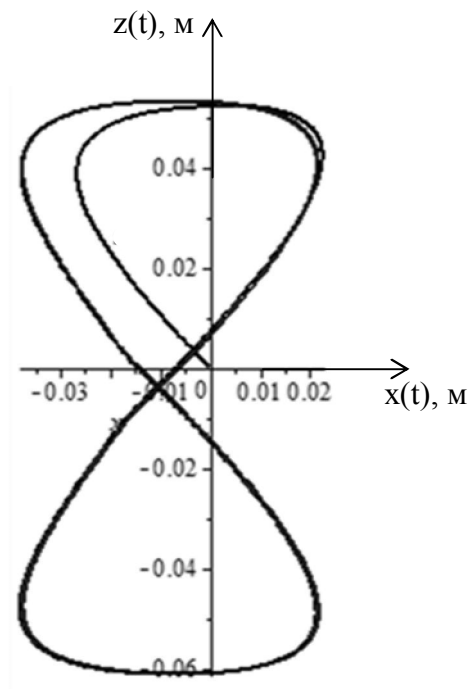


Рис. 1. Вид сверху на траекторию ЦТ аппарата при динамическом стоянии

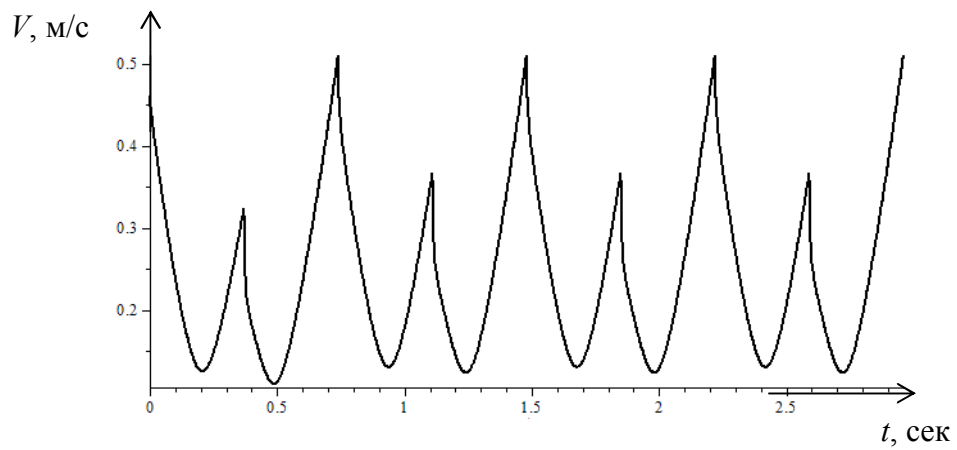


Рис. 2. Закон изменения скорости центра тяжести аппарата при динамическом стоянии

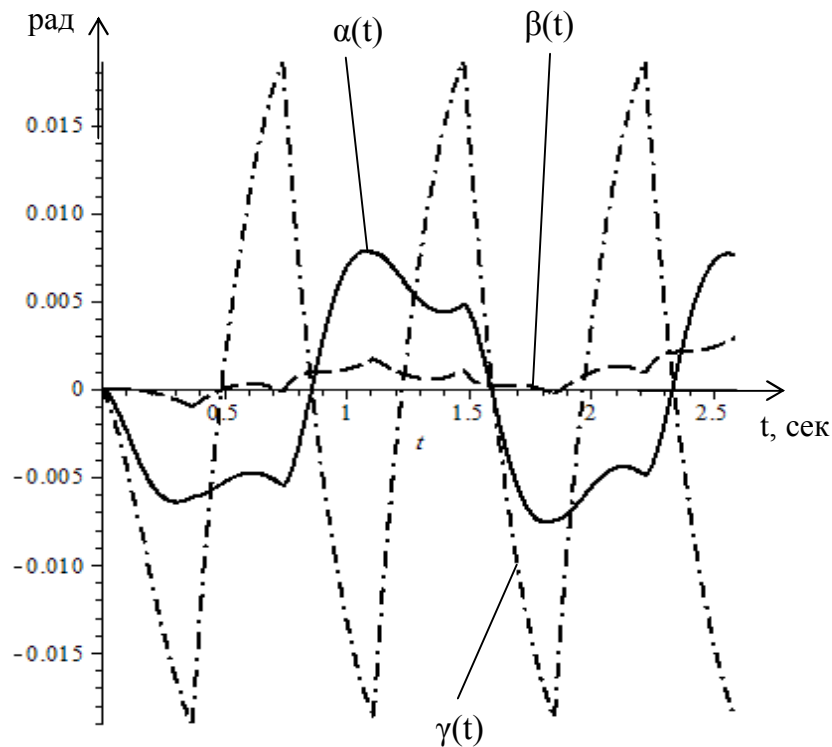


Рис. 3. Законы изменения углов конечных поворотов корпуса аппарата при динамическом стоянии

В силу малости полученных углов конечных поворотов α , β и γ их вполне можно считать углами вращения вокруг осей x , y и z соответственно. Угол β в данной модели не регулируется и его малость на шести шагах была достигнута начальными условиями. Углы α и γ стабилизируются движущимися моментами. Высота центра тяжести стабилизируется приводами длин ног и при возмущениях второго порядка малости и идеальных регуляторах по расчетам получается практически постоянной.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Белецкий В.В. Динамика двуногой ходьбы. – Изв. АН СССР, МГТ, 1975, № 3, с. 3-14;
2. Борова А.П., Терешин В.А. Решение задачи о пространственном движении статически неустойчивого шагающего аппарата. Современное машиностроение. Наука и образование: материалы научно-практической конференции с международным участием. 20 – 21 июня 2013 года, Санкт-Петербург. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013, С. 631-641;
3. Борова А.П., Терешин В.А. Прямолинейное равномерное движение антропоморфного робота. Современное машиностроение. Наука и образование: материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбГПУ Ч.1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014, С. 160-162;
4. Борова А.П., Терешин В.А. Пространственное движение шагающего аппарата под действием управляющих воздействий со стороны ноги. Современное машиностроение. Наука и образование. 2012. № 2. С. 177-188.
5. Терешин В.А. Об управлении двуногой ходьбой. Современное машиностроение. Наука и образование: материалы Международной научно-практической конференции. 14 – 15 июня 2011 года, Санкт-Петербург. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011, С. 370-374.

Сведения об авторах

Борина Анастасия Петровна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность, аспирант
Электронная почта: kamchatka1@rambler.ru

Терешин Валерий Алексеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
Должность: доцент
Электронная почта: terva@mail.ru

УДК 621.833 + 621.8.024.4

Б.П. Тимофеев, М.Ю. Сачков

ЗУБЧАТО-ПОВОДКОВАЯ ПЕРЕДАЧА

Аннотация. Работа посвящена вопросам качественных характеристик зубчато-поводковой передачи на параллельных осях. Даная передача является приближенной. Для данной передачи составлена функция положения, получены координаты точек контакта, ошибка функции положения и графики зависимостей передаточного отношения и координат точек контакта от угла поворота. Так же в работе произведено макетирование передачи средствами трехмерной печати для передаточного отношения 1:1 для получения функции перемещения.

Ключевые слова: зубчато-поводковая передача, приближенное зацепление, функция положения.

Актуальность работы. Для передачи вращательного движения применяются различные передачи трением и передачи зацеплением, и те и другие обладают рядом достоинств и недостатков.

Наибольшее распространение в приборостроении и машиностроении получили зубчатые передачи с эвольвентным профилем зуба. Данный тип передач смог завоевать свое доминирующее положение ввиду технологичности и нечувствительности к ряду погрешностей изготовления и монтажа, главным образом к погрешности межосевого расстояния. Если сравнивать эвольвентные цилиндрические зубчатые колеса с циклоидальными, то для производства последних, потребуется значительно большая номенклатура зуборезного и измерительного инструмента. Так же необходимо отметить, что зачастую, вопросы производства носят приоритетный характер по отношению к вопросам «теоретической точности», качественных показателей зацепления и рабочим характеристикам. Наличие погрешностей изготовления, в особенности погрешностей шага и профиля, влияет на вибрации, шумы, удары и износ профилей зуба в зацеплении, а так же на величину нагрузочной способности.

Первая теория, характеризующая геометрию зацепления, была создана в XIX в. Т. Оливье и рассматривала плоские и пространственные случаи зацепления. Так же свой вклад в развитие теории зацепления внес российский ученый Х. Гохман.[1]

Матричный способ преобразования координат (с матрицами четвертого порядка для пространственных зацеплений) был изложен Литвиным Ф.Л.. Он также используется для нахождения скоростей и ускорений. [2]

Целью обозначенных методов является получение строго сопряженных поверхностей. При этом сопряженные передачи обязательно образуют кромочный контакт на входе в зацепление или на выходе из него, при наличии, например, погрешностей шага. Для уменьшения контактных напряжений применяется фланкирование. [3]

Современные приближенные передачи были получены еще в годы второй мировой войны. В частности, для производства конических зубчатых колес (используются в дифференциалах задних мостов автомобилей) американским инженером Э. Вильдгабером был предложен способ «Revacycle», который заключается в круговом протягивании. Этот метод был и остается самым производительным и по сей день. В действительности, Вильдгабер создал передачи с несопряженными поверхностями зубьев - передачи с «приближенным зацеплением» [4, 5]. Передачи с приближенным зацеплением принципиально не могут передавать вращательное движение с постоянным передаточным отношением в процессе зацепления одной пары зубьев. Тем не менее, степень отклонения передаточного отношения от номинального может быть минимизирована, при правильном подборе значений технологических параметров процессов зубообработки. Главной задачей теории приближенных зацеплений заключается в получении закона передачи вращения согласованного с формой боковых поверхностей контактирующих зубьев. Первым за эту задачу в России взялся Ф.Л. Литвин [6], а рубежом М. Бакстер [7]. Так же следует отметить, что еще одной не менее важной задачей синтеза приближенного зацепления является локализация пятна контакта на поверхности зубьев в зоне интенсивного сопряжения, как по профилю зуба, так и по ширине зубчатого венца. Это позволяет получить нечувствительность к погрешностям изготовления и монтажа. Удары связаны с кромочным контактом при вхождении в зацепление или на выходе из него. Явление кромочного контакта может привести к поломке зуба в самом неприятном случае и повышенной ударной нагрузке и как следствие увеличению шума.

Обратная сторона стремления локализовать пятно контакта заключается в снижении нагрузочной способности передачи, т.к. коэффициент перекрытия равен единице (без учета упругости звеньев).[3]

Цели и задачи работы. Целью и задачами работы является анализ пространственной передачи с приближенным зацеплением, состоящей из зубчато-поводковых колес. [8] В работе рассматривается частный случай, когда колеса работают на параллельных осях. Для данной передачи составлена функция положения, получены координаты точек контакта и график зависимости передаточного отношения от угла поворота. Схема данной передачи представлена на Рис. 1. Расчеты производились в MathCAD и получены кинематические зависимости для различных длин поводков и значений передаточного отношения. На кинематической схеме, O_0 и O_3 – неподвижные системы координат, а оси O_0z_0 и O_3z_3 параллельны друг другу. С данными неподвижными (базовыми) системами координат связаны подвижные системы координат, повернутые по осям z_0 и z_3 . Относительно этих подвижных систем координат задается система координат связанная с поводком колеса поворотом на угол α .

Краткие выводы. В современной практике, принимая во внимание погрешности нарезания и монтажа зубчатых колес, существует тенденция применения приближенных передач вместо сопряженных. Наиболее важное свойство приближенных передач заключается в том, что при всех возможных погрешностях изготовления колес, погрешностях монтажа передачи и деформациях под нагрузкой отклонения параметров точности не превысит заранее заданной величины. Настоящее исследование посвящено

анализу качественных характеристик приближенной передачи на параллельных осях. Полученные результаты позволяют считать, что данная передача может с успехом применяться в машиностроении и приборостроении. Особенно важен тот факт, что для ее изготовления не требуется использовать зубообрабатывающие станки.

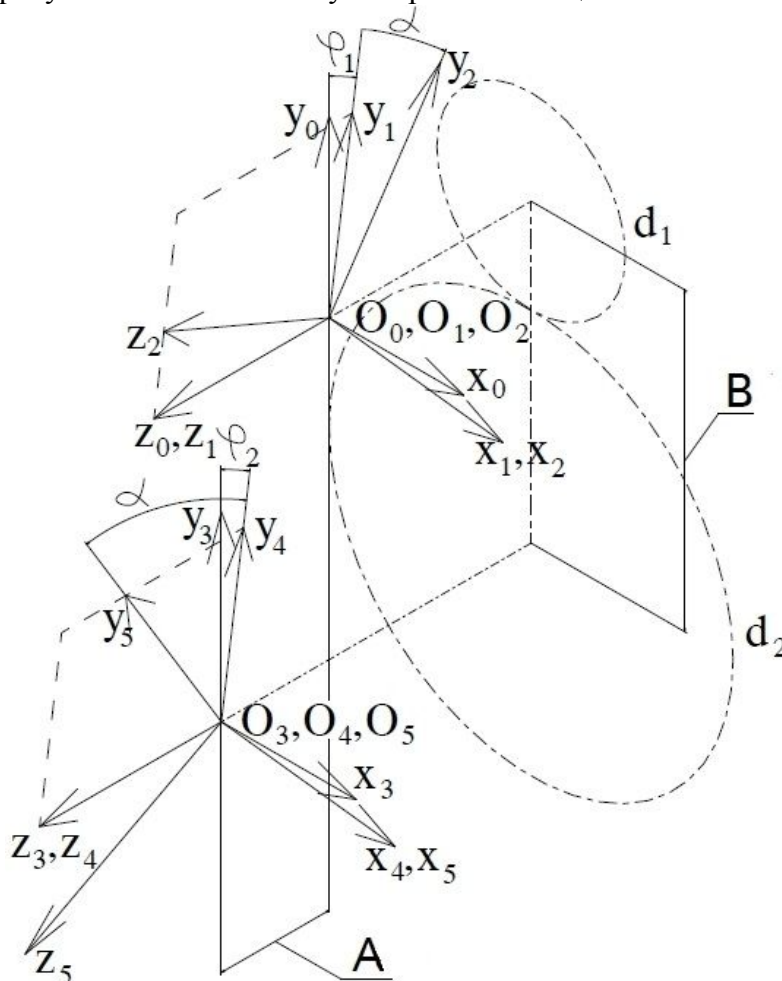


Рис. 1. Схема зубчато-поводковой передачи на параллельных осях

ЛИТЕРАТУРА:

1. Колчин Н.И. Аналитический расчет плоских и пространственных зацеплений. М.: Машгиз. 1949.
2. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / М., «Наука», 1968г., 548 стр. с илл.
3. Шевелева Г.И. Теория формообразования и контакта движущихся тел: Монография./ М., 1999г., 471 стр.
4. Wildhaber, E. Gear cutter. Patent of USA, Nr.2, 267, 181, Patented Dec. 22, 1937.
5. Wildhaber, E. Method of cutting gears. Patent of USA, Nr.2, 357, 153, Patented Aug. 27, 1944.
6. Литвин Ф.Л. Аналитические методы исследования пространственных зацеплений. Труды семинара по теории машин и механизмов АН СССР, вып. 84, 1961.
7. Baxter, M.L. Basic Geometry and Tooth Contact of Hypoid Gears "Industrial Mathematics", 1961, vol. 11, p. 19-42.
8. Патент № 146159. Российская Федерация, МПК F16H 55/10 F15H 55/17. Колесо для передачи вращательного движения // Тимофеев Б.П., Сачков М.Ю.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики". – № 2014120175/11; заявл. 19.05.2014 ; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 28.

Сведения об авторах

Тимофеев Борис Павлович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики».

Рабочий адрес: 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49.

Ученая степень, звание: д.т.н., проф.

Должность: профессор кафедры Мехатроники

Электронная почта: timofeev@mail.ifmo.ru

Сачков Михаил Юрьевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики».

Рабочий адрес: 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49.

Должность: аспирант кафедры Мехатроники

Электронная почта: Urie2006@yandex.ru

УДК: 621.01

В.И. Каразин, А.В. Хисамов

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ ДЛЯ СЛОЖНЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Аннотация. Сложность современных комплексов, отдельных машин и механизмов вынуждают использовать сложные системы управления. В работе рассматривается современный подход к разбиению систем управления на отдельные уровни, который уже много лет применяется в ведущих западных компаниях.

Ключевые слова. Механизм, комплекс, система управления, протоколы взаимодействия, MOVIDRIVE.

Развитие систем управления различными комплексами происходит с каждым годом. С усложнением конструкции механизмов, повышением требований к решаемым задачам и унификации отдельных серий производимой продукции возрастает также требование к системам управления.

Проектирование систем управления под конкретную задачу или под конкретное устройство, как это было зачастую в современном Отечественном машиностроении последние десятилетия, становится все менее актуальным. Крупные западные компании все чаще выпускают в качестве готового программного обеспечения единую систему управления для всей линейки своей продукции [1]. Это позволяет унифицировать разработку, обеспечить преемственность версий продукта, облегчить обучение как сотрудников, так и пользователей систем. В данной работе предлагается рассмотреть вариант построения системы управления с использованием современных подходов на примере разработки системы управления верхнего уровня для центробежного стенда, использующего для осуществления вращения электродвигатель производства SEW EURODRIVE.

Современный подход построения механизмов в большинстве случаев предполагает модульную структуру построения для унификации производства отдельных компонентов [2]. Такой конструктивный подход позволяет произвести аналогичное разделение и с системой управления. Допустим, что комплекс состоит из нескольких независимых исполнительных

блоков. Эти блоки унифицированы и по отдельности могут встречаться также и в других комплексах. Классический подход вынуждает построение различных единых систем управления для каждого из комплексов. Сложность разработки в таких случаях увеличивается в разы. Модульный подход позволяет построить несколько отдельных низкоуровневых систем управления для каждого из элементов комплекса и единую систему управления, которая не зная деталей процессов, происходящих в каждом из модулей, предоставляет возможность осуществлять управление.

В зависимости от сложности конструкции может быть различное число уровней управления. В большинстве случаев достаточно двух или трех уровней управления, которые позволят осуществлять деятельность достаточно сложных решений [3], например:

- I уровень: система управления силовой установкой;
- II уровень: система управления отдельным модулем;
- III уровень: система управления комплексом.

Рассмотрим на примере центробежный стенд, базирующийся на электродвигателе SEW EURODRIVE и имеющий в качестве дополнительного датчика высокоточный акселерометр. Простота конструкции позволяет отказаться от второго уровня, так как весь комплекс состоит из одного модуля. Система управления двигателем поставляется компанией SEW EURODRIVE в комплекте поставки двигателя, что позволяет разработчику не конкретизировать деталей процессов, происходящих на низшем уровне. Также это позволяет в любой момент заменить имеющийся электродвигатель на любой другой от того же производителя, так как компания SEW EURODRIVE, как и большинство других компаний по производству электродвигателей, имеет единый интерфейс управления всей линейкой своей продукции. Мы сводим управление двигателем к схеме управления черным ящиком, внешние характеристики и интерфейс управления которым нам известен. Таким образом, задача управления комплексом свелась к более простой задаче – управлению механизмом.

Для осуществления управления описанным черным ящиком предлагается использовать последовательный интерфейс передачи данных. Компания SEW EURODRIVE предлагает использовать приводные преобразователи MOVIDRIVE, которые в стандартной комплектации обладают следующими последовательными интерфейсами:

- Системная шина – шина совместимая со спецификацией CAN 2.0;
- Интерфейс RS-485, интерфейс стандарта EIA.

В зависимости от необходимости подключение можно осуществить также и через другие интерфейсы:

- RS-232
- Ethernet
- PROFIBUS-DP
- INERBUS
- CANopen
- DeviceNet
- и другие.

Системная шина SBUS предоставляет широкий спектр возможностей подключения [4]. Многообразие различных CAN-модулей для персональных компьютеров позволяет осуществить подключение к портам USB, Ethernet, PCI, PCI-Express и др.

Единый протокол и различные методы подключения позволяют создать небольшую библиотеку – драйвер [5], которую легко заменить в случае смены способа подключения, не затрагивая основной программный код. В таком случае архитектура приложения строится из следующих компонентов:

- основной интерфейсный блок;
- класс математических функций;

- класс чтения состояния;
- класс задания программы вращения;
- класс чтения-записи данных.

Пример экрана универсальной системы управления центробежными стендами представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид программы для ПК – системы управления

Система управления разработана с применением платформы .NET и ориентирована на использование с любым современным персональным компьютером. Для удобства управления рекомендуется использовать сенсорный монитор FullHD. Элементы управления выполнены в размере, достаточном для удобного управления с помощью касаний пальцев.

ЛИТЕРАТУРА:

1. G. Vachtsevanos. Hierarchical control // Handbook of Fuzzy Computation. 1998. №2. С. 42-53.
2. Y. Cao, D. Stuart, W. Ren, Z. Meng. Distributed Containment Control for Double-integrator Dynamics: Algorithms and Experiments // American Control Conference. 2010. С. 3830-3850.
3. P. Lin, W. Ren. Constrained Consensus in Unbalanced Networks with Communication Delays // IEEE Transactions on Automatic Control. 2014. № 3. С. 775-781.
4. MOVIDRIVE® MDX61B. DriveSync via Fieldbus. Application /SEW EURODRIVE. German, 2010. 96с.
5. Ivica Crnkovic. Component-based software engineering — new challenges in software development // Software Focus. 2001. № 2. С. 127-133.

Сведения об авторах

Каразин Владимир Игоревич
 Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
 Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
 Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
 Должность: профессор
 Электронная почта: tmm-russia@mail.ru

Хисамов Андрей Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: аспирант
Электронная почта: andrey@k-digital.ru

УДК: 621.793

С.В. Захаров, Л.А. Ушомирская

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ
КОРОЗИОННОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ТУК-146**

Аннотация. Для нанесения коррозионностойкого покрытия на внутреннюю поверхность и торцы комингса изделия, предложено автоматизированное оборудование. Подготовлена теоретическая, технологическая и материальная база для анализа методов плазменного и высокоскоростного газодинамического напыления коррозионностойкой стали на высокопрочный чугун.

Ключевые слова: коррозионностойкие покрытия, высокопрочный чугун, коррозионностойкая сталь, технологическое оборудование, методы нанесения.

В настоящее время очень актуальна тема экологии, и в связи с этим актуален вопрос о транспортировке и специального хранения отработанного ядерного топлива, в стране, обладающей широкой номенклатурой атомных реакторов различного назначения.

30 октября 2013 года «АЭМ-технологии» (входит в машиностроительный дивизион РосАтома - Атомэнергомаш) представил новый транспортно-упаковочный контейнер ТУК 146 (рис. 1) для отработанного ядерного топлива ВВЭР-1000/1200.

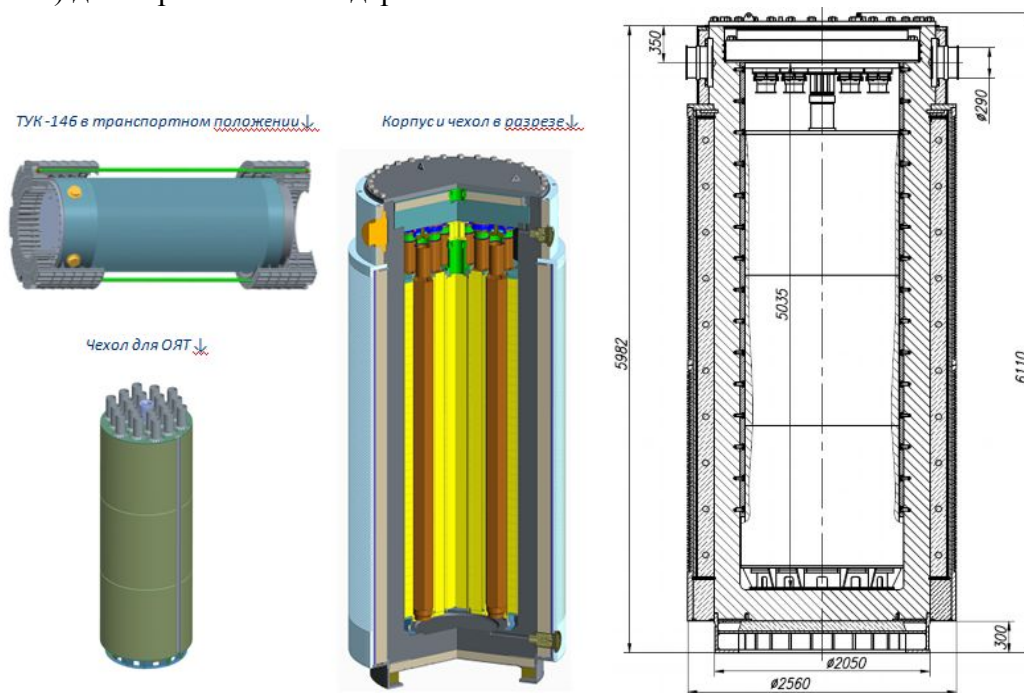


Рис. 1. Внешний вид и габариты изделия

В процессе сертификационных испытаний, в процессе дезактивации контейнера, в следствии воздействия на него агрессивных сред, внутренняя поверхность контейнера и торцы комингса подверглись коррозии, что недопустимо. Для устранения коррозии поверхностного слоя, были сформулированы следующие задачи:

1. Рассмотреть методы нанесения покрытий.
2. Спроектировать установку для нанесения покрытия на поверхности изделия.

После рассмотрения на предмет технологичности, производительности и себестоимости был выбран метод газотермического напыления. Особенностью этого метода является то, что получаемое покрытие формируется из направленного потока дисперсных частиц со средним размером 10-200 мкм. Структура материала покрытия формируется при ударе, деформации и затвердевании нагретых частиц на поверхности основы (подложки) или предыдущих остывших частиц, как показано на рис. 2. При этом образуется слоистый материал, состоящий из деформированных частиц (сплэтов), соединенных контактными участками.

Выделим два вида напыления: плазменное и высокоскоростное газодинамическое.

Плазменное напыление. Источник нагрева напыляемого материала – плазменная струя, получаемая в дуговых плазмотронах, имеет среднемассовую температуру $T_{см} \geq 10000^{\circ}\text{C}$. Скорость истечения (в зависимости от конструкции плазменной установки) может достигать сверхзвуковой уровень. Плазменная струя способна расплавить любой материал, если он не разлагается и не возгоняется при нагреве и ускорить частицы до скорости более 1000 м/с (частицы 5-10 мкм в условиях динамического вакуума).

Плазменный распылитель (рис. 3) состоит из катодного и анодного узлов. Между катодом и анодом возбуждается электрическая дуга. Дуга в сопле анода отщипывается газовым потоком от стенок охлаждаемого сопла и сжимается, что увеличивает плотность её энергии и повышает температуру столба дуги.

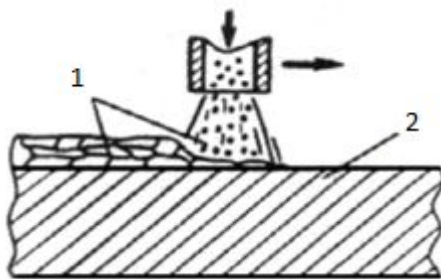


Рис. 2. Схема нанесения газотермических покрытий;
1 – материал покрытия, 2 – изделие

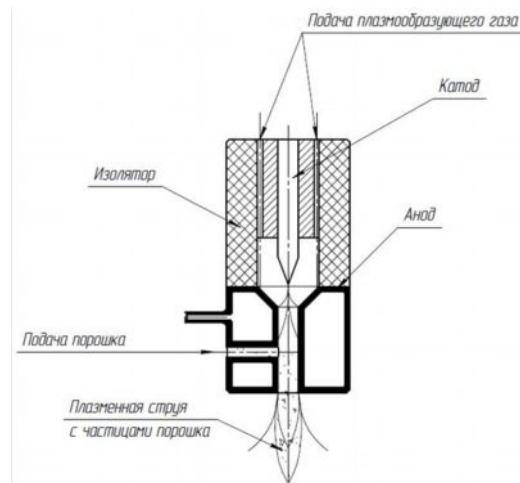


Рис. 3. Плазмотрон для нанесения покрытия

Высокоскоростное газодинамическое напыление. Системы высокоскоростного газопламенного напыления делится по типу оборудования (рис. 4) на системы керосин-кислород (HVOF) и системы пропан-воздух (HVOF). С помощью высокоскоростного напыления наносятся покрытия из карбидов вольфрама, хрома, никель- кобальт- и железно-базированных порошков. Преимуществом технологии является формирование в получаемых покрытиях напряжений растяжения, что позволяет получать более толстые покрытия, от 0,1 до 5 мм и более, пористость $\leq 1\%$, скорость частиц более 5000 м/с, производительность до нескольких сотен килограмм.

Установка для нанесения покрытия. На рис. 5 изображена модель установки, которая состоит из опорного каркаса 1, являющийся станиной для установки оборудования; опорно-поворотного устройства 2, на котором базируется и приводится во вращение контейнер; каретки 3, которая осуществляет перемещение инструмента внутрь контейнера; стрелы 4, на

конце которой установлен робот-манипулятор; робота-манипулятора 5, осуществляющего закрепление напылителя и его координатное перемещение; напылителя, осуществляющего нанесение покрытия; системы ориентации, для определения отклонений и отслеживания перемещений в реальном времени; оборудования для нанесения покрытия; блока управления системой ЧПУ.

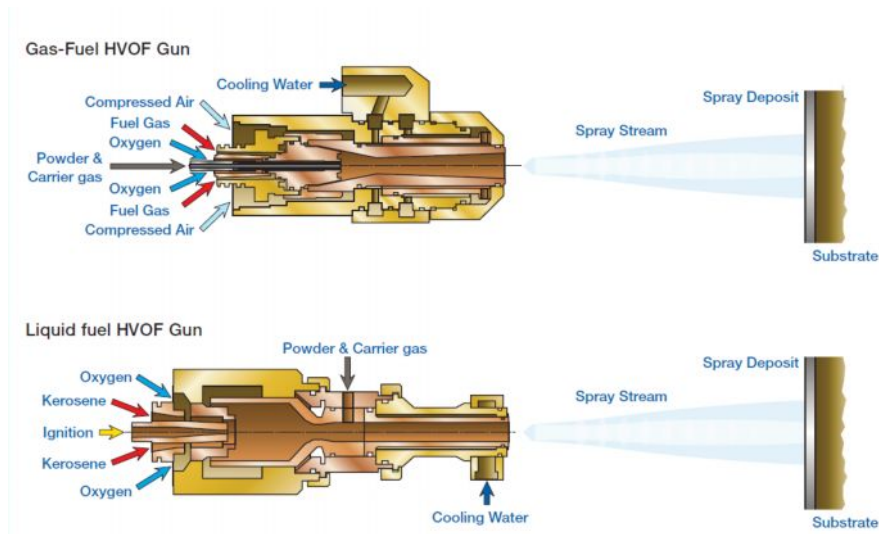


Рис. 4. Напылители для методов HVOF и HVAF

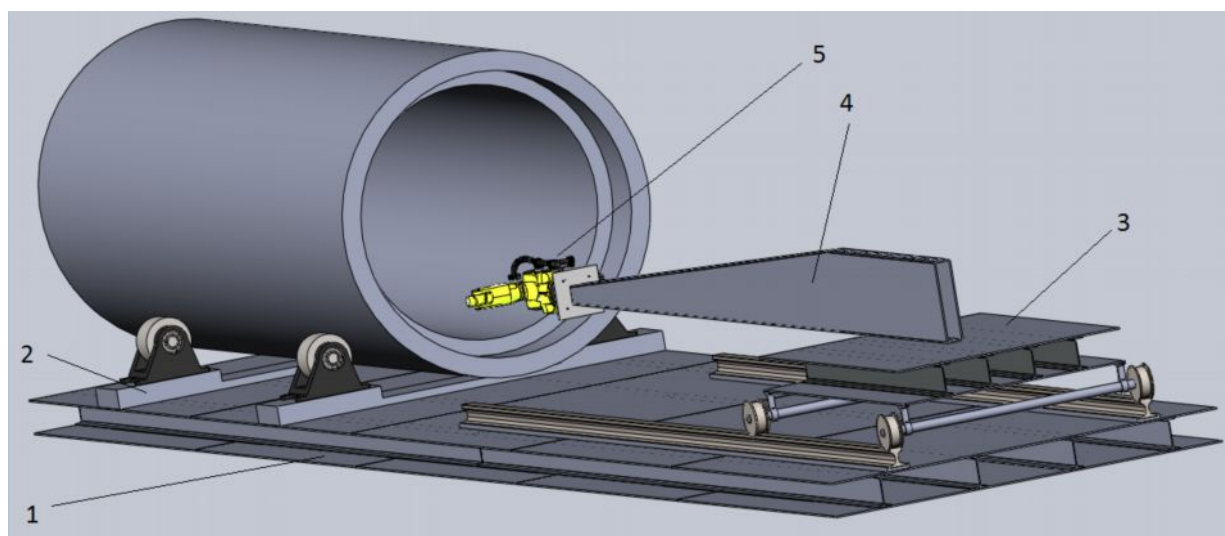


Рис. 5. Модель установки для нанесения покрытия

Выводы: Предложенная конструкция установки позволяет осуществить процесс нанесения покрытия на крупногабаритные изделия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Газотермическое напыление: учеб. пособие / кол. Авторы; под общей ред. Л.Х. Балдаева. – М.: Маркет ДС, 2007.
2. Технология конструкционных материалов: учеб. Пособие для вузов / А.Г. Алексеев, Ю.М. Барон, М.Т. Коротких, В.С. Медко, В.И. Никифоров, М.М. Радкевич, И.А. Сенчило, Е.И. Серяков, Л.А. Ушомирская, М.А. Шатерин; Под ред. М.А. Шатерина. СПб.: Политехника, 2005.

3. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. В 2-х кн. 1/ П.И. Орлов. Под ред. П.Н. Учаева. – Изд. 3-е, испр., - М.: Машиностроение, 1988.
4. Проектирование металлорежущих станков. Тарзаманов Г.А. М., Машиностроение, 1972.
5. Справочник металлиста. В 5-ти т. Изд. 3-е, перераб. Под ред. С.А. Чернавского и В.Ф. Решикова. М., Машиностроение, 1976.

Сведения об авторах

Захаров Сергей Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент 5-го курса
Электронная почта: terapeft@mail.ru

Ушомирская Людмила Алексеевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., профессор
Должность: профессор
Электронная почта: mmf.spbstu@mail.ru

УДК 62-112.9

А.И. Волох, М.Т. Коротких

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ МАРКИРОВКИ НА КОНЦЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности маркировки цилиндрического концевой режущего инструмента, возможные способы нанесения надписей на металлическую поверхность, их сравнительные характеристики. Предложена конструкция автоматического оборудования, отличающегося простотой и высокой производительностью, позволяющего использовать различные электрофизические процессы маркировки.

Ключевые слова: режущий инструмент, маркировка, автоматизация, электрофизические процессы.

При изготовлении концевой режущего инструмента (сверл, зенкеров, метчиков, фрез) одной из технологических операций является маркировка, которая обычно содержит сведения о характерном размере инструмента, марке инструментального материала и, иногда, о фирме изготовителе. Такая маркировка наносится на цилиндрическую поверхность инструмента, что представляет определенные технологические трудности. Нанесение маркировки вручную, учитывая крупносерийный или массовый характер производства, чрезвычайно трудоемко, что определяет актуальность задачи автоматизации этой технологической операции.

В настоящее время отработаны различные способы нанесения маркировки, которые отличаются технологическими возможностями и стоимостью применяемого оборудования. Существуют различные способы химической и электрохимической маркировки, которых в настоящее время следует избегать вследствие их производственной вредности и экологических проблем утилизации электролитов [1].

Наиболее современным способом маркировки является лазерное гравирование, при котором локально оплавляется поверхностный слой предмета (рис. 1, а). В промышленности для маркировки металлов хорошо себя зарекомендовал оптико-волоконный лазер [2],

который позволяет наносить надёжную маркировку при высоком качестве и скорости нанесения символов. Однако способ требует дорогого технологического оборудования и сам по себе не решает задачи нанесения символов вокруг цилиндрической поверхности.

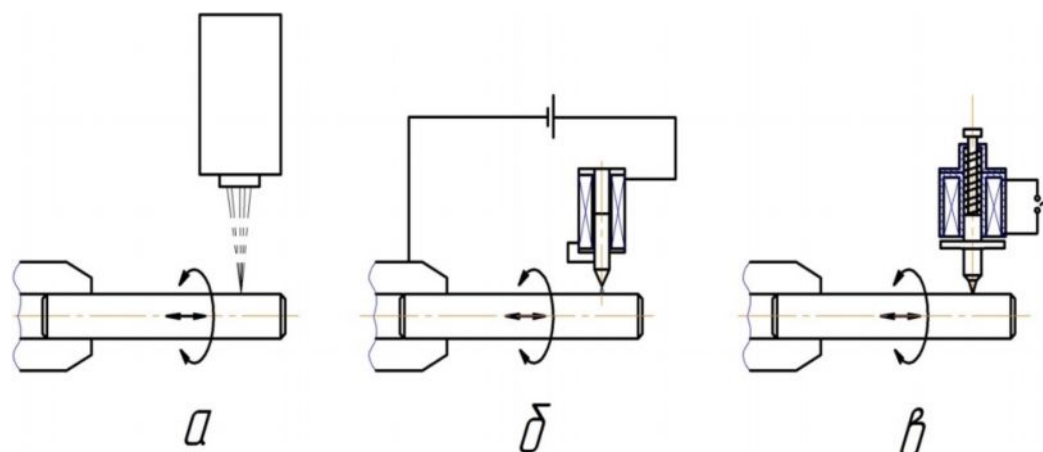


Рис. 1. Методы маркировки на цилиндрической поверхности

Более дешевым является ранее известный способ ударно-точечной маркировки, которая производится путём нанесения на поверхность металла серии точек, множество которых формируют линию надписи. Исполнительный механизм может быть пневматическим и электрическим, который приводит в действие твердосплавный индентор [3] (рис. 1, б). Такой способ позволяет наносить маркировку на стальные поверхности с твердостью до 62 HRC. Недостатком этого способа является ударное интенсивное воздействие на изделие, что может приводить к его деформации, особенно при маркировке инструмента малых диаметров. Применение этого способа также требует решения ряда проблем при маркировке цилиндрических поверхностей.

Одним из давно используемых способов является электроискровая маркировка, которая основана на эффекте расплавления и испарения микропорций металла под воздействием импульсов электрического тока, проходящих в канале разряда между поверхностью изделия и электродом-инструментом [4, 5] (рис. 1, в). Оборудование для такой маркировки достаточно дешево, но такая маркировка обычно применяется при ручном нанесении надписей, что весьма трудоемко и не обеспечивает требуемого качества.

При реализации электроискровой и ударно-точечной маркировок частота нанесения отдельных точек зависит от механической колебательной системы и при применении электромагнитных или пневматических устройств не превышает 100 Гц. Размеры одной точки, исходя из параметров шрифта и снижения механических нагрузок на изделие, обычно не превышают 0,1...0,2 мм. Это позволяет наносить маркировочную линию со скоростью 10...20 мм/с, что во многих случаях является вполне приемлемым.

При этом время нанесения характерной надписи на инструменте, например, Ø6 P6M5 составит не менее 10 с, что при автоматизации процесса в условиях массового производства является слишком продолжительным, так как обеспечивает производительность не более 300 шт/час.

Конечно, метод лазерной маркировки не имеет таких ограничений по производительности.

Как видно из представленных схем обработки (рис. 1) при реализации любого из указанных способов маркировки нанесение любой надписи возможно при неподвижном инструменте и при согласовании вращательного и поступательного движений изделия. Поэтому была поставлена задача разработки универсального оборудования, позволяющего программным путем задавать требуемую маркировку на цилиндрической поверхности, и

реализовать любой из указанных способов нанесения маркировочных знаков. Причем сам маркирующий инструмент должен выбираться в зависимости от требований к маркировке и серийности производства, а скорость движения изделия при маркировке должна регулироваться в широких пределах в зависимости от применяемого способа нанесения надписи.

Спроектированное оборудование позволяет полностью автоматизировать процесс нанесения надписей на цилиндрических хвостовиках концевой инструмента диаметром от 4 до 12 мм.

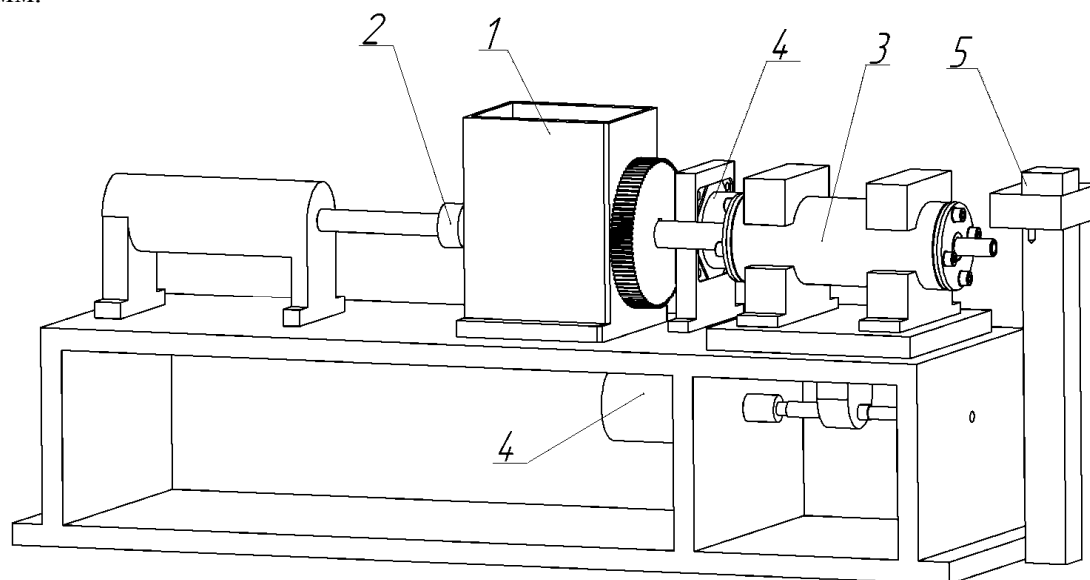


Рис. 2. Схема установки для маркировки концевой цилиндрической инструмента

Маркируемые изделия загружаются в бункер 1 (рис. 2) и периодически приводным толкателем 2 подаются через шпиндель 3 в зону маркировки. Шпиндель в процессе маркировки может перемещаться вращательно и поступательно вдоль оси вращения за счет двух механизмов, приводимых от шаговых мотор-редукторов 4, управляемых программируемым контроллером. На стойке 5 может закрепляться лазерное устройство, электрографический карандаш или устройство ударно-точечной маркировки.

Таким образом, можно наносить любые знаки на цилиндрические поверхности, выбирая способ воздействия исходя из обрабатываемого материала, серийности производства и допустимых затрат.

Выводы. Для реализации многих способов маркировки цилиндрических изделий может быть предложено универсальное автоматизированное устройство, отличающееся простотой и низкой стоимостью.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Филиппов Г.В. Режущий инструмент — Л.: Машиностроение, 1981.
2. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. — М.: Машиностроение, 1989.
3. Миркин Л.И. Физические основы прочности и пластичности. — М.: Изд-во МГУ, 1969.
4. Коротких М.Т., Абраменко С.А. Повышение износостойкости режущего инструмента и деталей машин электроискровой обработкой Современное машиностроение. Сборник трудов. Вып.1, СпБИМ, -СПб, 1999г., с.8-11
5. Медведюк Н.И. Меднико-жестяницкие работы. Учебник для проф-техн. учеб. заведений. М., «Высшая школа», 1970.

Сведения об авторах

Волох Алёна Игоревна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент 5-го курса
Электронная почта: a.volox2013@ya.ru

Коротких Михаил Тимофеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., профессор
Должность: профессор
Электронная почта: kmt46@mail.ru

УДК 621.039.53:669.14

Е.Л. Левашова, М.В. Яковицкая

ЗАЩИТА ВНЕШНИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ

Аннотация. В данной работе рассматривается проблема борьбы с коррозией на внешних поверхностях трубопроводов. Сравниваются виды защиты. Выбирается оптимальный вид защиты для данных условий эксплуатации.

Ключевые слова: коррозия, катодная защита, протекторная защита.

Трубопроводы в процессе эксплуатации подвергаются процессу коррозии. Коррозия протекает как на внешней стенке трубопровода, так и на внутренней. Борьба с коррозией на внутренних стенках трубопроводов индивидуальна, в зависимости от того что протекает в них. А внешняя коррозия имеет общую картину вне зависимости назначения трубопровода.

Под коррозией металла понимают процесс самопроизвольного окисления, приводящий к разрушению металла под воздействием окружающей среды. Коррозия в зависимости от механизма реакций, протекающих на поверхности металла, подразделяются на химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия представляет собой процесс разрушения металла при взаимодействии с сухими газами или жидкими не электролитами.

При длительной эксплуатации трубопроводов, защищенных только изоляционным покрытием, возникают сквозные коррозионные повреждения уже через 5—8 лет после укладки трубопроводов в грунт вследствие почвенной коррозии, так как изоляция со временем теряет прочностные свойства и в ее трещинах начинаются интенсивные процессы наружной электрохимической коррозии [1].

Электрохимическая коррозия (коррозионное разрушение) возникает под действием коррозионно-активной среды, разнообразна по характеру, вызывает большинство коррозионных разрушений трубопроводов. Электрохимическая коррозия протекает с наличием двух процессов — катодного и анодного.

Основной причиной коррозии металла трубопроводов является термодинамическая неустойчивость металлов. На возникновение коррозии оказывают влияние неоднородность состава металла, условий на поверхности металла, состав среды и пр. [2]

Защита трубопроводов от коррозии может быть активной и пассивной. К активным средствам защиты трубопроводов от наружной коррозии относятся электрические методы, катодная и протекторная защита. При пассивной защите на наружную поверхность

трубопроводов наносят покрытия и изоляцию, при активной - устраняют причины, вызывающие коррозию.

Продлить срок службы трубопроводов можно, применяя следующие способы защиты:

- изоляцию поверхности металлических изделий от агрессивной среды (пассивная защита), т.е. нанесение на поверхность металлического слоя химически инертного, относительно металлической и агрессивной среды, вещества с высокими диэлектрическими свойствами;

- воздействие на металл с целью повышения его коррозионной устойчивости, т.е. обработка его окислителями, вследствие чего на его поверхности образуется плёнка из продуктов коррозии;

- нанесение на металл конструкции из малостойкого металлического тонкого слоя другого металла, которые обладают меньшей скоростью коррозии в данной среде, например, горячее алюминирование, хромирование;

На практике применяется сочетание пассивных и активных методов защиты.

Катодная защита заключается в наведении на трубопровод специальными установками внешнего электрического поля, создающего катодный потенциал на поверхности трубы. При такой защите коррозионному разрушению подвергается электрически подключенный к защищаемому трубопроводу 1 анод 3, изготовленный из электропроводных материалов [3].

Принципиальная схема катодной защиты изображена на рис. 1.

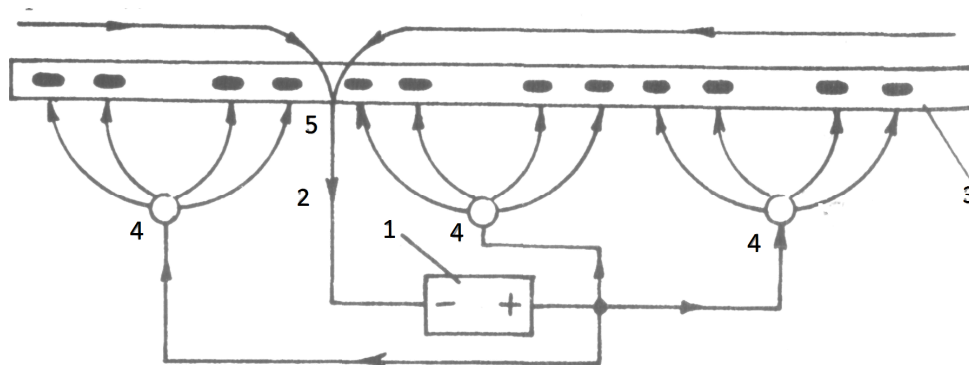


Рис. 1. Принципиальная схема катодной защиты трубопровода:

- 1 — источник постоянного тока; 2 — изолированный электропровод;
- 3 — трубопровод с поврежденной изоляцией; 4 — анод (заглубленное железо);
- 5 — дренаж (соединение тела трубы с электропроводом)

Протекторная защита относится к электрохимическому виду защиты трубопровода от коррозии и основана на принципе работы гальванического элемента. Она автономна, благодаря чему может использоваться в районах, где отсутствуют источники электроэнергии [4].

Принципиальная схема протекторной защиты изображена на рис. 2. Наиболее распространенными протекторами являются магниевые, потенциал которых $E_{\text{пр}}$ до подключения их к трубопроводу составляет - 1,6 В. Минимальный расчетный защитный потенциал $E_{\text{min пр}}$ составляет, так же, как и для катодной защиты - 0,85 В, естественный потенциал трубопровода по отношению к медносulfатному электроду сравнения $E_{\text{ест}} = - 0,55$ В. Для повышения эффективности работы протектора его погружают в специальную смесь солей, называемую активатором.

При протекторной защите к защищаемому трубопроводу присоединяют металлический протектор (анодный электрод), и имеющий более вязкий электрический потенциал, чем потенциал металла трубопровода. С применением протекторной защиты трубопровод принимает полярность катода, а протектор - анода.

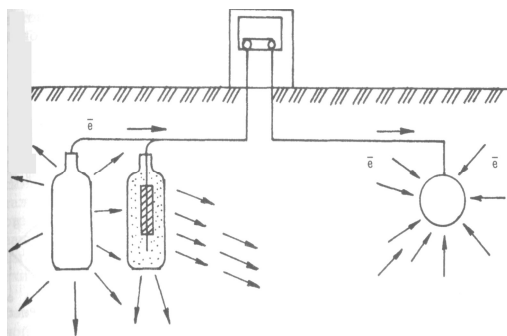


Рис. 2. Принципиальная схема протекторной защиты

Принцип действия протекторной защиты аналогичен работе гальванического элемента [5].

Два электрода (трубопровод и протектор, изготовленный из более электроотрицательного металла, чем сталь) опущены в почвенный электролит и соединены проводником. Так как материал протектора является более проводимым, то под действием разности потенциалов происходит направленное движение электронов от протектора к трубопроводу по проводнику. Одновременно ион-атомы материала протектора переходят в раствор, что приводит к его разрушению. Сила тока при этом контролируется с помощью контрольно-измерительной колонки.

Таким образом, разрушение металла все равно имеет место, но не трубопровода, а протектора.

Вывод. Протекторная защита более рентабельна в рамках использования для защиты от коррозии в связи со своей автономностью.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Коршак А.А., Нечваль А.М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов. СПб.: Недра, 2008. – 488 с.
2. Мустафин Ф.М., Кузнецов М.В., Быков Л.И. Защита от коррозии. Т. 1. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2004. – 806 с.
3. Нефтегазовое строительство / Под ред. И.И. Мазура, В.Д. Шапиро. М.: Недра, 2005. – 790 с.
4. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии. М., 2006. – 306 с.
5. Справочник инженера по эксплуатации нефтегазопроводов и продуктопроводов. М.:Инфра-Инженерия, 2006. – 928 с.

Сведения об авторах

Левашова Екатерина Львовна

Санкт-Петербургский политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: лаборант кафедры ТКМиМ ИММиТ, студент 3го курса

Электронная почта: l_ekaterina_l@mail.ru

Яковицкая Марина Валентиновна

Санкт-Петербургский политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н.

Должность: заведующий учебной лабораторией кафедры ТКМиМ ИММиТ, доцент

Электронная почта: mava1968@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА

Аннотация. Микродуговое оксидирование алюминиевых сплавов позволяет повысить твердость поверхности и ее антикоррозионные свойства. Проведенные исследования позволили определить рациональные режимы обработки, отличающиеся относительно низким напряжением и плотностью тока, подобрать состав электролита, отличающийся дешевизной и экологичностью. На базе проведенных исследований спроектировано автоматизированное оборудование для покрытия деталей из алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, электролит, алюминиевый сплав, автоматизированное оборудование.

В современном роботостроении в качестве конструкционных материалов наиболее широко применяются алюминиевые сплавы. Что объясняется их высокой удельной прочностью, высокими технологическими свойствами, позволяющими получать обработкой резанием точные детали сложной формы.

Однако алюминиевые сплавы не обладают высокой коррозионной устойчивостью в ряде агрессивных сред и низкой поверхностной твердостью, не позволяющей создавать износостойчивые пары трения или предотвращать повреждение поверхностей при внешних абразивных воздействиях.

Поэтому разработка технологических методов упрочнения и защиты поверхности таких деталей является актуальной технологической задачей.

В настоящее время широко исследуются различные методы упрочнения поверхности с использованием электрических разрядов [1].

Одним из новых методов нанесения покрытий на поверхности деталей из алюминиевых сплавов является микродуговое оксидирование в среде специальных электролитов [2]. Однако этот технологический процесс до сих пор не вышел из стадии исследований, что затрудняет его промышленное применение. Имеющиеся литературные данные об условиях и режимах протекания процесса весьма противоречивы. Так в одних источниках рекомендуется проводить процесс при постоянном токе высокого напряжения $U=380-600$ В [3], в других источниках процесс проводят при переменном токе частотой 50 Гц при напряжении $U=220-1000$ В [4].

Состав применяемых электролитов и их концентрация, рекомендуемые различными авторами, значительно отличаются. Рекомендуются как органические кислоты (борная, лимонная, щавелевая), так и различные щелочные среды сложного состава [5].

Отмечается, что данным процессом можно получать на поверхности толстые (до 0,4 мм) пленки оксида алюминия или комплексных соединений. Данные пленки имеют высокую твердость и высокую адгезию с основным материалом. В ряде источников отмечается высокая пористость образующегося слоя, но в то же время высокая степень защиты материала от коррозии.

Характерной особенностью данного метода, отмечаемой в литературе является, высокая длительность проведения процесса, достигающая 60 мин [5].

Исходя из проведенного анализа и в соответствии с поставленной производственной задачей разработки технологии покрытия и специального технологического оборудования были сформулированы задачи исследования:

- определить наиболее подходящий электролит для реализации процесса, отличающийся высокой экологичностью, низкой стоимостью и достаточной производительностью;

- определить рациональные режимы обработки, позволяющие получать покрытия заданной толщины за приемлемое время;

- предложить структурную схему автоматизированного технологического оборудования, позволяющую безопасно реализовать процесс в производственных условиях.

Проведенные эксперименты показали, что наиболее устойчиво процесс микродугового оксидирования происходит при переменном токе частотой 50 Гц.

Причем зависимость плотности тока от напряжения носит линейный характер (рис. 1) и зависит от вида электролита и его концентрации.

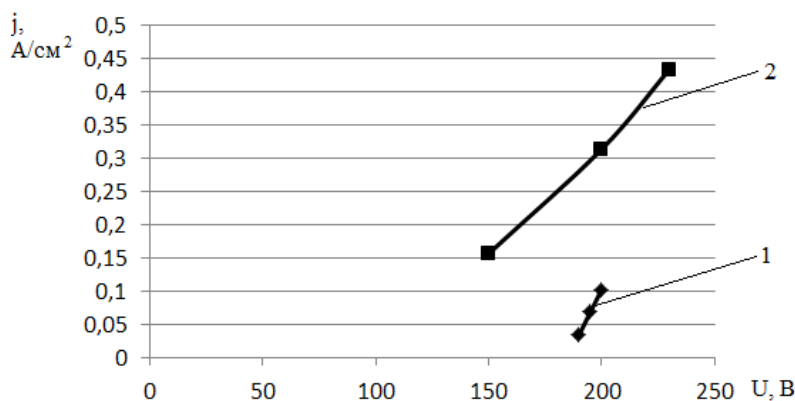


Рис. 1. Зависимость плотности тока от напряжения
1. C₆H₈O₇. n=60/0,85 г/л ; 2. Na₂SiO₃. n=80/0,5 г/л

Оказалось, что при оксидировании в растворе Na₂SiO₃ плотность тока значительно ниже, чем при обработке в растворах органических кислот, а скорость нарастания покрытия выше. При обработке в растворе Na₂SiO₃ не происходит выделения каких либо газов, кроме испарения электролита.

Толщина покрытия пропорциональна времени проведения процесса (рис. 2.).

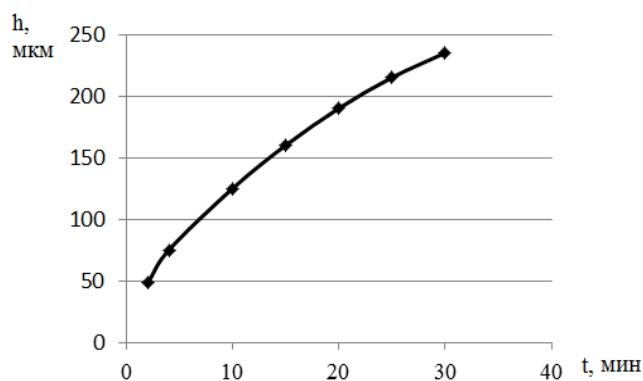


Рис. 2. Зависимость толщины покрытия от времени оксидирования
Na₂SiO₃. n=80/0,5 г/л, U=200 В, j=0,072 A/cm²

Зависимость скорости нарастания покрытия от плотности тока представлена на рисунке 3.

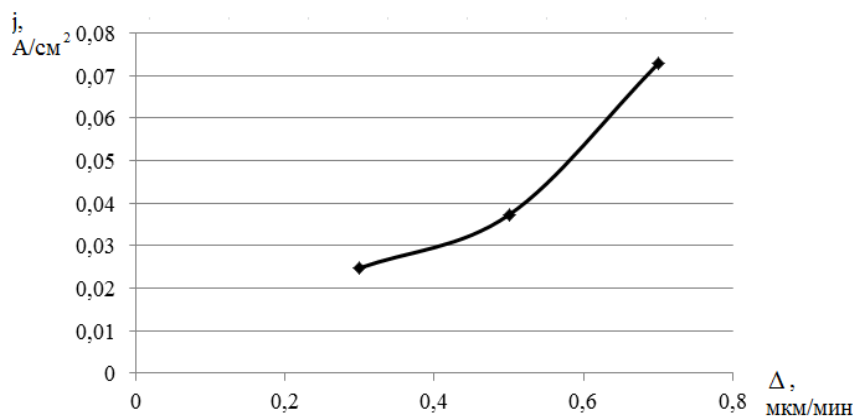


Рис. 3. Зависимость скорости оксидирования от плотности тока Na_2SiO_3 . $n=80/0,5$ г/л, $U=200$ В

Полученные результаты позволили предложить производственный процесс микродугового оксидирования корпусных деталей манипуляторов на режимах: ток переменный, U до 250 В, j до 1 А/см², при которых за время менее 10 минут, возможно нанесение покрытия до 0,1 мм; и разработать автоматизированное оборудование для его реализации (рис. 4).

Оборудование состоит из рабочей 1 и вспомогательной 2 ванн, связанных системой прокачки электролита, состоящей из насоса 3 и системы трубопроводов. Источник питания переменным током напряжением 250 В с максимальной силой тока до 400 А и система управления технологическим процессом расположены в шкафу 4. Рабочая ванна установлена под вытяжной вентиляционной системой 5, которая предотвращает попадание паров электролита в зону обслуживания. При реализации технологического процесса через рабочую ванну осуществляется непрерывная прокачка электролита и охлаждение его во вспомогательной ванне, что обеспечивает стабилизацию его температуры.

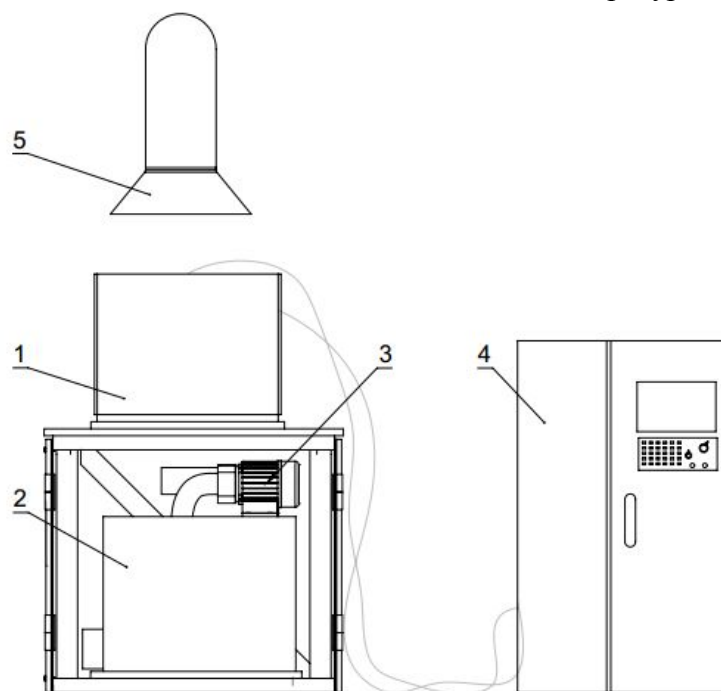


Рис. 4. Схема оборудования

Выводы:

1. Требуемую толщину покрытия (0,05...0,1мм) можно получить за время менее 10мин.
2. Процесс может быть полностью автоматизирован и экологически безопасен.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Коротких М.Т. Кряжев Д.Ю. Перспективы применения плазменного разряда в электролите для обработки конструкционных материалов, Академический вестник Балтийской академии информатизации. Вып.1.Естествознание- Техника – Образование - Культура. Изд-во "Инструмент", - СПб, 1998г.,с. 59-62
2. Луц А.Р., Суслина А.А. Алюминий и его сплавы / Луц А.Р., Суслина А. А. – Самара: СГТУ, 2013.- 81с.;
3. Жуковский А.В., Морозов Е.М., Шандров Б.В. Технология и оборудование упрочнения поверхностей деталей методом микродугового оксидирования / Жуковский А.В. И др. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 130с.;
4. Бардин И.В. Электрические режимы микродугового оксидирования алюминиевых и магниевых сплавов в щелочных электролитах (диссертация) / Бардин И.В. – М., 2009.;
5. Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л, Борисов А.М. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) /И.В. Суминов и др. – М.: ЭКОМЕТ, 2005.- 368с.: ил.;

Сведения об авторах

Коротких Михаил Тимофеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.
Ученая степень, звание: д.т.н., профессор
Должность: профессор
Электронная почта: kmt46@mail.ru

Марцинкевич Ирина Алексеевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.
Студент магистратуры
Электронная почта: barbariskiss@gmail.com

УДК: 621.9.048

В.В. Макин

**РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО
ОКСИДИРОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ**

Аннотация. Рассмотрен процесс электролитно-плазменного оксидирования титанового сплава. Найдены оптимальные технологические параметры процесса при минимизации себестоимости образования покрытия. За основу взята регрессионная модель, построенная по результатам дробного факторного эксперимента. Решена задача оптимизации с использованием условий Каруша-Куна-Таккера. Приведены значения параметров в зависимости от необходимой толщины оксидного слоя.

Ключевые слова: плазменно-электролитическое оксидирование, электролитно-плазменная обработка, оптимизация технологических процессов, нелинейное программирование, условия Каруша-Куна-Таккера.

Инженеру постоянно приходится сталкиваться с проблемой выбора материала, из которого будут выполнены детали. Зачастую материал, подходящий для изготовления тела детали, не отвечает требованиям, предъявляемым к поверхностям. Данная проблема решается с помощью нанесения покрытий на основной металл.

Актуальность данной проблемы привела к интенсивной разработке новых методов получения покрытий или улучшению существующих методов, путем более глубокого их изучения. В настоящее время активно исследуется технология плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО), позволяющая получать на металлических заготовках керамические покрытия, состоящие в основном из оксидных и гидроксидных форм основного металла. Данный способ нанесения покрытий является модификацией электрохимического анодирования, обладающий рядом технологических преимуществ, к которым относятся высокая адгезионная прочность, отсутствие холодильного оборудования, отсутствие требований к подготовке поверхности заготовки, экологичность и неагрессивность электролитов [1].

В предыдущей работе [2] по результатам дробного факторного эксперимента была построена регрессионная модель второго порядка, описывающая изменение толщины получаемого покрытия при изменении основных технологических параметров процесса ПЭО:

$$\bar{Y} = 44,577 - 32,746X_1^2 - 9,683X_2^2 - 29,586X_3^2 + 61,210X_4^2 + 3,414X_2 - 5,196X_3 - 7,352X_1X_2 - 8,194X_1X_3 + 5,204X_1X_4 + 1,691X_2X_3 - 8,769X_2X_4 - 6,270X_3X_4$$

где $\bar{Y}$ – толщина получаемого покрытия, мкм; X_1, X_2, X_3, X_4 , – нормированные факторы, обозначающие, соответственно, концентрацию электролита, рабочее напряжение, время обработки, площадь поверхности обрабатываемого образца.

В данной работе ставится задача подбора технологических параметров процесса для заданной толщины покрытия при минимизации себестоимости.

Себестоимость операции ПЭО складывается из затрат на электроэнергию и затрат на химикаты. Формула себестоимости для ПЭО процесса будет аналогична себестоимости обычного электрохимического оксидирования [3]:

$$C = ((j \cdot k_{\text{Э}}) / (60000 \cdot \eta)) \cdot (U \cdot \tau) / S + ((k_{\text{С}} \cdot k_{\text{Р}}) / 60000) \cdot n \cdot \tau + ((k_{\text{В}} \cdot k_{\text{Р}}) / 60) \cdot \tau$$

где j – плотность тока, А/см²; η – коэффициент полезного действия источника питания и установки; n – концентрация электролита, г/л; U – рабочее напряжение, В; τ – время обработки, мин; S – обрабатываемая площадь, мм²; $k_{\text{Э}}$ – стоимость 1 кВт·ч технологической электроэнергии, руб/ кВт·ч; $k_{\text{С}}$ – стоимость 1 кг соли, руб/кг; $k_{\text{В}}$ – стоимость 1 л воды, руб/л; $k_{\text{Р}}$ – объем отработанного электролита, до потери своих свойств, л/ч.

Так как в работе [2] математическая модель была получена для нормированных факторов, то в первую очередь необходимо вернуться к физическим величинам. Переход от нормированных факторов к ненормированным осуществляется с помощью обратного преобразования:

$$x_i = \bar{x}_i (x_{iB} - x_{iH}) / 2 + (x_{iB} + x_{iH}) / 2$$

где $\bar{x}_i$ – нормированный фактор, x_{iB} и x_{iH} – верхнее и нижнее значение фактора.

Учитывая, что концентрация электролита n при проведении экспериментов менялась от 5 до 15 г/л, рабочее напряжение U от 250 до 350 В, время обработки τ от 2 до 14 мин, а площадь обработки S от 100 до 400 мм², то зависимость толщины покрытия от реальных режимов будет иметь вид:

$$Y = -551.944 - 1.30984n^2 - 0.003873U^2 - 0.821833\tau^2 + 0.00272S^2 + 35.4696n + \\ + 2.933487U + 15.0653\tau - 1.023116S - 0.029408nU - 0.273133n\tau + 0.006939nS + \\ + 0.005637U\tau - 0.001169US - 0.006967\tau S$$

Данное выражение будет использоваться в качестве условия типа равенство при решении задачи оптимизации. Также имеют место ограничения типа неравенство, обусловленные интервалами варьирования факторов при выполнении экспериментов. Итак, ставится задача условной оптимизации со смешанными ограничениями, записываемая в общем виде как [4]:

$$\begin{cases} f_0(x) \rightarrow \min; \\ f_l(x) = 0, \quad l = \overline{1, k}; \quad g_i(x) \leq 0, \quad i = \overline{1, m}. \end{cases}$$

Учитывая, что целевая функция и ограничение-равенство заданы с помощью нелинейных уравнений, сформулированная задача является общей задачей нелинейного программирования, заключающейся в определении наименьшего значения целевой функции $f_0(x)$ на допустимом множестве

$$\Omega = \{x \in X : f_l(x) = 0, \quad l = \overline{1, k}, \quad g_i(x) \leq 0, \quad i = \overline{1, m}\}.$$

Поставленная задача имеет решение, так как допустимое множество целевой функции ограничено, а целевая функция непрерывна на нем.

Решение задачи оптимизации осуществлялось с помощью теоремы Каруша-Куна-Таккера. В соответствии с этой теоремой, если точка $x^* \in \Omega$ является точкой локального минимума функции $f_0(x)$ на множестве Ω , причем функции $f_l(x) = 0, \quad l = \overline{0, k}$, и $g_i(x) = 0, \quad i = \overline{1, m}$, непрерывно дифференцируемы в окрестности точки x^* , то существуют такие числа $\lambda_l, \quad l = \overline{0, k}$, и $\mu_i, \quad i = \overline{1, m}$, одновременно не равные нулю, что для функции

$$\tilde{L}(x) = \lambda_0 f_0(x) + \sum_{l=1}^k \lambda_l f_l(x) + \sum_{i=1}^m \mu_i g_i(x)$$

выполняется необходимое условие экстремума и, кроме того, выполняются условия дополняющей нежесткости

$$\text{grad } \tilde{L}(x^*) = 0; \quad \mu_i g_i(x^*) = 0, \quad i = \overline{1, m}.$$

Здесь функция $\tilde{L}(x)$ – функция Лагранжа. С помощью условий Каруша-Куна-Таккера, описанных в приведенной теореме, общая задача нелинейного программирования сводится к решению системы из арифметических нелинейных уравнений и неравенств [5]:

$$\begin{cases} \nabla f_0(x) - \sum_{l=1}^k \lambda_l \cdot \nabla f_l(x) - \sum_{i=1}^m \mu_i \cdot \nabla g_i(x) = 0 \\ f_l(x) = 0; \quad g_i(x) \geq 0; \quad \mu_i \cdot g_i(x) = 0; \quad \mu_i \geq 0. \end{cases}$$

Для оптимизации технологических параметров ПЭО необходимо решить следующую систему:

$$\left\{ \begin{aligned} &(k_C k_p \tau) / 60000 - \mu_1 + \mu_2 - \lambda_1 (-2.62n - 0.029U - 0.273\tau + 0.007S + 35.47) = 0; \\ &(jk_3 \tau) / (60000\eta S) - \mu_3 + \mu_4 - \lambda_1 (-0.029n - 0.008U + 0.006\tau - 0.001S + 2.933) = 0; \\ &(k_B k_p) / 60 + (k_C k_p n) / 60000 + (jk_3 U) / (60000\eta S) - \mu_5 + \mu_6 - \lambda_1 (-0.273n + \\ &+ 0.007U - 1.644\tau - 0.007S + 15.065) = 0; \quad -(jk_3 U \tau) / (60000\eta S^2) - \mu_7 + \mu_8 - \\ &- \lambda_1 (0.007n - 0.001U - 0.007\tau + 0.005S - 1.023) = 0; \quad -551.944 - 1.31n^2 - \\ &- 0.004U^2 - 0.822\tau^2 + 0.003S^2 + 35.470n + 2.933U + 15.065\tau - 1.023S - 0.029nU - \\ &- 0.273n\tau + 0.007nS + 0.006U\tau - 0.001US - 0.007\tau S - Y = 0; \quad n - 5 \geq 0; \quad 15 - n \geq 0; \\ &U - 250 \geq 0; \quad 350 - U \geq 0; \quad \tau - 2 \geq 0; \quad 14 - \tau \geq 0; \quad S - 100 \geq 0; \quad 400 - S \geq 0; \\ &\mu_1(n - 5) = 0; \quad \mu_2(15 - n) = 0; \quad \mu_3(U - 250) = 0; \quad \mu_4(350 - U) = 0; \\ &\mu_5(\tau - 2) = 0; \quad \mu_6(14 - \tau) = 0; \quad \mu_7(S - 100) = 0; \quad \mu_8(400 - S) = 0; \\ &\mu_1 \geq 0; \quad \mu_2 \geq 0; \quad \mu_3 \geq 0; \quad \mu_4 \geq 0; \quad \mu_5 \geq 0; \quad \mu_6 \geq 0; \quad \mu_7 \geq 0; \quad \mu_8 \geq 0. \end{aligned} \right.$$

Решая данную систему уравнений и неравенств использовались следующие значения неизменяемых параметров: $j = 0.5$ А/см², $\eta = 0.7$, $k_3 = 3.53$ руб/кВт·ч, $k_C = 75$ руб/кг, $k_B = 0.7$ руб/л, $k_p = 4$ л/ч. Для толщины покрытия задавался ряд значений, каждому из которых соответствуют свои оптимальные значения параметров процесса. Результаты расчета для ряда толщин покрытия приведены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты расчета технологических параметров

Толщина покрытия Y , мкм	Технологические параметры			
	Концентрация электролита n , г/л	Рабочее напряжение U , В	Время обработки τ , мин	Площадь обработки S , мм ²
10	12.999	251.213	2	100
20	12.535	268.144	2	100
30	7.319	337.212	2	100.019
40	8.534	334.647	2.767	100
50	9.167	331.248	3.364	100

Как видно по результатам расчетов, оптимальные значения параметров процесса изменяются нелинейно с изменением толщины получаемого покрытия. Также наблюдается слабое изменение времени обработки и обрабатываемой площади, что говорит о узком диапазоне эффективных значений данных параметров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. В 2-х томах. Том II. – М.: Техносфера, 2011. – 512 с.
2. Макин В.В., Ушомирская Л.А. Математическая модель зависимости толщины плазменно-электролитического покрытия от параметров процесса. // Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-

практической конференции с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбГПУ. Ч.1. 2014, с. 212-215.

3. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1979. – 296 с.

4. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации: Учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Кирищенко. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 440 с.

5. Холоднов В.А. Решение задач нелинейного программирования на основе условий Куна-Таккера с использованием системы компьютерной математики MathCAD: методические указания. / В.А. Холоднов, Е.С. Боровинская, М.Б. Суханов, А.В. Гайков. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2009. – 47 с.

Сведения об авторе

Макин Виталий Валерьевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: аспирант

Электронная почта: vitaly.makin@yandex.ru

УДК: 621.039.53:669.14

А.С. Герасимов, Л.А. Ушомирская

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛИ «ДИСК»

Аннотация. В данной работе приведена последовательность выбора оптимального технологического процесса, где критерием выбора наилучшего варианта является себестоимость. Рассмотрена наладка станка на выполнение сложно-профильной поверхности, а также часть управляющей программы для вырезки поверхности на проволоочно- вырезном станке с ЧПУ.

Ключевые слова: электроэрозия, фрезерование, шероховатость, себестоимость, технологический процесс, сложнопрофильная поверхность.

Введение. Выбор оптимального технологического процесса, является важнейшей задачей в машиностроении, поскольку он определяет стоимость конечного продукта. При выборе наилучшего технологического процесса необходимо учитывать особенности предъявляемых требований к деталям, а также возможные способы обработки металла для получения отдельных поверхностей.

Учитывая особенности данной детали, в работе будет рассмотрено два способа получения сложнопрофильной поверхности: электроэрозия, фрезерование (рис. 1.). И критерием при выборе лучшего маршрута обработки будет себестоимость конечной детали.

Материал детали 14X17H2 относится к коррозионностойким сталям, мартенситно-ферритный класс. Имеет низкий коэффициент обрабатываемости, поэтому рекомендуется до начала обработки провести термообработку (отжиг 680° С, 4-8 часов) [1, 2].

К наружной сложнопрофильной поверхности предъявлено требование к качеству поверхностного слоя с параметром шероховатости Ra 0,8. Поэтому при электроэрозии обработка контура будет производиться за три перехода, а при фрезеровании использоваться концевая фреза и дополнительная операция – слесарная, для доводки поверхности. При выборе электроэрозии в качестве варианта получения сложнопрофильной поверхности необходимо создание искусственной технологической базы для установки заготовки (на диаметре вместо Ø56 будет Ø70). Эту искусственную базу необходимо будет дополнительно

Табл. 1. Варианты технологического процесса

№ операции	Для получения сложно-профильной поверхности использовалось	
	фрезерование	электроэрозия
05	Термообработка (отжиг)	Термообработка (отжиг)
10	лентопилочная	лентопилочная
15	токарно-винторезная	токарно-винторезная
20	фрезерная	фрезерная
25	координатно-расточная	координатно-расточная
30	слесарная	слесарная
35	Термообработка (закалка + высокий отпуск)	Термообработка (закалка + высокий отпуск)
40	-	круглошлифовальная
45	-	проволочно-вырезная

При использовании эрозии				
№ оп. п/п	Тшк, мин	Переменные затраты, руб/шт	Постоянные затраты, руб/шт	Себестоимость, руб
05	360	436,5	6660	7096,5
10	4,45			
15	4			
20	5,2			
25	6,1			
30	4,1			
35	82			

40	3			
45	80			
Итого:	549,85			
При использовании фрезерования				
05	360	343,2	7366,6	7709,8
10	4,55			
15	4			
20	14,6			
25	6,1			
30	10,2			
35	82			
Итого	475,35			

Себестоимость рассчитывается по следующей формуле:

$$C = Z_{\text{пер}} + Z_{\text{пост}}$$

где:

$Z_{\text{пер}}$ – переменные затраты на единицу продукции

$Z_{\text{пост}}$ – постоянные затраты на единицу продукции

$$Z_{\text{пер}} = T_{\text{шк}} \cdot ЗП + C_з + T_{\text{шк}} \cdot ЭЭ$$

$T_{\text{шк}}$ – штучно калькуляционное время, ч;

$ЗП$ – заработная плата рабочего в час;

$C_з$ – стоимость заготовки, руб;

$ЭЭ$ – стоимость электроэнергии в час, руб

Очевидным выбором является использование электроэрозии для получения сложно-профильной поверхности, хотя при этом штучно-калькуляционное время выше.

Электроэрозия.

Электроэрозионный метод основан на извлечении токопроводящих частиц материала с поверхности при помощи импульса электрического разряда. При сближении электродов, погруженных в жидкий диэлектрик, происходит увеличение напряжения, благодаря чему создается электрический разряд, в канале данного разряда вырабатывается высокотемпературная плазма. Пользуясь электроэрозионным методом (электроискровым) используется тонкая проволока, которая в сравнении с другими механическими инструментами намного дешевле. Задав напряжение (расстояние) между электродами, погруженными в жидкий диэлектрик, при их сближении (увеличении напряжения) происходит пробой диэлектрика – возникает электрический разряд, в канале которого образуется плазма с высокой температурой, непосредственно воздействующая на тот или иной материал, используемый при изготовлении заготовки, детали или формы [3-5].

Управляющая программа для вырезки контура детали на проволочно-вырезном станке.

N0000 G92 X0Y0Z0 {f= 0.0950 x=-2.8726 y= 33.7282}

N0001 G01 X 0.0950 Y -5.7709 { LEAD IN }

N0002 G03 X -3.4660 Y -6.3576 I 2.8726 J -33.7282

N0003 G01 X -3.4580 Y -6.3796

N0004 G03 X -19.6146 Y -42.9860 I 1.7079 J -30.5282

Наладка станка на обработку детали

Так как имеются внецентренные элементы, необходимо учитывать это при расположении детали на балке (выверка индикатором). С помощью концевых мер длины выравнивают проволоку, добиваясь равномерным распределением разрядов по концевой мере. Расстояние проволоки должно быть минимальным в зоне обработки относительно двух ближайших роликов, для уменьшения вибраций. Поскольку к сложно-профильной поверхности предъявлено требование с низкой шероховатостью, то она будет получена за три перехода. На первом переходе создается огранка поверхности, на втором количество граней увеличивается, тем самым уменьшая припуск на последний переход, при этом не дорезая до линии входа. На последнем переходе образуется заданный профиль и доходя до линии входа отделяет деталь от припуска.

Выводы. Разработан технологический процесс изготовления сложно-профильной поверхности детали «Диск». При рассмотрении способов получения поверхности: фрезерование и эрозия. Предлагается процесс эрозии с учетом получения минимальной себестоимости

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сорокин В.Г, М.А. Гервасьев [и др.]. Стали и сплавы. Марочник, 2001 г. 142-145 с.
2. Лаборатория специальной металлургии. URL: <http://www.lasmet.ru/steel/mark.php?s=115>
3. Л.А. Ушомирская, А.И. Фоломкин, А.П. Веселовский. Технологии электрофизической обработки. Лабораторный практикум: учебное пособие / СПб.: Изд-во Политехнического университета 2011. - 211 с
4. А.Г. Алексеев, Ю.М. Барон, М.Т. Коротких, В.С. Медко, В.И. Никифоров, М.М. Радкевич, И.А. Сенчило, Е.И. Серяков, Л.А. Ушомирская, М.А. Шатерин; Под ред. М.А. Шатерина. Технология конструкционных материалов: учеб. Пособие для вузов / СПб.: Политехника, 2005. -597 с.
5. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки Авторы: Г.Л. Амитан, И.А. Байсупов, Ю.М. Барон и др.; Под общ. ред. В.А. Волосатова. Издательство: Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. Страниц: 719 с.: ил

Сведения об авторах

Герасимов Андрей Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный Политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронный адрес: areykal@gmail.com

Ушомирская Людмила Алексеевна

Санкт-Петербургский государственный Политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень: д.т.н, профессор

Должность: профессор

Электронная почта: mmf.spbstu@mail.ru

ОЦЕНКА РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА ГРАФИТОВОГО ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

Аннотация. В данной статье приведены краткие сведения о поставленной технологической задаче, решаемой путем электроэрозионной обработки, результаты и выводы по экспериментальным данным, полученные в ходе проведенных опытов на станке SUREFIRSTED-203.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, станок SUREFIRSTED-203, графитовый электрод-инструмент.

Проблема обработки алюминиевых сплавов методами электрической эрозии особо подробно не рассматривалась вследствие хорошей обрабатываемости данного материала. Однако существуют такие геометрические формы изделий, которые практически невозможно получить процессами резания. Например, окна, связывающие отверстия в корпусных деталях (рис. 1).

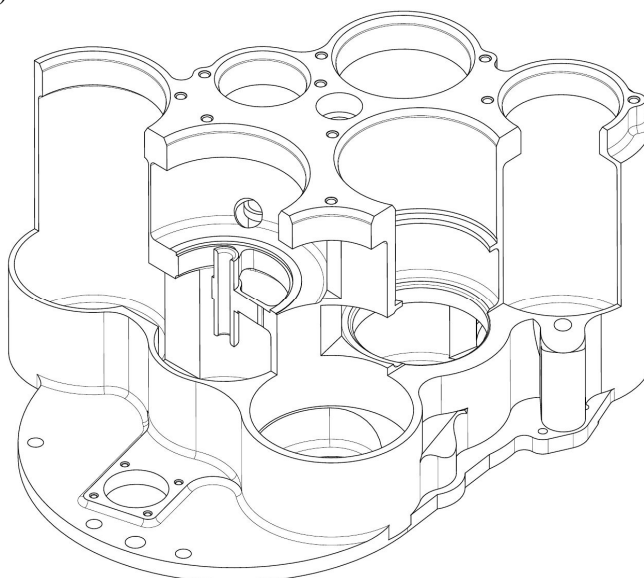


Рис.1. Деталь корпус

Основные технологические проблемы обработки:

- зоны обработки имеют прямоугольные формы различных размеров;
- зоны обработки находятся на достаточной глубине от открытой поверхности детали, что затрудняет удаления продуктов эрозии;
- зоны обработки имеют достаточную глубину, державка электрода имеет низкую жесткость и площадь сечения удаляемого материала существенно переменна, что приводит к изменению условий в процессе обработки.

Ввиду вышеперечисленных проблем были выбраны условия проведения экспериментов, позволяющие:

- сравнить различные материалы для изготовления электрода инструмента (графит, медь);
- изготовить державку электрода-инструмента, имитирующую обработку в глубине отверстия;
- определить оптимальные режимы обработки.

В ходе эксперимента был обработан ряд отверстий на различной полярности электрического тока, во всех экспериментах использовалась функция отскока с временем отскока 2 с. и высотой отскока 3мм.

При обработке на прямой полярности была зафиксирована чрезвычайно низкая производительность процесса (обработка шла 1 час 41 мин). При увеличении силы тока возникает замыкание межэлектродного промежутка образующимися продуктами эрозии.

Табл. 1. Параметры опыта на прямой полярности

№	U _{хх} , В	U _{раб} , В	I, А	т _и , мкс	τ п, мкс	Время	Размеры ЭИ
1	260	45	2,5	50	5	1ч 41мин.	39,1х24,09х15,34

Оказалось, что важное значение имеет удаление продуктов эрозии, так как на электроде-инструменте образуется налет из частиц обрабатываемого материала и продуктов термического разложения рабочей жидкости, вызывающий замыкание межэлектродного промежутка.

Табл. 2. Параметры опыта на обратной полярности

№	U _{хх} , В	U _{раб} , В	I, А	т _и , мкс	τ п, мкс	Время	Размеры ЭИ
1	90	30	4	50	5	1ч 10мин.	15,25х23,97х37,3
2	90	30	9	50	5	35мин.	36,25х23,65х15,14
3	260	35	4	100	10	50 мин.	14,85х22,35х35,65
4	80	30	5	300	10	50 мин.	14,45х21,32х35,7

Начальные параметры рабочей части электрода-инструмента – 39.65х24.35х15.45

Табл. 3. Параметры износа электрода-инструмента в различных опытах

№	Размеры рабочей части электрода инструмента			Изменение соответствующих размеров ЭИ			Объем	Изменение объема	Объемный износ
	B, мм	L, мм	H, мм	dB, мм	dL, мм	dH, мм	V, мм ³	dV, мм ³	dV%
0	24,35	15,45	39,65	-	-	-	14916,63	-	
1	24,09	15,34	39,1	0,26	0,11	0,55	14449,04	467,5899	3,13%
2	23,97	15,25	37,3	0,12	0,09	1,8	13634,74	814,3022	5,64%
3	23,65	15,14	36,25	0,32	0,11	1,05	12979,71	655,024	4,80%
4	22,35	14,85	35,65	1,3	0,29	0,6	11832,15	1147,565	8,84%
5	21,32	14,45	35,7	1,03	0,4	-0,05	10998,24	833,9041	7,05%

Выводы:

1. При электроэрозионной обработке алюминиевых сплавов целесообразно использовать обратную полярность электрического тока.

2. При применении прошивного электроэрозионного станка время обработки отверстия составило 35мин. а объемный износ графитового электрода-инструмента составил 4,8%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Г.Л. Амитан и др. Справочник по электрофизическим и электрохимическим методам обработки. Л.: Машиностроение. Ленинг. отд-ние, 1988. 719 с.;
2. Электротехнологические установки и системы С.В. Дресвин, В.Я. Фролов и др. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2005.
3. Ю.М. Барон, М.Т. Коротких, В.С. Медко [и др.] Технология конструкционных материалов: учебное пособие для вузов – СПб.: Политехника, 2005. – 597с.
4. Е.Ф. Немилов Справочник по электроэрозионной обработке материалов. Л.: Машиностроение. Ленинг. отделение 1989. 164с;
5. Л.А. Ушомирская, А.И. Фоломкин, А.П. Веселовский - Технологии электрофизической обработки, учебное пособие; СПб 2011. 211с;
6. Основы конструирования: справочно-методическое пособие/ П.И. Орлов; В 2-х кн. Кн. 1/Под ред. П.Н. Учаева; Изд. 3-е, испр. – М.:Машиностроение,1988 -560с.

Сведения об авторах

Мельник Дмитрий Валерьевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

Должность: Студент магистратуры

Электронная почта:

Коротких Михаил Тимофеевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

Ученая степень, звание: д.т.н., профессор

Должность: профессор

Электронная почта: kmt46@mail.ru

УДК 678. 7

В.М. Никитенко, А.С. Каргапольцев, Д.К. Журтубаев

ПОИСК НОВЫХ РЕШЕНИЙ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. В статье рассмотрены свойства карбона, как материала, обладающего высоким уровнем безопасности, отличными аэродинамическими показателями.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, нити углеродного волокна, карбон.

Еще несколько лет назад карбон как материал был довольно редок и мало известен из-за его трудоемкого способа изготовления и высокой цены. На сегодня, в силу развития технологий и поиска новых решений во многих отраслях промышленности он вышел на передовые позиции.

Карбон – полимерный композиционный материал из переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол. Он относится к классу углепластиков – материалов, объединяющих в себе несколько тысяч различных рецептур. Все эти материалы роднит одно – наполнителем в них являются углеродные (графитные) частицы, чешуйки и волокна (рис.1).

Карбон настоящая находка для инженеров всего мира, но как и любой другой материал, он имеет и свои недостатки. Они заключаются в высокой цене покупки и содержания. Во-первых, углепластик - дорогостоящий материал. Правда, постепенно он дешевеет. Второй очевидный минус – сложность ремонта. Поврежденная при аварии деталь восстановлению не

подлежит. Кроме того, есть такие "мелочи", как сложность ухода. Например, на солнце со временем карбон выцветает и может пожелтеть, а в местах контакта карбона с металлом в соленой среде металл быстро корродирует. Кроме того, карбон гораздо сложнее переработать, чем тот же алюминий.



Рис.1. Схема переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол

Главная задача инженеров и технологов – устранить главный недостаток карбонового волокна, а именно снизить стоимость его производства. Данную задачу можно решить за счет расширения и модернизации производства, совершенствования технологии производства и сокращения отходов, за счет повторной переработки.

Сегодня из-за дороговизны производства карбон используют лишь производители, не стесняющиеся поднимать цену на свои товары, но в перспективе, с удешевлением производства, многие компании начнут использовать его в большем объеме, чем сейчас.

Перспективы и области применения этого материала практически безграничны.

Углеродные волокна карбона на растяжение также хороши, как сталь, но вот на сжатие ведут себя не лучшим образом, решением данной проблемы стало их сплетение в угле пластиковое волокно. При этом карбон легче, чем сталь на 40%, легче алюминия на 20% и, конечно же, легче чем пластик [1-2].

Карбон, собранный из углерода и кевларов, хоть и немного тяжелее, чем резина с углеродом, имеет намного большую прочность, а при ударах трескается, крошится, но не разбивается на части. Он выдерживает температуру 1600 градусов и является хорошим энергопоглотителем. Неокрашенный карбон потрясающе стильно и красиво выглядит, но под действием солнечных лучей он подвергается выцветанию и в последствии может поменять оттенок. Если, все-таки, деталь из карбона будет повреждена, то восстановлению она уже не подлежит, т.к. это просто невозможно и сломанную деталь придется менять полностью.

В основном из карбона изготавливают детали кузова автомобиля – это крылья, багажники, зеркала, бамперы капоты, обвесы, спойлеры, крышу, днище, сиденья, приборные панели и все это радует глаз. Делаем из карбона корпус - повышаем аэродинамику, снижаем вес; салон – снижаем вес, повышаем безопасность и т.д. Можно

иногда встретить закарбоненные авто по максимуму, правда, в виде презентаций на выставках.

В тюнинге карбон выполняет не только роль материала, повышающего внешние данные и многое другое. Карбон дает неплохое преимущество перед соперником на светофорных гонках. Например, карбоновое сцепление.

В сцеплении из углепластика выполняют: фрикционные накладки, диск сцепления и что-либо по мелочи. Применение карбона дает снижение массы узла, значит, его легче раскрутить, что хорошо скажется не только на динамических характеристиках авто, но и на безопасности, если диск легче, то в случае разноса (а такое не так уж и редко бывает) карбону не хватит массы, чтобы пробить защитную корзину сцепы. Да и усилий потребуется меньше для переключения передач. Коэффициент трения карбонового сцепления на высоком уровне, что дает возможность передавать большую мощность эффективнее. Срок службы карбоновых накладок выше в 3-5 раз, чем других. Известны однодисковые и двухдисковые карбоновые сцепления [3].

Автомобиль Ф-1 способен остановиться со скорости 300 км/ч всего за 4 секунды! Эти невероятные характеристики обеспечивают тормоза с дисками из карбона, способные работать при высочайших температурах. Они выдерживают до 800 циклов нагрева за гонку. Каждый из них весит менее килограмма, тогда как стальной аналог как минимум в три раза тяжелее.

Карбон хорошо поглощает звук, от которого иногда даже может разболеться голова. Да, как и всегда положено, углепластик снижают вес авто.

В повседневной жизни карбон можно увидеть где угодно - кроссовки, наушники, шлемы, корпуса телефонов, гитары, спиннинги, сумки, детали декора и т.д.

Новые материалы – это одно из важнейших направлений, определяющих развитие машиностроения. Мир получил в собственное распоряжение уникальный материал, обладающий высоким уровнем безопасности, отличными аэродинамическими показателями, да еще и легче стали и алюминия. А ведь такой облегченный автомобиль получает возможность дополнительно экономить топливо за счет использования менее мощного двигателя.

При создании новых изделий всегда становится целью - повышение эффективности и качества известных, существующих изделий: увеличение рабочих давлений, скорости температуры, снижения массы изделий, приходящейся на единицу создаваемой или передаваемой мощности.

Таким образом, если нужно изготовить легкую и прочную деталь, лучший материал – карбон. В лучших образцах техники реализуются последние достижения науки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кестельман В.Н. Поликарбонат в машиностроении. -М.: Машиностроение, 1972.
2. Справочник Дж. Любина «Композиционные материалы», М., 1988
3. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике Ю.А. Михайлин.- Издательство: Научные основы и технологии, 2013,стр. 752 с.

Сведения об авторах

Никитенко Валентина Михайловна
Ульяновского государственного технического университета
Рабочий адрес: 432027, Ульяновск, Сев. Венец ул., 32
Ученая степень, звание: к.т.н., доц.
Должность: доцент
Электронная почта:vm_nikitenko@mail.ru

Каргапольцев Александр Сергеевич
Ульяновского государственного технического университета
Рабочий адрес: 432027, Ульяновск, Сев. Венец ул., 32
Должность: Студент группы ОМд-51 машиностроительного факультета
кафедра «М и ОМД»
Электронная почта: vm_nikitenko@mail.ru

Журтубаев Дмитрий Константинович
Ульяновского государственного технического университета
Рабочий адрес: 432027, Ульяновск, Сев. Венец ул., 32
Должность: Студент группы ОМбд-41 машиностроительного факультета
кафедра «М и ОМД»
Электронная почта: vm_nikitenko@mail.ru

УДК 681.2

А.В. Безматерных, К.Л. Левин

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИИ ИМПЕДАНСНЫМИ МЕТОДАМИ

Аннотация. Электрохимическая импедансная спектроскопия является неразрушающим методом характеристики физических свойств нанопористых пленок. Спектр электрохимического импеданса несет в зашифрованном виде информацию о физических свойствах этих пленок. Расшифровка этих данных является важной проблемой и требует союз моделирования, вычисления и экспериментальных методов. В данной работе исследовали диффузию через тонкие оксидные и полимерные пленки на поверхности металла методом электрохимической импедансной спектроскопии.

Ключевые слова: импедансная спектроскопия, коррозия, элемент Варбурга, алюминий, оксид алюминия, полмеры.

Введение. Целью данной работы является исследование возможностей метода ЭИС для характеристики коррозионно защитных свойств тонких пленок на поверхности металлов. В качестве коррозионно активного раствора брали соленую воду, в качестве защищаемого металла алюминий, покрытый в одном случае слоем оксида Al_2O_3 , в другом случае полимерной пленкой на основе поливинилацетата



Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Результаты и обсуждение. Электрохимическая импедансная-спектроскопия является неразрушающим методом характеристики нанопористых пленок. Спектры электрохимического импеданса в зашифрованном виде нести ценную информацию о физических свойствах этих структур. Раскрытие этих данных является важной проблемой, которая требует союз моделирования, вычислений и высоких экспериментальных достижений.

Подробнее, импедансный метод основан на измерении полного сопротивления (импеданса) электрохимической ячейки и зависимости этого сопротивления от частоты переменного тока [1].

Табл. 1. Состав раствора

%				
на долю			приходится	
»	»	$NaCl$	»	77,8
»	»	$MgCl_2$	»	10,9
»	»	$MgSO_4$	»	4,7
»	»	$CaSO_4$	»	3,6
»	»	K_2SO_4	»	2,4
»	»	$CaSO_2$	»	0,3
»	»	$MgBr_2$	»	0,2

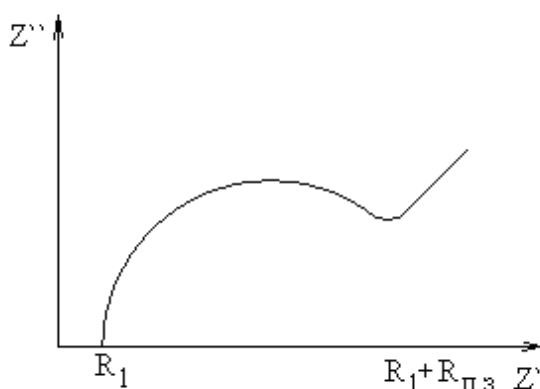


Рис. 1. Пример спектра импеданса, где $R_{пз}$ – сопротивление переносу заряда, R_1 – сопротивление раствора, $C_{дс}$ – емкость двойного электрического слоя.

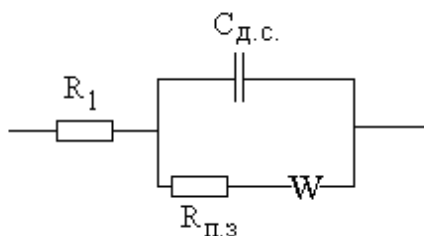


Рис. 2. Электрическая схема, соответствующая спектру импеданса, представленному на рис. 1

Элемент, обозначенный на схеме (см. Рис. 2.) символом «W» носит название импеданса Варбурга и подразумевает под собой соединенные последовательно сопротивление и емкость, зависящие от частоты.

Он описывает процессы массопереноса, в частности диффузию, которая во временной области подчиняется закону Фика:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \quad (1)$$

Модуль импеданса уменьшается с увеличением частоты в соответствии с (2). Здесь λ – коэффициент пропорциональности, и его можно назвать коэффициентом Варбурга.

С другой стороны, решение уравнения (1) с учетом электрохимических параметров приводит к выражению

$$Z_w(j\omega) = \kappa_f (j\omega D_0)^{-1/2} = \kappa_f (\omega D_0)^{-1/2} (1 - j)$$

-что позволяет установить соотношение между параметром λ структурного элемента W и электрохимическими параметрами

$$\lambda = \kappa_f D_0^{-1/2},$$

где: κ_f - константа скорости окислительной или восстановительной реакции, которая протекает на электродной поверхности, а D_0 - коэффициент диффузии частиц вещества, участвующего в реакции [2 - 4].

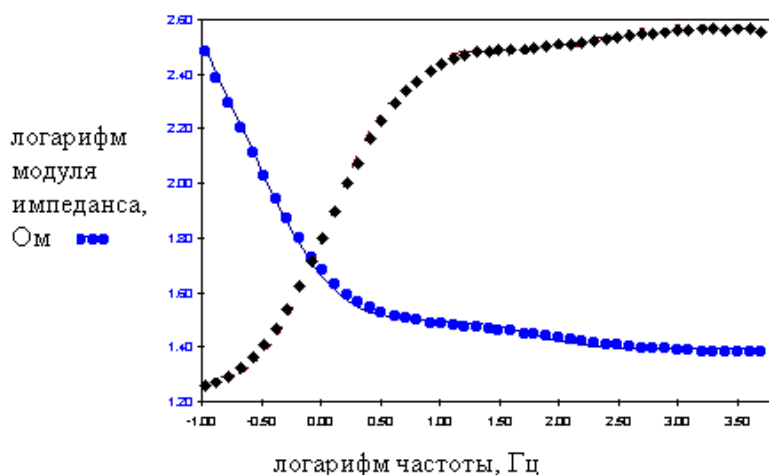


Рис. 3. Пример диаграммы Боде

Она представляет собой графики зависимостей сдвига фаз и модуля импеданса от частоты. Обычно значения частоты откладывают в логарифмическом масштабе.

В своей работе построив диаграммы Найквиста и Боде мы увидели что прошла диффузия. Следовательно эти композиты не защищают металл от коррозии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гуревич Ю.А. Твердые электролиты. «Наука», М., 1986.
- 2 E. Barsoukov, J. Ross Macdonald. Impedance Spectroscopy. Theory, Experiment and Applications. Ed..N.Y., Wiley.2005.
3. The Impedance Measurement Handbook. A Guide to Measurement Technology and Techniques. Agilent Technologies Co. Ltd. 2000-2003.
- 4 Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Введение в электрохимическую кинетику, «Высшая школа», М., 1975.

Сведения об авторах

Безматерных Анастасия Владимировна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально- сырьевой университет «Горный»»

Рабочий адрес: 199106 ,Санкт-Петербург, В.О., 21-22 линия, д. 2

Должность: студент 2 курса механического факультета

Электронная почта: super.kosh2014@ya.ru

Левин Кирилл Львович.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»»

Рабочий адрес: 199106, Санкт-Петербург, В.О., 21-22 линия, д. 2

Ученая степень, звание: к.х.н., доцент

Должность: доцент

Электронная почта: levinkl@hotmail.com

УДК 681.5

Фирсов А.Ю., Шахова Н.Д.

СПОСОБ ОЦЕНИВАНИЯ НЕИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ПРИ ПОМОЩИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Аннотация. В данной статье описаны результаты анализа метода оценивания неизмеряемых параметров алюминиевого электролизера при помощи косвенных измерений, которые нельзя получить напрямую, ввиду протекания процесса при высокой температуре и агрессивности среды. В результате анализа множества экспериментальных исследований и обработки реальных технологических данных была получена обобщенная зависимость параметров состояния процесса от обратной ЭДС.

Ключевые слова. Электрохимически активная среда, модель состояния алюминиевого электролизера, управление технологическим процессом, обратная ЭДС.

Введение

Задача управления процессом электролиза алюминия решается с 40-х годов прошлого века. Если ранее, до применения в управлении компьютеров, она казалась простой, то сейчас, несмотря на то, что многие особенности протекания процесса известны, применение новых знаний для усовершенствования управления объектом не всегда очевидно.

На сегодняшний день проблема остается актуальной, т.к. получаемой информации о технологическом процессе недостаточно для качественного управления. Например, применение новых датчиков невозможно из-за агрессивной электрохимически активной и высокотемпературной среды, это делает невозможным проведение постоянных измерений в электролите, поэтому многие параметры данного объекта приходится измерять косвенно по другим показателям [1]. В некоторых случаях сказывается влияние возмущений, вызываемых сильными электромагнитными полями.

При технологической диагностике электролизера используются только химические и физические величины (результаты лабораторных анализов и периодических ручных измерений), величина «приведенного» напряжения, а также параметры дозирования системы автоматической подачи глинозема. По этим данным, с применением статистических аналитических систем, можно идентифицировать систему и построить приемлемую модель процесса, но разнообразие физико-химических состояний электролизера не позволяет определить с необходимой достоверностью текущее состояние объекта без определения реальных значений основных величин [2].

Эффективность способа оценивания неизмеряемых показателей процесса электролиза алюминия при помощи обратной ЭДС

Эффективность работы электролизера в значительной степени зависит от расхода электроэнергии на производство 1т алюминия. Расход электроэнергии определяется средним рабочим напряжением U , которое в общем виде может быть выражено [2]:

$$U = E + I \cdot R \quad (1)$$

Параметрами, наиболее влияющими на эффективность процесса электролиза алюминия, являются: значение величины обратной ЭДС (E), концентрация (C), межполюсное расстояние (l) и температура (T)[2]. Не менее важно контролировать такие параметры, как температура и концентрация глинозема. Управление концентрацией глинозема является важной задачей в технологии управления электролизом и существующие системы АПГ должны поддерживать ее в строго заданных пределах, не допуская отклонений в большую или меньшую сторону, так как технологически недопустимо как возникновение лишних анодных эффектов, так и образование осадка на подине.

Построение уравнения косвенных измерений с помощью математической обработки известных данных лабораторных исследований и является задачей, решенной нами в данной статье.

Обработка экспериментальных зависимостей обратной ЭДС различных авторов [3,4,5] показала, что их можно обобщить с помощью представленной ниже зависимости (2), коэффициенты которой получены методом наименьших квадратов по всему массиву экспериментальных данных:

$$E_0(n, C, T, l, KO, D) = kE_{0n} - 3,4 \cdot 10^3 \cdot (T - 965) + 0,0155 \cdot (l - 5) - \\ - 6,5 \cdot 10^3 \cdot (KO - 2,75) - 0,145 \cdot \ln \frac{C}{4} + 3,45 \cdot 10^2 \cdot (C - 4) + 0,09 \cdot \ln D \quad (2)$$

где E_0 - обратная ЭДС, В;

C - концентрация Al_2O_3 в расплаве, % (вес);

T - температура расплава, С;

l - межполюсное расстояние, см;

KO - криолитовое отношение;

D - анодная плотность тока;

kE_{0n} - константа, численно равная E номинальному при принятых номинальных значениях перечисленных выше параметров. Коэффициент kE_0 равен соответственно 1.66, 1.71, 1.63, 1.275 В. по 4 сериям экспериментальных данных разных авторов.

На Рис. 1 представлена типичная зависимость отклонения от номинала сопротивления, обратной ЭДС и напряжения на электролизере с 0 А на 80кА от концентрации глинозема при номинальных - междупольном расстоянии 5см, температуре 965С, КО равном 2.75 и плотности тока 0.7 A/cm^2 .

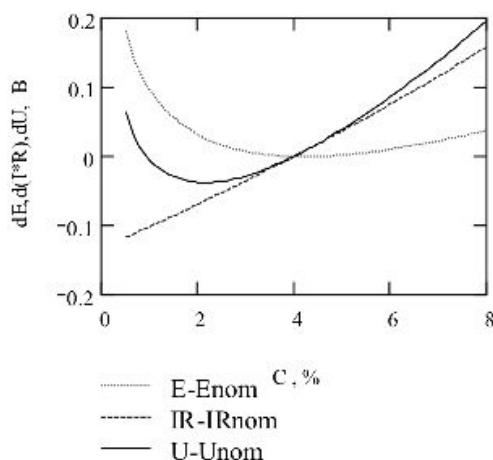


Рис. 1 Экспериментальные и расчетные значения обратной ЭДС в зависимости от плотности тока (а) и концентрации Al_2O_3 (б).

Таким образом, вычисление косвенных измерений при помощи обратной ЭДС, применяемое в процессе управления алюминиевым электролизером [6], доказывает свою эффективность.

Заключение

Основная задача, решаемая расчетом косвенных измерений электролизера при помощи известных, в частности обратной ЭДС, это задача идентификации объекта управления. Существующие способы идентификации систем на примере алюминиевого электролизера - методом белого, серого, черного ящика - имеют свои особенности [7]. Несомненно, наиболее прозрачным, легко моделируемым и управляемым является метод моделирования "белый ящик", но для этого нам необходимо обладать максимумом информации о параметрах. Анализируя данные, которые были получены в ходе экспериментов в идеальных условиях, и данные с разных цехов завода по производству алюминия была получена обобщенная формула и введен поправочный коэффициент, который позволяет применять эту зависимость для оценки неизмеряемых параметров реального алюминиевого электролизера.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Bearne, G.P. The development of aluminium reduction cell process control / G.P. Bearne // Journal of metals, May 1999. - P. 16 - 22.
2. Щербань, Г.И. Контроль обратной ЭДС и общего сопротивления алюминиевого электролизера / Г.И. Щербань, И.Е. Лукошников, Д.В. Прутцов, И.Ф. Червоный, О.А. Позднякова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2011. - №3/6(51). - С. 14-17.
3. Абрамов, Г.А., Теоретические основы электрометаллургии алюминия. / Г.А. Абрамов, М.М. Ветюков, И.П. Гупало и др. // Metallurgizdat, - 1953г. - 584 с.
4. Cherenkova, M. Density, Electrical Conductivity and Viscosity of Low Melting Baths for Aluminium Electrolysis / M. Cherenkova, V. Danek, A. Silny, T. Utigard // Light Metals, 1996. - P. 227-232.
5. Drengstig, T. The impact of varying conductivity on the control of aluminium electrolysis cells / T. Drengstig, S. Kolas, T. Store. // Modeling, identification and control, Vol. 24, No 4, 2003, pp. 205-216.
6. Способ управления технологическим процессом в алюминиевом электролизере с обожженными анодами: пат. 2303658 Рос. Федерация: МПК C25C3/20 /Е.Р. Шайдулин, А.О. Гусев, П.Н. Вабишевич; заявитель и патентообладатель ООО «Русская инжиниринговая компания» - № 2005133936/02; заявл. 02.11.2005; опублик. 27.07.2007.
7. Viumdal, H. System identification of a non-uniformly sampled multi-rate system in aluminium electrolysis cells /H. Viumdal, S. Mylvaganam, D. Di Ruscio // Modeling, Identification and Control, Vol.35, No. 3, 2014, pp. 127-146.

Сведения об авторах

Фирсов Александр Юрьевич

Санкт-Петербургский Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Рабочий адрес: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2

Ученая степень, звание: к.т.н.

Должность: доцент.

Электронная почта: ayufirsov@gmail.com

Шахова Нонна Дмитриевна

Санкт-Петербургский Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Рабочий адрес: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: ndshakhova@mail.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СГУСТИТЕЛЕМ КРАСНЫХ ШЛАМОВ

Аннотация. Данная статья посвящена разработке автоматической системы управления сгустителем в программных компонентах GE Proficy Troubleshooter и GE Proficy Architect. Математическая модель сгустителя была получена на основе архивных данных со сгустителей заводов Kirkvine, Ewarton (РУСАЛ) в программном пакете GE Proficy Continuous Wizard. Нейро - нечеткая модель управления генерируется автоматически в Proficy Troubleshooter на основании архивных производственных данных изучаемого объекта. Модель была оптимизирована в программных пакетах GE Proficy Architect и MatLab.

Ключевые слова. Система управления, модель управления, сгуститель, красный шлам, GE Proficy Troubleshooter, GE Proficy Architect.

В настоящее время остро стоит проблема повышения продуктивности процесса сгущения красного шлама, качества выходной продукции, экономии ресурсов. Сведения по системам управления процессами глиноземного производства содержатся в [1], [2], схема управления отдельными параметрами процесса фирмы Outotec представлена в [3]. Процесс сгущения является типичным примером системы со множеством нелинейно взаимосвязанных входных и выходных параметров, с различными ограничениями на управляющие воздействия [4]. Главной задачей при управлении сгустителем в процессе сгущения красного шлама должно быть наименьшее содержание твёрдой фазы в сливе. Решением могло бы быть использование каскадного принципа регулирования, но многосвязность системы - это дополнительные трудности, и использовать каскадную систему управления на узле сгущения и промывки красного шлама не является целесообразным. Оптимальным выходом в данной ситуации является управление по модели. Модель, отслеживая значение возмущения, прогнозирует поведение целевой функции и, зная коэффициент усиления и период отклика, регулирует управляющий параметр таким образом, чтобы компенсировать возмущение и не допустить выхода целевого показателя за требуемые пределы. Существенный вклад в разработку вопросов создания и совершенствования моделей и систем управления процессом сгущения внесли такие крупные специалисты как А.И. Лайнер, Ю.А. Лайнер, А.Л. Рутковский, R. Burger, F. Concha, J. Farrow и др. Поскольку модель управления сгустителем должна учитывать одновременно множество входных и выходных параметров, то ее построение очень сложно описать математически и при этом получить модель оптимальную с точки зрения точности ее работы. Альтернативным способом построения модели является аналитический инструмент GE IP Proficy Troubleshooter.

Краткое описание технологического процесса

Участок сгущения и промывки красного шлама обеспечивает ряд процессов, таких как разделение алюминатного раствора и красного шлама, промывку шлама от остаточного алюминиевого раствора, контрольное осветление алюминиевого раствора. Бокситы, перерабатываемые на заводах РУСАЛа Kirkvine и Ewarton (Ямайка), имеют низкое содержание извлекаемого глинозема, шлам имеет мелкий гранулометрический состав, содержание реактивного кремнезема очень низкое, но при этом потери каустической щелочи в несколько раз выше, чем на аналогичных переделах других предприятий. Для ускорения процесса сгущения используется флокулянт, его расход выше, чем на аналогичных предприятиях. Результатом проделанной работы являлось поиск и разработка системы управления, позволяющей стабилизировать процесс сгущения красных шламов, уменьшить расход флокулянта и снизить потери щелочи.

Синтез модели

Proficy Troubleshooter (PTS) - мощный аналитический инструмент, использующий передовые технологии для извлечения знаний из имеющихся технологических и производственных данных [5]. Имеющиеся архивные данные технологических параметров являются входными переменными для формирования нечетких логических решений. Такими параметрами являются скорость подачи пульпы, скорость откачки алюминатного раствора, скорость откачки шлама, скорость подачи коагулянта, высота граблин, содержание твердого в пульпе, температура раствора и т.д. Все вышеперечисленные параметры взаимно тесно коррелированы и оператору в процессе регулирования процесса очень трудно вовремя определить, какой параметр является управляющим на данный момент. Методология PTS представлена следующими этапами: подготовка данных, визуализация, моделирование, извлечение знаний, оценка улучшений, объединение знаний и реализация моделей. В процессе работы в компоненте PTS технологические данные импортируются в программу; конвертируются в необходимый тип данных со своей временной шкалой; исследуется взаимовлияние параметров друг на друга и на цель управления; выявляются параметры, которые оказывают наиболее сильное действие на выходной параметр; исключаются сильно коррелирующие параметры; оценивается запаздывание процесса. Процесс построения нейро-нечеткой модели автоматический. Модель описывается базой правил, сформированных программной средой. После анализируется поведение выбранного целевого параметра по предложенной модели во времени и изменение сопутствующих влияющих параметров, оцениваются диаграммы влияния каждого из параметров на цель управления в интересующем временном интервале или точке, оценивается соответствие построенной модели поведению реального технологического процесса, анализируется блок правил, выработанных программой. Для предложенной модели управления выбирается рычаг/рычаги управления с установленными для них пределами изменений, уставка по цели моделирования (чистота слива). Возможно оценить адекватность построенной модели, подобрать оптимальные управляющие воздействия, сопоставить поведение целевой функции до и после использования предложенного управления. В нижней части рис. 1 представлена работа регулятора для поддержания содержания твердого в верхнем сливе на уровне 150 мг/л. Отклонение от целевого значения стало значительно меньше и в среднем снизилось на 45 мг/л.

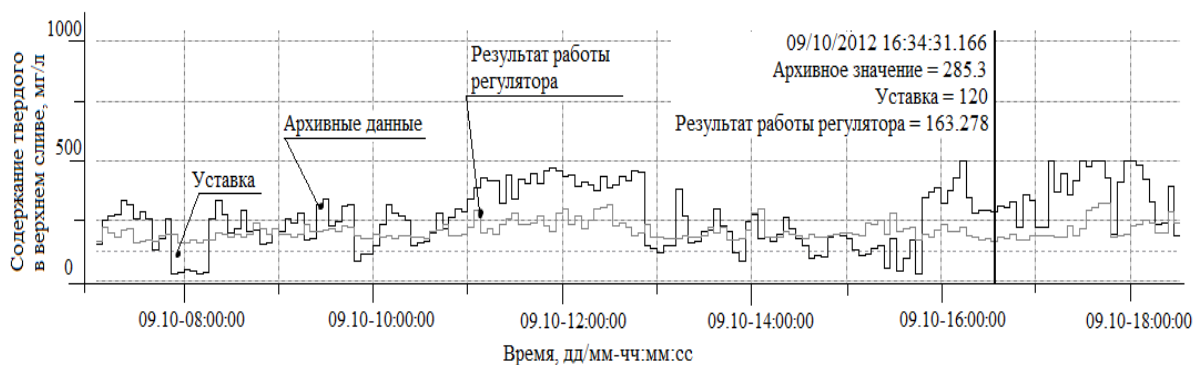


Рис. 1. Сравнение работы регулятора с архивными данными на шаге Поиск оптимального управления

Также есть возможность заложить дополнительную логику в работу модели. На основе нейро-нечеткой логики можно добавить правила управления для управляющих параметров. В компоненте Proficy Architect модель можно видоизменять (добавлять/удалять/заменять блоки), обучать, соединять с блоками MathLab. Модель многоуровневая, состоит из подсистем и множества блоков. Модель может работать в режиме советчика оператора или использоваться в режиме реального времени без компонента Proficy Architect с помощью

УДК: 621.833.4

А.Л. Калининская, В.В. Дегтярев

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ РОЛИКОВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности конструкции деталей роликвинтовой передачи. Приведены, полученные в ходе исследования, рекомендации по технологии упрочнения внутреннего и наружного слоев материала деталей. Приведена микроструктура азотированного слоя стали ОВАКО 225А после ионно-плазменного азотирования.

Ключевые слова: роликвинтовая передача, ролик, винт, гайка, отжиг, закалка, отпуск, ионно-плазменное азотирование.

Планетарные роликвинтовые передачи (ПРВП) относятся к передачам, преобразующим вращательное движение в поступательное и редко наоборот. Роликвинтовые передачи обладают такими преимуществами как высокий КПД и точность позиционирования, и при равных габаритах превосходят другие типы передач по грузоподъемности и осевой жесткости [3].

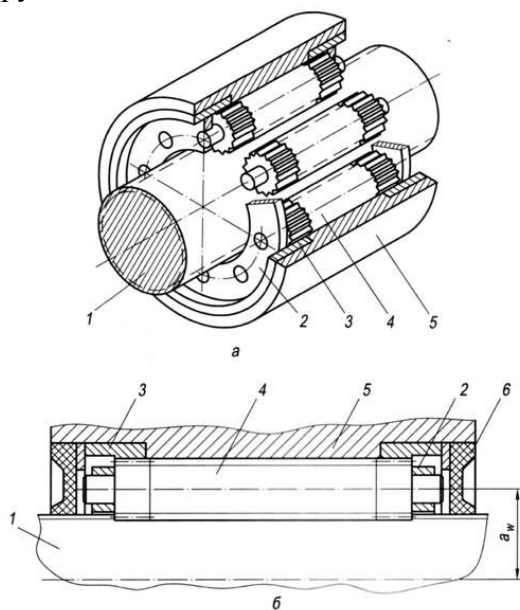


Рис. 1. Планетарная роликвинтовая передача

На рис. 1 показана простейшая конструкция, состоящая из: многозаходного винта 1; n резьбовых однозаходных роликов 4, торцовые шейки которых установлены в отверстиях сепараторов 2; многозаходной гайки 5, в отверстии которой с двух концов закреплены втулки 3; уплотнений 6 и других деталей [2].

ПРВП схожа по конструкции с роликовыми подшипниками, поскольку также содержит промежуточные тела качения - резьбовые ролики-сателлиты. Ролики находятся между винтом и гайкой и при вращении гайки или винта ролики совершают планетарное движение.

ПРВП обладают рядом особенностей [3]:

1) Резьба винта, гайки и роликов специальная с симметричным и большим по величине углом профиля витков ($\alpha = 70-90^\circ$). Такое значение угла обеспечивает высокую нагрузочную способность и осевую жесткость

ПРВМ.

2) Ролики находятся между винтом и гайкой. На винте и гайке нарезана многозаходная треугольная резьба, профиль которой образован прямыми линиями. Профиль резьбы роликов выпуклый, образованный дугой окружности (модифицирован), что гарантирует расположение зон контакта в области значений радиусов средних диаметров профилей резьб.

3) Угол подъема резьбы гайки равен углу подъема резьбы ролика. Для этого отношение числа заходов резьбы гайки и резьбы ролика равно отношению средних диаметров их резьб.

4) Угол подъема резьбы ролика всегда не равен углу подъема резьбы винта.

5) Чтобы ролики обкатывались по гайке без проскальзывания, а также для обеспечения параллельности расположения осей винта и роликов на концах роликов нарезаны зубчатые венцы, входящие в зацепление с зубчатым венцом гайки.

6) Чтобы проскальзывание резьбы роликов относительно резьбы винта не приводило к изменению передаточной функции передачи, число заходов резьбы винта равно числу заходов резьбы гайки.

Главной особенностью роликовинтовых передач является многоточечный контакт витков резьбы винта, роликов и гайки. Осевая нагрузка передается через поверхности контакта во внутреннем резьбовом зацеплении роликов с гайкой и далее во внешнем резьбовом зацеплении роликов с винтом. Первоначальный контакт без нагрузки в зацеплениях точечный. Положение точки контакта зависит от соотношения углов подъема сопрягаемых резьбовых поверхностей. Точка первоначального контакта витков резьбы винта и ролика смещается из номинального положения – точки «А» (рис. 2), расположенной в плоскости, проходящей через их оси.

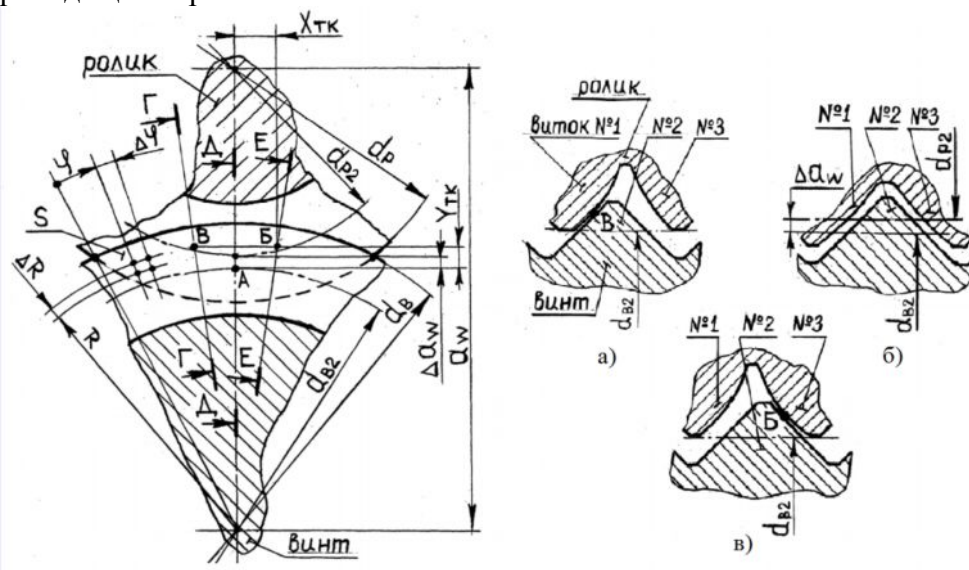


Рис. 2. Разрез винта и ролика:
а) сечение Г-Г, б) сечение Д-Д, в) сечение Е-Е

На рис. 2 показаны винт и ролик со стороны их торцов. Точка «Б» – это точка первоначального контакта видимой (передней) стороны витка винта с сопрягаемым витком ролика, а точка «В» – это точка первоначального контакта невидимой (задней) стороны витка винта с сопрягаемым витком ролика. Расчетным путем было установлено [3], что точки «Б» и «В» расположены симметрично, относительно плоскости, проходящей через оси винта и ролика. При этом X_{TK} и Y_{TK} – это смещение точки первоначального контакта (точки «Б») из номинального положения (точки «А»).

Все основные преимущества и характеристики роликовинтовой передачи зависят от точности изготовления профилей резьбовых деталей, а такие показатели передачи, как точность позиционирования, статическая и динамическая грузоподъемность зависят от физико-механических свойств материалов деталей, участвующих в зацеплении. Необходимо обеспечить не только объемную несущую способность элементов, но и контактную прочность, выносливость и износостойкость контактирующих витков резьбы. Эти параметры достигаются за счет применения технологий упрочнения внутреннего и наружного слоев материала.

Целью исследования является определение экспериментальным методом рациональных режимов термической обработки и ионно-плазменного азотирования деталей роликовинтовой передачи.

В качестве упрочняющих мероприятий для сердцевины деталей применяется термическая обработка (ТО): отжиг, закалка и отпуск. В таблице 1 представлены характеристики материалов, в таблице 2 - режимы ТО для деталей роликовинтовой передачи: винта, ролика и гайки.

Табл. 1. Характеристики материалов

Наименование детали	Материал	Химический состав	Твердость
Винт	UDDEHOLM Rigor	C = 1%, Si = 0.3%, Mn = 0.6%, Cr = 5.3%, Mo = 1.1%, V = 0.2%	215 HB
Ролик			
Гайка	OVAKO 225A (18CrNi8-6)	C = 0.18%, Si = 0.3%, Mn = 0.9%, Cr = 1.9%, Ni = 0.3% max, Mo = 0.55%, S = 0.03% max	265 -320 HB

Табл. 2. Режимы термической обработки

Операция Наим-е детали	Отжиг	Закалка I	Закалка II	Отпуск
Винт	Выдержка 120 минут при температуре 850 °С, охлаждение с печью до 300 °С, далее на воздухе	Выдержка 40 минут при температуре 1000 – 1020 °С, охлаждение в масле	Выдержка 20 минут при температуре 880 – 900 °С, охлаждение в масле	Выдержка 120 минут при температуре 630 °С, охлаждение в масле
Гайка	Выдержка 120 минут при температуре 850 °С, охлаждение с печью до 600 °С, далее на воздухе	Выдержка 20 минут при температуре 1000 – 1020 °С, охлаждение в масле	Выдержка 25 минут при температуре 890 – 900 °С, охлаждение в масле	Выдержка 90 минут при температуре 550 °С, охлаждение на воздухе
Ролик	Выдержка 120 минут при температуре 700 °С, охлаждение с печью до 600 °С, далее на воздухе	Выдержка 30 минут при температуре 850 °С, охлаждение в масле	-	Выдержка 120 минут при температуре 690 °С, охлаждение на воздухе

Для упрочнения наружного слоя применяется ионно-плазменное азотирование (ИПА). ИПА проводится в специальных установках для обработки в пульсирующей низкотемпературной плазме. Процесс насыщения поверхности азотом происходит в азотосодержащей среде, в которой возбуждается тлеющий электрический разряд. Анодом служат стенки камеры нагрева, а катодом – обрабатываемые заготовки. Для улучшения проникновения азота в поверхность деталей в среду обработки подается водород, а для предотвращения окисления поверхностей – аргон. Технологическими факторами, влияющими на эффективность ИПА, являются: 1) температура выдержки,

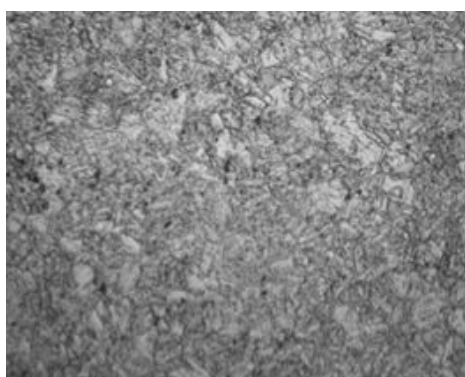
2) продолжительность выдержки, 3) состав и расход газовой смеси [5]. В таблице 3 представлены требования к азотированной поверхности деталей РВП.

Табл. 3. Требования к деталям

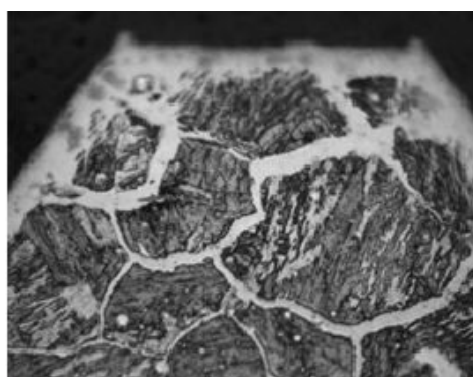
Наименование детали	Материал	Объемная закалка	Ионно-плазменное азотирование
Винт	UDDEHOLMRigor	43...47HRC	900...1000 HVh = 0,3...0,4с плавным уменьшением твердости от глубины залегания, при $h_{\min} = 0,05$ 900...1000 HV. Допускается уменьшение $h = 0,15...0,2$ в зоне радиуса впадины
Гайка	OVAKO 225A	30...37 HRC	780...760 HVh = 0,3...0,4 с плавным уменьшением твердости от глубины залегания, при $h_{\min} = 0,02 \pm 0,003$ 680...760 HV. Допускается уменьшение $h = 0,15...0,2$ в зоне радиуса впадины
Ролик	UDDEHOLMRigor	28...34HRC	700...760 HVh = 0,3...0,4 с плавным уменьшением твердости от глубины залегания, при $h_{\min} = 0,05$ 700...460 HV. Допускается уменьшение $h = 0,15...0,2$ в зоне радиуса впадины

В ходе опыта было выяснено, что при азотировании не термообработанной заготовки из стали OVAKO 225A происходит граничная диффузия: карбидные фазы, расположенные по границам первичных аустенитных зерен, превращаются в карбонитридные фазы и увеличиваются в объеме [4]. Карбонитридные фазы, являясь хрупкими, приводят к сколам на образце. На рис. 3 представлена микроструктура образца из стали OVAKO 225A до и после ИПА.

Из полученных результатов был сделан вывод о том, что необходимо добиться размера зерен до 10–15 мкм и уменьшить карбонитридную сетку, для того, чтобы диффузия происходила равномерно по всей поверхности образца.



а) в поставке



б) после ИПА (размер зерна 20-40 мкм)

Рис. 3. Микроструктура стали OVAKO 225A

Технологические факторы процесса азотирования во время опытов изменялись в следующих пределах: время выдержки варьировалось от 24 до 4 часов, температура выдержки – от 550 до 490 °С, расход азота при нагреве и выдержке – от 27 до 10 л/ч, расход водорода при нагреве и выдержке – от 20 до 0 л/ч.

На рис. 4 представлена микроструктура стали OVAKO 225A на этапах термообработки, на рис. 5 после подобранного режима азотирования.

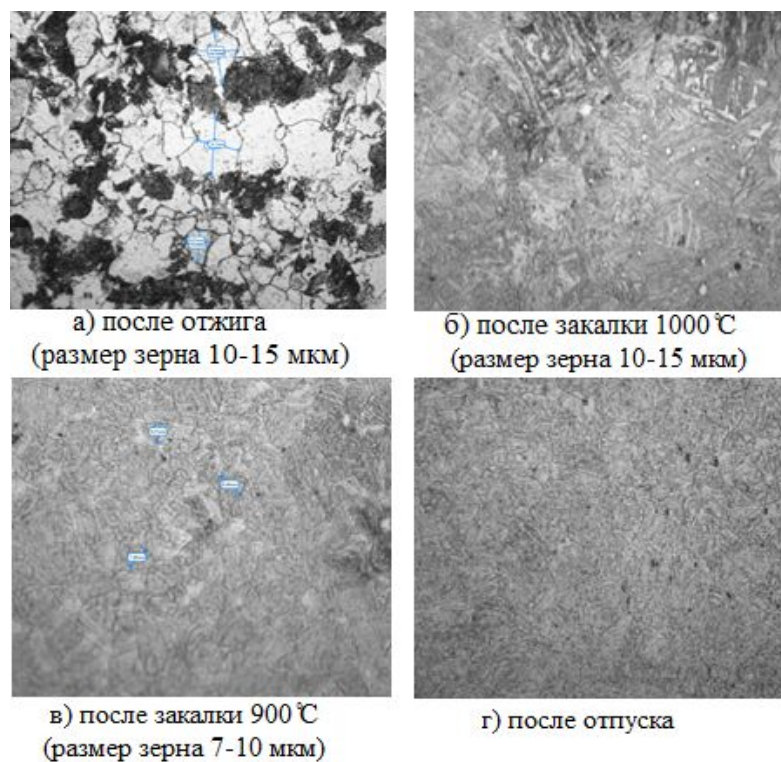


Рис. 4. Микроструктура стали OVAKO 225A на этапах ТО

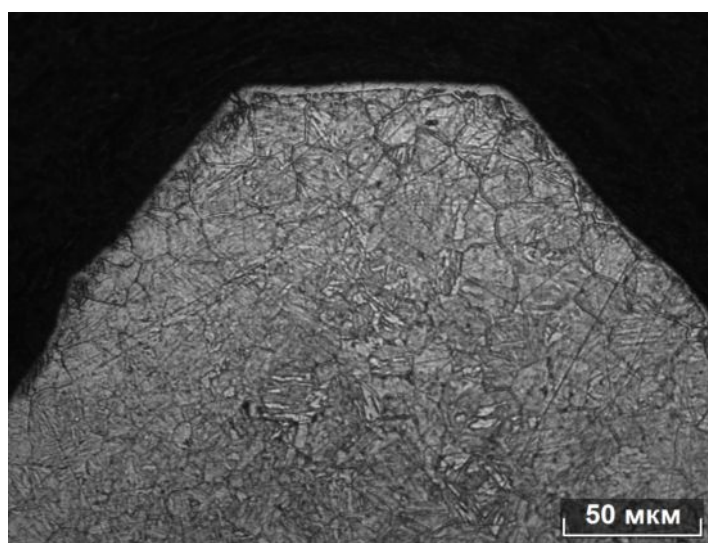


Рис. 5. Микроструктура стали OVAKO 225A после ИПА

Исследование проводилось на базе ЗАО «Диаконт» на оборудовании, отвечающем современным стандартам: печь для азотирования ELTROPULS 75/100, микротвердомер Tukon 1202.

Аналогичные опыты были проведены для заготовок из стали UDDEHOLMRigor, режимы азотирования для всех образцов сведены в таблицу 4.

Таблица 4. Режимы азотирования

Наименование детали	Материал заготовки	Режим азотирования					
		Температура выдержки, °С	Время выдержки, ч	Расход азота, л/ч		Расход водорода, л/ч	
				при нагреве	при выдержке	при нагреве	при выдержке
Винт	UDDEHOLMRigor	510	4	15	30	20	28
Гайка	OVAKO 225A	510	4	15	20	15	10
Ролик	UDDEHOLMRigor	510	4	15	30	20	28

По результатам исследования ИПА были сделаны следующие выводы:

- 1) при увеличении времени выдержки, при неизменной температуре, зерно основного материала увеличивается;
- 2) при уменьшении температуры выдержки нитридная сетка увеличивается, распространяется глубже;
- 3) разработанные режимы ИПА обеспечивают требуемые параметры поверхностного слоя.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Блинов Д.С., Алешин В.Ф. Определение точек начального контакта взаимодействующих витков резьбы деталей планетарных роликвинтовых передач – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 16 с: ил.
2. Блинов Д.С. Планетарные роликвинтовые механизмы. Конструкции, методы расчетов / Под ред. проф. О.А. Ряховского. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 222 с: ил.
3. Пустозеров Р.В., Птицина А.С., Кряжева Н.П., Алексанин С.А., Николаев В.В., Дунаев В.И. Особенности разработки роликвинтовых передач в составе линейных актуаторов // Научный вестник КГТУ. - 2013. - №2–12 с.
4. Лахтин Ю.М. Азотирование стали / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган // М.: Машиностроение, 1976.– 256 с.
5. Босяков М.Н., Бондаренко С.В., Жук Д.В., Матусевич П.А. Технологические возможности ионного азотирования в упрочнении режущего и штампового инструмента, Минск, 2004 – 5 с.

Сведения об авторах

Калининская Анна Леонидовна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: any9992@mail.ru

Дегтярев Виктор Викторович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
Должность: доцент
Электронная почта: wikdeg@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЗЕРКАЛА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Аннотация. Рассмотрены вопросы, связанные с особенностями нормирования текстуры поверхности зеркала цилиндров двигателя внутреннего сгорания. Представлены результаты исследования параметров шероховатости поверхности контакта цилиндра двигателя и поршневого кольца.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, цилиндры, параметры шероховатости, волнистость.

В современном машиностроении резко возрастает роль поверхности в функциональном назначении детали. Состояние поверхности определяет многочисленные свойства деталей:

- адгезионные;
- светоотражательные;
- уплотнительные;
- износостойкость;
- теплоотражательность;
- контактную жесткость;
- маслосъемность и др.

Для оценки таких различных функциональных свойств поверхностей уже недостаточно использовать только параметры шероховатости R_a и R_z . В настоящее время в мире используется более 100 параметров текстуры поверхности [1, 4, 5, 6].

Двигатель внутреннего сгорания – это сложный агрегат, который требует квалифицированного обслуживания, а при необходимости и ремонта. Капитальный ремонт двигателя автомобиля в первую очередь связан с восстановлением поверхности зеркала цилиндров до исходного или близкого к нему состояния. Каждый двигатель имеет свои особенности поэтому важно знать исходное состояние зеркала цилиндров перед тем как принимать решение по его восстановлению. Описать текстуру поверхности можно через ее параметры, однако различные производители двигателей придерживаются своих параметров, которые не соответствуют нашему ГОСТу, а иногда и стандартам ISO.

Анализируя международный опыт [1, 2, 3] исследований в области двигателестроения можно сделать вывод, что наиболее часто для описания текстуры поверхности зеркала цилиндров двигателей внутреннего сгорания применяют параметры, характеризующие кривую Аббота-Файрстоуна (рис. 1).

R_{pk} - сокращенная *высота пиков*. Верхняя часть поверхности (рис. 1), которая будет быстро изнашиваться, как только двигатель начинает работать.

R_k - *сердцевина шероховатости*. Часть поверхности, находящейся в работе длительное время, которая влияет на ресурс двигателя.

R_{vk} - *сокращенная глубина впадин*. Часть поверхности, содержащая глубокие маслосодержащие желоба (впадины), которые остались после черновой обработки.

Материал детали Mr_1 и Mr_2 (в %) определяется точкой перегиба, совмещенной с верхней и нижней границами сердцевины шероховатости профиля.

$V_0 = R_{vk} (100 - Mr_2) / 200$ - объем удерживающий масло.

Наши исследования направлены на изучение параметров профиля поверхности рабочей части гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания, с целью получения областей допустимых значений параметров шероховатости, разработки методики, которая в последствии будут применена для восстановления первоначальных рабочих характеристик

цилиндров двигателей. Опытным путем будут исследованы параметры шероховатости поверхности цилиндров двигателей различных марок автомобилей таких как: BMW, VOLVO, ВАЗ и др. После сбора и анализа полученных результатов будут выделены диапазоны значений для наиболее важных параметров шероховатости, которые впоследствии будут универсальными для ремонта большинства марок двигателей.

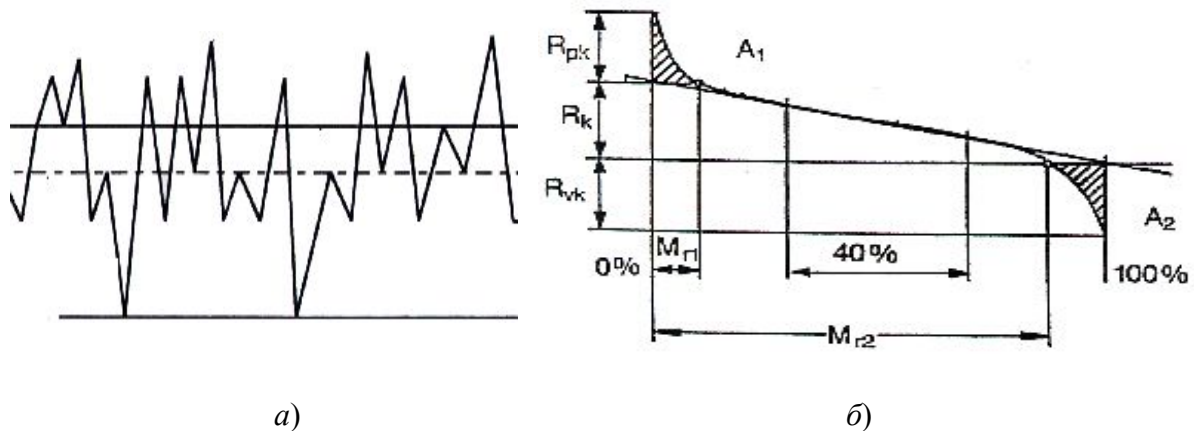


Рис. 1. Параметры текстуры поверхности зеркала цилиндров двигателя внутреннего сгорания:
а) - профилограмма поверхности; б) кривая Аббота-Файрстоуна

Для проведения исследований использовался прибор для измерения шероховатости профилометр MarSurfPS1. В качестве объекта исследований были выбраны гильзы цилиндров двигателя внутреннего сгорания автомобиля BMW.

При помощи измерительного прибора были получены результаты с нерабочей части гильз цилиндров, так как там параметры шероховатости получены еще на заводе изготовителе. Затем, проанализировав полученные результаты, будут построены кривые Аббота-Файрстоуна и выделенная область и будет являться искомой.

Было проверено 4 гильзы, на каждой из которых сделано 8 измерений в разных сечениях. В каждом сечении была получена информация о интересующих нас параметрах поверхности: R_a , R_z , R_{sm} , R_{vk} , R_{pk} , R_k , R_k , Mr_1 , Mr_2 , V_0 . Эти параметры участвуют в построении кривой Аббота-Файрстоуна.

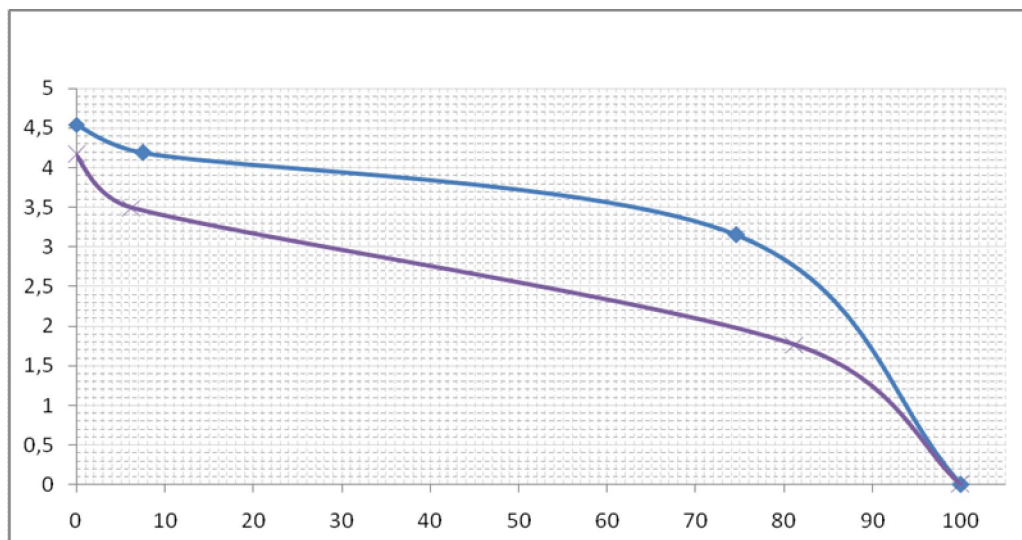


Рис. 2. Результаты замеров шероховатости поверхности на нерабочей части гильз

По результатам проведенных исследований построены графики с кривыми Аббота-Файрстоуна. Как видно из графиков (рис. 2) между верхней и нижней границей образовано поле в котором должны находиться параметры текстуры поверхности зеркала цилиндров двигателя при его восстановлении.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Степанов С.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт. Издательство Политехнического университета. Санкт-Петербург. 2007.
2. Уайтхауз Д. Метрология поверхностей. Принципы, применяемые методы и приборы. Под ред. Мышкина Н.К. Московская обл.: Издательство Дом «Интеллект», 2009.
3. Степанов С.Н., Тарасов С.Б., Видинеева Н.Ю. Диагностика, ремонт и обслуживание автомобилей: учебное пособие. Издательство Политехнического университета. Санкт-Петербург. 2010.
4. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000.
5. Валетов В.А., Иванов А.Ю. Непараметрический подход к оценке качества изделий. //Стандартизация и сертификация качества № 6, 2010.
6. Brown Christofer. What is Roughness? An introduction to Surface metrology. Proceedings of the 2ut Seminar on Surface Metrology for the Americas. p. 2-3. Worcester Polytechnic Institute, Worcester. MA, USA, 2012.

Сведения об авторах

Степанов Сергей Николаевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
Должность: доцент.
Электронная почта: Stepanov56@mail.ru

Евстратьев Евгений Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: orin1111@mail.ru

УДК: 621.833.4, 621.923.046

А.А. Логинов, В.В. Дегтярев

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РЕДУКТОРОВ (ТИП RV)

Аннотация. Рассмотрены особенности конструкции и технологии производства циклоидальных редукторов типа RV , их преимущества и недостатки в сравнении с обычными циклоидальными редукторами. Приведен анализ основных технологических задач и методов их решения для сборочных единиц «Корпус» и «Фланец», а также сформулированы требования к оборудованию, которое позволяет выполнить поставленные задачи.

Ключевые слова: циклоидальный редуктор, планетарно-цевочный редуктор, тип RV , термическая обработка, ТВЧ – токи высокой частоты.

В настоящее время в конструкциях планетарных циклоидальных редукторов реализуется 2 типа: обычный с обозначением К-Н-V и тип RV с обозначением 2К-V по классификации В.Н. Кудрявцева [1]. На рис. 1 представлена кинематическая схема редуктора типа RV . В редукторе типа RV имеются два сателлита I , системы координат профилей

которых смещены по окружности на 180° , сопряженных с двумя объединенными неподвижными коронными колесами 2. В отличие от обычного редуктора в типе *RV* вместо одного эксцентрикового вала, расположенного по оси редуктора, сателлиты приводятся в движение тремя эксцентриковыми валами 3, установленными по периферии дисков сателлитов (для упрощения на рис. 1 на схеме показаны только два эксцентриковых вала).

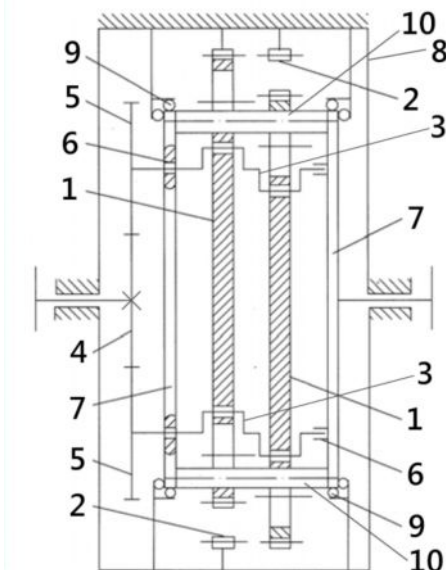


Рис. 1. Кинематическая схема редуктора типа *RV*

Три эксцентриковых вала приводятся в движение трехпоточной зубчатой передачей, включающей входной вал, с нарезанным на нём зубчатым венцом (солнечная шестерня) 4 и три планетарных шестерни 5 (для упрощения на рис. 1 на схеме показаны только два потока). Подшипниковые опоры эксцентриковых валов 6 расположены в двух щеках 7, которые установлены в корпусе 8 редуктора на подшипниках 9 и связаны между собой болтами 10, проходящими через дополнительные отверстия в дисках сателлитов. Данная сборочная единица именуется «Фланец». При движении редуктора фланец вращается с переносной угловой скоростью сателлитов и является выходным звеном редуктора.

Преимущества редукторов типа *RV* в сравнении с обычными:

1. Расширение диапазона выбора передаточного отношения редуктора, которое обеспечивается применением предварительной трехпоточной зубчатой передачи, что позволяет увеличить передаваемый момент при малых габаритах изделия. Передаточное отношение простого циклоидального редуктора и редуктора типа *RV* соответственно [2]:

$$i = (z_4 - z_3) / z_3; \quad i = 1 / (1 + z_2 z_4 / z_1),$$

где z_1 — число зубьев солнечной шестерни; z_2 — число зубьев планетарной шестерни; z_3 — число зубьев сателлита циклоидной передачи; z_4 — число цевок в коронной шестерне.

2. Отказ от механизма параллельных кривошипов и передача его функции выходного звена фланцу, установленному в корпусе редуктора на подшипниках.

3. Повышение кинематической точности редуктора за счет распределения входящего потока мощности на три параллельных потока по трем эксцентриковым валам, что снижает суммарную кинематическую погрешность, за счёт её усреднения.

4. Снижение момента инерции редуктора за счет уменьшения суммарного приведенного момента инерции трех эксцентриковых валов по сравнению с приведенным моментом инерции одного осевого эксцентрикового вала при его больших габаритных размерах.

Основными недостатками редукторов типа *RV* являются сложность конструкции, высокая точность параметров технических требований входящих деталей и соответственно высокая стоимость их изготовления.

В настоящее время компанией ООО «Диаконт-Инноватика» разрабатывается гамма циклоидальных редукторов типа *RV* и осуществляется подготовка к их производству.

Цель работы: поиск технологических решений, которые позволяют обеспечить выполнение требований, предъявляемых конструкцией редуктора. В данной работе сформулированы технологические задачи, возникающие при производстве сборочных единиц «Фланец» и «Корпус» циклоидального редуктора типа *RV*, и методы их решения.

На рис. 2 и 3 представлены фрагменты чертежей сборочных единиц «Фланец» и «Корпус» соответственно, одного из редукторов разрабатываемой гаммы.

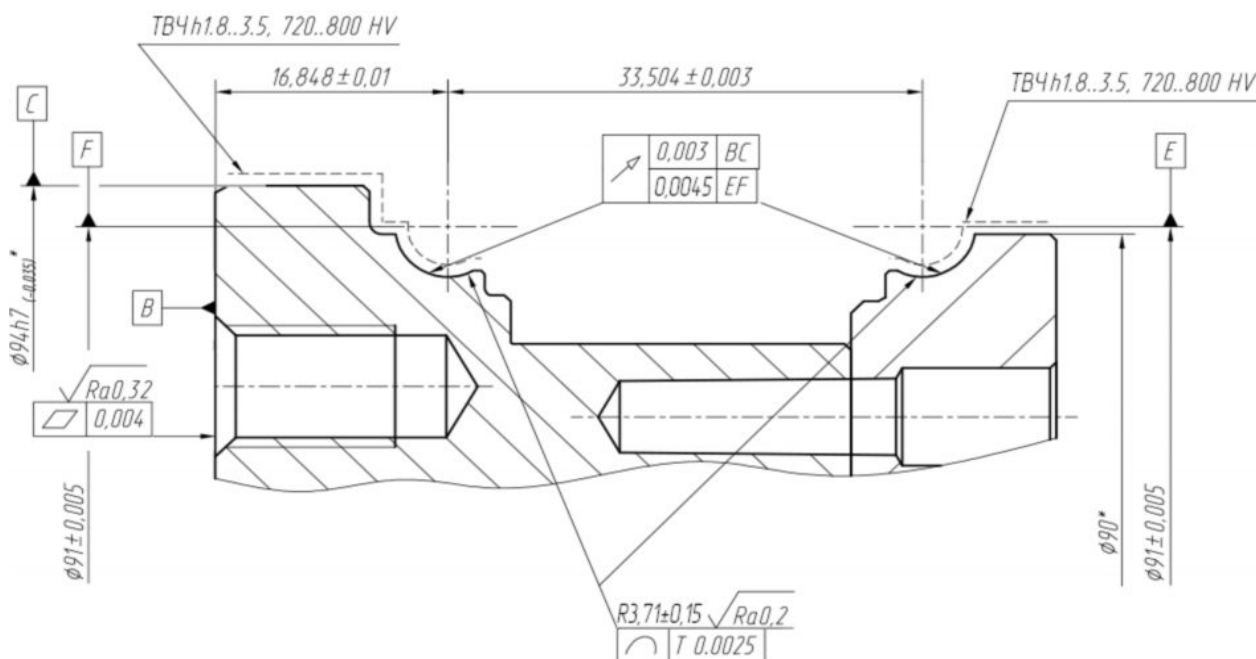


Рис. 2. Фрагмент чертежа сборочной единицы «Фланец»

Основные технологические задачи сборочных единиц «Фланец» и «Корпус», представленных на рис.2 и 3 соответственно:

- Допуск диаметрального размера $\text{Ø}91 \pm 0,005$ мм (4 квалитет).
- Допуск линейного размера $33,5 \pm 0,003$ (3...4 квалитет).
- Допуски формы заданного профиля $\text{TCL} = 0,0025$ мм и плоскостности поверхности базового торца $\text{BTFE} = 0,004$ мм (4...5 степень точности).
- Допуски формы и взаимного расположения, регламентированные допусками радиального биения поверхности профиля дорожки качения $\text{TCR} = 0,003$ мм (1...2 степень точности) относительно комплекта баз *B* и *C* и $\text{TCR} = 0,0045$ мм (2...3 степень точности) относительно их общей оси.
- Шероховатость поверхностей дорожек качения $Ra = 0,2$ мкм и базового торца *B* $Ra = 0,32$ мкм.

– Твёрдость поверхностного слоя двух фланцев, входящих в состав сборочной единицы «Фланец», 720...800 HV на глубине $h 1,8...3,5$ мм при твердости сердцевины 33...42 HRC.

В качестве материалов сборочной единицы «Корпус» предлагается использовать Сталь 55 для детали «Корпус», Rigo Ovako 803 (аналог ШХ15) для детали «Кольцо»

наружное». Для двух фланцев, входящих в состав сборочной единицы «Фланец» предлагается использовать Сталь 55.

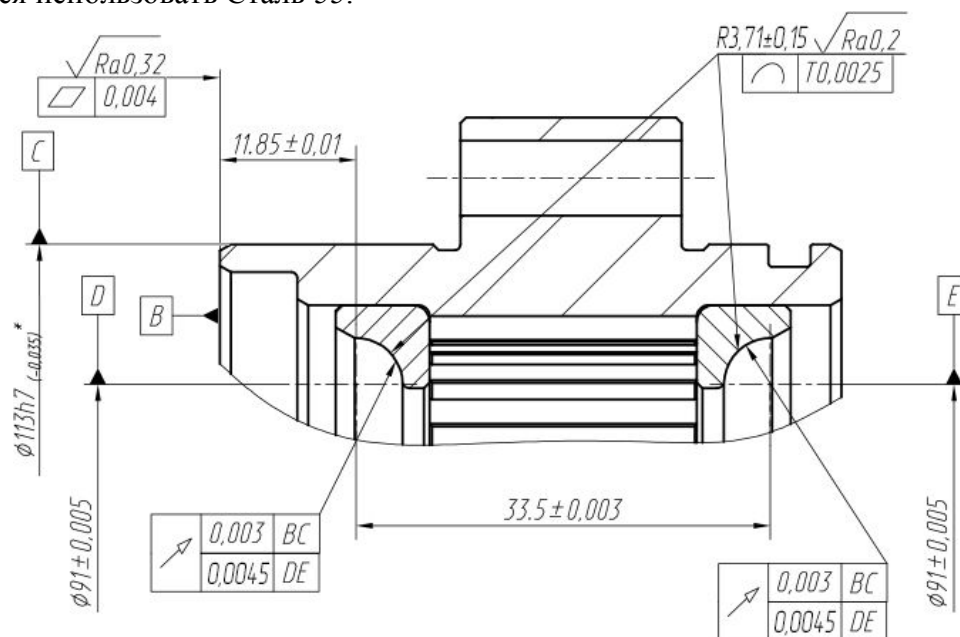


Рис. 3. Фрагмент чертежа сборочной единицы «Корпус»

Для окончательной обработки профилей дорожек качения предлагается реализовывать применение бесцентрового шлифования на жестких опорах. Подробное описание такой схемы шлифования приведено в [5]. Схема обработки представлена на рис. 4.

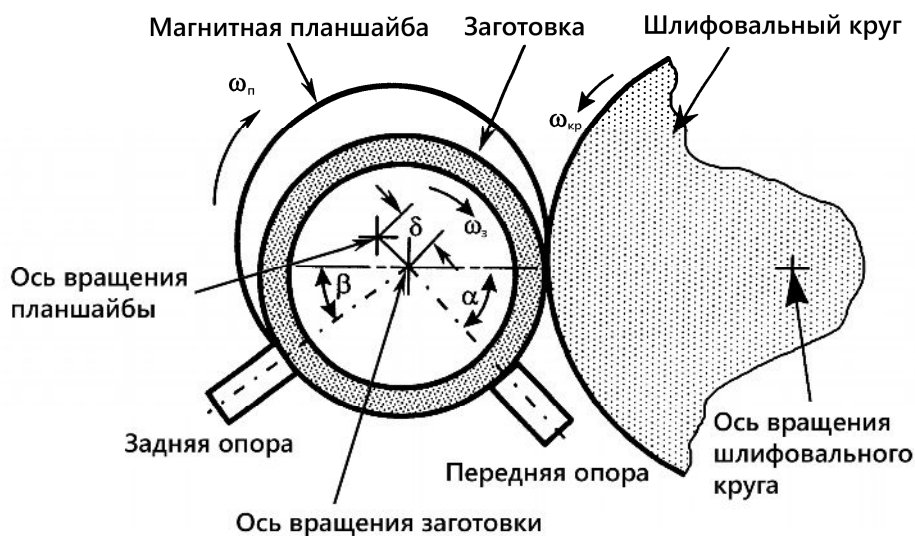


Рис. 4. Схема бесцентрового шлифования на жестких опорах

В качестве оборудования рассматриваются модели станков: StuderS41, JunkerJumat 1Si TacchellaProflex 3. С данными компаниями в настоящее время ведутся технические консультации по заключению договоров поставки. Главное движение реализуется вращением планшайбы совместно с заготовкой. Заготовка удерживается в осевом направлении планшайбой и поддерживается двумя жесткими опорами (башмаками), установленными в конструкции станка под углами α и β . Башмаки располагаются таким

образом, чтобы ось шлифуемой заготовки была смещена от оси вращающейся планшайбы на величину δ . При вращении планшайбы шлифуемая заготовка под воздействием передней и задней опор непрерывно смещается по поверхности планшайбы и возникающий при этом момент трения постоянно прижимает шлифуемую заготовку к башмакам. Прижим по торцу осуществляется магнитной планшайбой. Данный метод позволяет достичь отклонения откруглости до $TFK = 0,5-1$ мкм [5]. Допуск радиального биения поверхности профиля дорожки качения $TCR = 0,003$ мм относительно комплекта баз B и C обеспечивается совместной обработкой наружного базового диаметра с дорожками качения относительно торцевой поверхности (базы B). Предварительная обработка включает в себя черновую токарно-фрезерную обработку с ЧПУ, термическую обработку ТВЧ, а затем шлифование торцов заготовки с обеспечением параметров плоскостности $TFE = 0,004$ мм и шероховатости $Ra = 0,32$ мкм для поверхности базы B . Далее заготовка базируется торцом B на специальных сухарях, установленных, в радиальных Т-образных пазах магнитной планшайбы, которые позволяют обработать наружный диаметр заготовок корпуса и фланца без врезания шлифовальным кругом в торец планшайбы. Допуск радиального биения поверхности профиля дорожки качения $TCR = 0,0045$ мм относительно их общей оси достигается их совместной обработкой за один установ. Допуск формы заданного профиля дорожек качения $TCL = 0,0025$ мм обеспечивается точностью правящего устройства станка и размерной стойкостью шлифовального круга. Допуск диаметрального и линейного размеров $\varnothing 91 \pm 0,005$ мм и $33,5 \pm 0,003$ соответственно обеспечивается точностью позиционирования осей шлифовальных кругов в пространстве станка и точностью правящего устройства.

Получение твердости поверхностного слоя двух фланцев, входящих в состав сборочной единицы «Фланец», 720...800 HV на глубине $h1,8...3,5$ мм при твердости сердцевины 33...42 HRC предлагается закалкой с последующим отпуском, а затем после черновой токарной обработки – закалкой токами высокой частоты (ТВЧ). Для реализации данного метода упрочнения необходимо применение четырех индукторов: для наружного диаметра $\varnothing 94h7$ (база C), два для каждой дорожки качения и для наружного диаметра $\varnothing 90$. Преимущества метода:

- Повышению эксплуатационной прочности деталей, за счет создания на поверхности сжимающих напряжений благодаря образованию в поверхностном слое мартенситной структуры. Чем меньше глубина закаленного слоя, тем в большей мере проявляется действие таких напряжений.

- Высокая производительность.

- Легкость регулирования толщины закаленного слоя посредством изменения частоты генератора.

- Минимальное коробление заготовки.

- Почти полное отсутствие окалины.

- Возможность полной автоматизации всего процесса.

Основной недостаток метода – высокая стоимость индукционных установок и индукторов.

Поверхностной высокочастотной закалке целесообразно подвергать детали, изготовленные из углеродистой стали с содержанием 0,4—0,5% С. Эти стали после закалки имеют поверхностную твердость HRC 55—62. При меньшем содержании углерода требуемая твердость уже не достигается, а при большем содержании возникает опасность появления трещин в условиях резкого охлаждения водяным душем. Наряду с углеродистыми возможно применение также низколегированных хромистых, хромоникелевых, хромокремнистых и других сталей. Но необходимо отметить, что применение закалки ТВЧ позволяет не использовать легированные стали заменив их более дешевыми – углеродистыми. Объясняется это тем, что такие важные преимущества легированных сталей,

как глубокая прокаливаемость и меньшая деформация, утрачивают свое значение [4]. По этой причине для фланцев предлагается использовать Сталь 55.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кудрявцев В.Н., Кирдяшев Ю.Н. Планетарные передачи. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1977 – 536 с.
2. Borislavov B., Borisov I., Panchev V. Design of a Planetary-Cyclo-Drive Speed Reducer Cycloid Stage, Geometry, Element Analyses: Linnaeus University, Sweden, Växjö, 2012 – 90 с.
3. Козырев В.В. Планетарные редукторы в составе роботов и мехатронных систем: учеб. пособие – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 48 с.
4. Райцес В.Б. Термическая обработка: В помощь рабочему-термисту. – М.: Машиностроение, 1980 – 192 с.
5. Патент US6287183 B1 Vacuum-hydrostatic shoe for centerless grinding/ BiZhang, Yanhua Yang – Заявл. 17.12.1999, US 09/466,256; Публ.: 11.09.2001.

Сведения об авторах

Логинов Александр Анатольевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: jimonco@gmail.com

Дегтярев Виктор Викторович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
Должность: доцент
Электронная почта: wikdeg@yandex.ru

УДК : 621.833.4

В.В. Денисов, А.В. Петров, С.Б. Тарасов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА КОНТАКТНЫЕ НАНОИЗМЕРЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрены факторы, влияющие на наноизмерения на примере установки для поверки концевых плоскопараллельных мер длины 2 разряда. Разработана методика исследования влияния этих факторов на наноизмерения.

Ключевые слова: аттестация, погрешность измерения, точность, преобразователь, измерительный наконечник.

Установлено, что требования к точности измерений возрастают в 3-10 раз каждые 10-15 лет [1]. Недостаток измерительных возможностей служит препятствием на пути инноваций во многих сферах экономики, машиностроения, медицины, обороны.

В области линейных измерений применяются контактные и бесконтактные методы измерений. Пределом точности контактных измерений можно считать аттестацию плоскопараллельных концевых мер длины второго разряда, которые являются эталонами.

Погрешность аттестации составляет $\pm (0,05 + 0,5L)$ мкм, где L- длина аттестуемой меры в м.

Концевые меры длины первого разряда аттестуются уже только бесконтактным методом с помощью интерферометра Кестерса с погрешностью $\pm (0,02 + 0,2L)$ мкм, сравнением с длинами волн эталонных источников света.

Долгие годы для аттестации концевых мер второго разряда применялся двойной контактный интерферометр модели 272, состоящий из стойки с доведенным столом и двух контактных интерферометров. Этот прибор не выпускается более 25 лет, морально и физически устарел, и таких приборов осталось в стране единицы.

Поставлена задача создать современный компьютеризированный производительный прибор для аттестации концевых мер второго разряда на базе установки УКМ-100. Установка предназначена для поверки концевых мер 3 и 4 разрядов и 1-5 классов точности. Установка отличается от своих аналогов высокой производительностью, надежностью, заменой доведенного стального стола гранитным, исключением контакта эталонной и поверяемой мер с поверхностью стола.

На погрешность таких высокоточных измерений как аттестация концевых мер длины влияют различные факторы:

- базирование концевых мер длины;
- калибровка измерительных преобразователей;
- значение и динамика измерительного усилия;
- размер радиуса и материал измерительного наконечника;
- соосность измерительных наконечников;
- упругие контактные деформации Герца;
- градиент изменения температуры окружающей среды;
- температурные поля концевых мер длины и элементов конструкции средства измерения.

Прежде чем говорить о точности аттестации концевых мер длины, необходимо рассмотреть методику их аттестации, которая имеет свои особенности.

В процессе аттестации определяются следующие параметры меры:

- отклонение от номинальной длины;
- отклонение от плоскопараллельности;
- определение срединной длины меры.

Срединной длиной концевой меры является длина перпендикуляра, опущенного из центра одной измерительной поверхности на противоположную измерительную поверхность [2].

Аттестация меры второго разряда осуществляется дифференциальным методом сравнением с мерой первого разряда того же номинального размера по схеме измерений, показанной на (рис. 1).

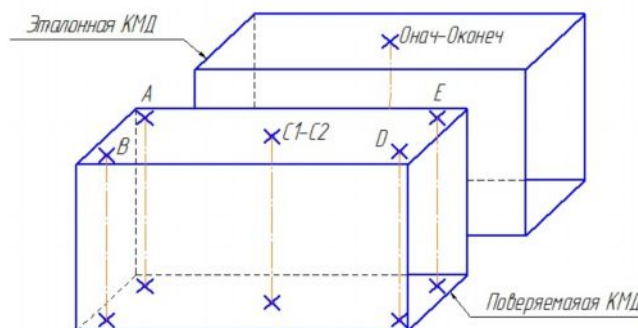


Рис. 1. Схема аттестации мер

В точке $O_{нач}$ обнуляется суммарное показание верхнего и нижнего преобразователей, соответствующее срединной длине меры первого разряда. Затем под измерительные

наконечники преобразователей перемещается аттестуемая мера и определяются отклонения ее длины от срединной длины эталонной меры последовательно в точках. C_1 , A , B , D , E , C_2 . Далее под измерительные наконечники преобразователей снова перемещается эталонная мера и снимаются показания $O_{\text{конеч}}$. В каждой точке наконечники преобразователей арретируются три раза и среднее значение из трех показаний принимается в расчет. Таким образом, для аттестации одной меры необходимо выполнить 24 измерения. И хотя при автоматизированном режиме измерений этот цикл занимает всего 15-20 секунд, методика поверки КМД второго разряда требует тройной проверки стабильности выполняемых измерений – разность показаний $O_{\text{нач}}$ и $O_{\text{конеч}}$. C_1 и C_2 и размах показаний в каждой измеряемой точке не должен превышать 0,02 мкм. Таким образом, если минимальная систематическая погрешность аттестации мер второго разряда составляет 0,05 мкм, то случайная погрешность не должна превышать 0,02 мкм. Обеспечить это особенно трудно по следующим причинам.

В УКМ-100 применяются индуктивные преобразователи с дискретностью 0,01 мкм, а случайные составляющие погрешности аттестации (размах показаний, расхождение значений $O_{\text{нач}}$ и $O_{\text{конеч}}$, C_1 и C_2) составляют 0,02 мкм.

В связи с этим, первой задачей является создание индуктивного преобразователя с дискретностью показаний 1-2 нанометра.

Производство установок УКМ-100 показало, что меньше всего исследовано влияние на стабильность показаний соосности наконечников, значения радиуса наконечников, статических и динамических значений измерительных усилий преобразователей, переходных процессов в преобразователях в момент контакта наконечников с измеряемой мерой.

Условия проведения исследований.

1. Исследования проводятся на базе установки УКМ-100 со специально созданными индуктивными преобразователями с дискретностью показаний 1-2 нанометра и с размахом показаний не более 0,01 мкм.

2. В качестве объекта исследования выбраны концевые меры размером 1 мм, у которых малая масса и жесткость, и на этом размере ощутимее проявляется несоосность наконечников.

3. В качестве критерия оценки результатов отдельных исследований выбрана кривая распределения размаха показаний с параметрами среднего и оптимального робастного отклонения на базе 30 значений [3].

4. Подъем и опускание штоков преобразователей осуществляется с помощью вакуумного арретирования.

5. В исследовании применены две меры первого класса точности одного номинального размера, уложенные в соответствующие гнезда кассеты.

6. В исследовании полностью имитируется процедура аттестации меры с целью выявления влияния элементов кассеты на стабильность показаний.

Исследование влияния арретирования и измерительного усилия преобразователей.

Оба эти фактора определяют условия динамического воздействия в процессе измерения на меры и кассету, с одной стороны, и на надежность контакта наконечников с мерами, с другой стороны.

В аттестации меры участвуют два преобразователя. Наконечник нижнего преобразователя определяет положение нижней поверхности меры (рис. 2).

Измерительное усилие нижнего преобразователя должно обеспечивать надежный контакт наконечника с поверхностью меры.

Измерительное усилие верхнего преобразователя должно преодолевать измерительное усилие нижнего преобразователя и обеспечивать надежный прижим меры к поверхности кассеты, но не допускать ощутимой деформации меры и кассеты.

Таким образом, в процессе исследования необходимо установить минимально допустимые значения измерительных усилий нижнего и верхнего преобразователей.

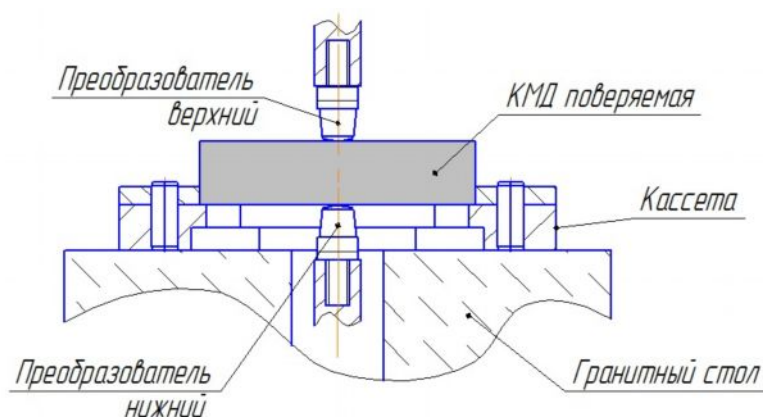


Рис. 2. Схема измерения КМД на установке УКМ-100

В процессе измерения на меру воздействует не статическое измерительное усилие, которое мы определяем с помощью граммометра или весов, а динамическое воздействие, вызываемое падением штоков преобразователей с высоты арретирования под действием пружины измерительного усилия. В установке УКМ-100 установлен диапазон показаний преобразователя равным ± 20 мкм. Так как настройка преобразователя и измерение производится около нуля, то при арретировании шток поднимается на 30-50 мкм и этот подъем штока при соответствующем измерительном усилии определяет динамику воздействия наконечника на меру.

В процессе исследований необходимо определить оптимальную высоту арретирования штоков обоих преобразователей в сочетании со значениями измерительных усилий в соответствии с условиями эксперимента (табл. 1). Учитывая взаимосвязанное влияние обоих факторов, в исследовании применяется планирование многофакторного эксперимента [4].

Табл. 1. Условия эксперимента по влиянию измерительного усилия и по высоте арретирования

	Преобразователи	
	Верхний	Нижний
Измерительное усилие, сН	100	60
		40
		20
	60	40
		20
	40	20
Высота арретирования, мкм	30	30
		10
		5
	10	10
		5
	5	5

Влияние радиусов и соосности наконечников.

Значение радиуса наконечника оказывает, главным образом, влияние на упругие контактные деформации поверхности меры. Так как аттестация меры происходит сравнением с эталонной мерой, то упругие контактные деформации при данном измерительном усилии будут разными для одной меры в зависимости от значения радиуса, но практически одинаковыми для аттестуемой и эталонной меры во время измерения. Поэтому можно полагать, что влияние контактных деформаций на результат аттестации будет несущественным, так как характеристики обоих мер (материал, твердость, шероховатость) одинаковы.

Гораздо более существенным является взаимосвязь значения радиуса и соосности наконечников преобразователей. Несоосность наконечников ведет к тому, что образуется момент, который вызывает опрокидывание меры. Так как несоосность особенно влияет при измерении мер малой длины, то соосность обеспечивают путем совмещения вершин сфер сведенных наконечников или оценивают косвенно по положению меры, зажатой между наконечниками.

В установке УКМ-100 применены наконечники в виде сегмента сферы с радиусом 14 мм на цилиндре диаметром 3 мм. Экстремальная точка сферы зачастую не лежит на оси цилиндра и из-за большого радиуса кривизны ее положение неочевидно. Эти обстоятельства затрудняют регулировку соосности.

Для оптимизации условий регулировки соосности будут применены наконечники с меньшими радиусами сферы.

Переходные процессы в преобразователях в момент контакта с мерой.

Одним из факторов, влияющих на размах показаний преобразователей, может быть то, что снятие показаний происходит при неустановившемся положении штока преобразователя.

Для повышения производительности измерений на установке УКМ-100 арретирование штока в каждой точке меры осуществляется по программе через 50 миллисекунд. Мера лежит в кассете, опираясь краями по периметру (рис. 2), не имея опоры в средней части.

Во время удара наконечника в средней точке мера может колебаться как мембрана, и время переходного процесса успокоения колебаний может быть больше 50 мс. Исследование переходного процесса проводится с помощью усилителя аналогового сигнала ЛМУ и лучевого осциллографа.

Влияние кассеты. Кассета для базирования концевых мер в процессе аттестации является уникальным узлом, отличающим установку УКМ -100 от всех мировых аналогов [5]. Концевые меры во время аттестации размещены в кассете и не касаются стола прибора (рис. 2). Благодаря этому, меры не трутся об стол и не изнашиваются. Одновременно снижаются требования к поверхности стола, что позволило доведенную стальную поверхность заменить на гранитную, не требующую обслуживания. Для аттестации мер 3 и 4 разрядов применение кассеты и гранитного стола зарекомендовала себя наилучшим образом. Исследования должны показать, как это влияет на аттестацию мер второго разряда.

Заключение. Результаты, полученные в процессе исследования могут быть использованы при выполнении других наноизмерений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Министерство промышленности и торговли РФ, приказ от 17.06.2009 г. № 529 об утверждении стратегии обеспечения единства измерений в России до 2015 года.
2. Государственная система обеспечения единства измерений «Меры длины концевые плоскопараллельные» МИ 1604-87. – М.: Издательство стандартов, 1988
3. Хьюбер Дж.П. «Робастность в статистике». - М.: Мир, 1984, -304 с.

4. Хикс Ч. «Основные принципы планирования экспериментов». – М.: Мир, 1967, – 406 с.
5. Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий, авторское свидетельство №1441156 «Прибор для поверки концевых плоскопараллельных мер длины».

Сведения об авторах

Денисов Василий Васильевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: denisoffvasya@mail.ru

Петров Антон Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: a-v_petrov@mail.ru

Тарасов Станислав Борисович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
Должность: доцент
Электронная почта: imcmikro@mail.ru

УДК: 621.833.4:621.941.1

С.А. Шарамыгин, Н.В. Никитков

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ПЛАНЕТАРНО-ЦЕВОЧНЫХ РЕДУКТОРОВ**

Аннотация. Рассмотрены особенности конструкции и технологии производства планетарно-цевочных редукторов, их преимущества и недостатки в сравнении с волновыми редукторами и циклоидальными типа RV. Приведены основные технологические задачи и методы их решения для детали «сателлит», примеры оборудования, которое позволяет выполнить поставленные задачи.

Ключевые слова: планетарно-цевочный редуктор, цевочное зацепление, сателлит.

В настоящее время в станках с ЧПУ, приводах роботов и других прецизионных оборудовании широко используются планетарно-цевочные редукторы: с обозначением $K-H-V$ и тип RV с обозначением $2K-V$ по классификации В.Н. Кудрявцева [1]. На рис. 1 представлена кинематическая схема редуктора типа $K-H-V$.

Сателлит 1, смонтированный на водиле H, имеет зубья, выполненные по циклоиде. Центральное колесо 2 содержит оси б с установленными на них с возможностью вращения цевками 5, взаимодействующими с зубьями сателлита. Выходной вал V соединен с диском 3, в отверстия которого с натягом вставлены пальцы 4, входящие в отверстия сателлита. Пальцы, контактируя со стенками отверстий, выполняют функцию параллельных кривошипов.

Преимущества редукторов данного типа в сравнении с волновыми и циклоидальными типа RV:

1. В планетарно-цевочных редукторах нет гибких колес, что обеспечивает их большую жесткость по сравнению с волновыми редукторами.

2. Применяется внутреннее цевочное зацепление. В цевочном внешнем зацеплении профиль зубьев 2 малого колеса имеет форму окружности, а сам зуб выполнен в форме цилиндра, называемого цевкой 1 (рис. 2). При внутреннем цевочном зацеплении реальная поверхность контакта больше, чем в эвольвентном зацеплении, в связи с чем нагрузочная способность выше в два раза. Зубья такой формы практически не работают на изгиб.

3. Разница чисел зубьев сателлита 1 и чисел тел качения (цевок) 5 (рис. 1) может составлять единицу, что позволяет получить намного большие передаточные числа в одной ступени. Передаточное отношение рассчитывается по формуле $i = (z_4 - z_3) / z_3$ [3].

4. Менее сложная и менее точная конструкция деталей в отличие от редукторов типа RV.

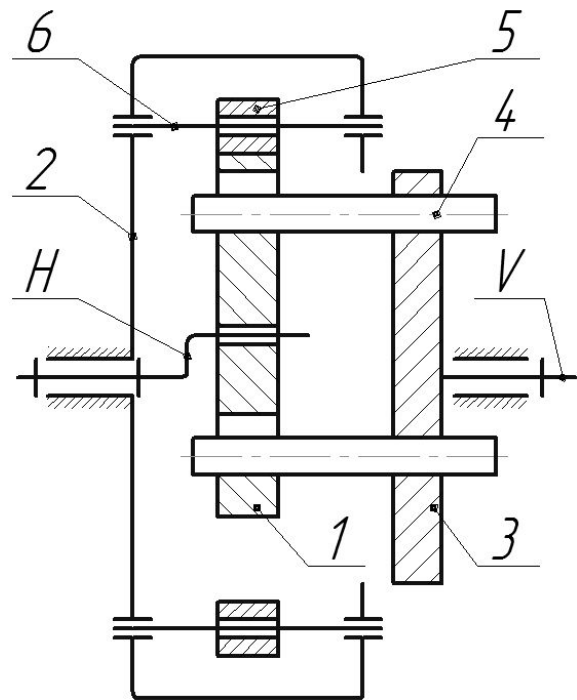


Рис. 1. Планетарно-цевочный редуктор схемы К-Н-V.

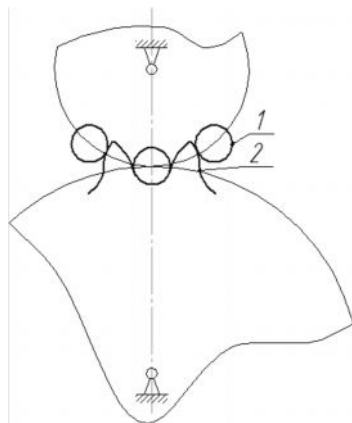


Рис. 2. Цевочное зацепление

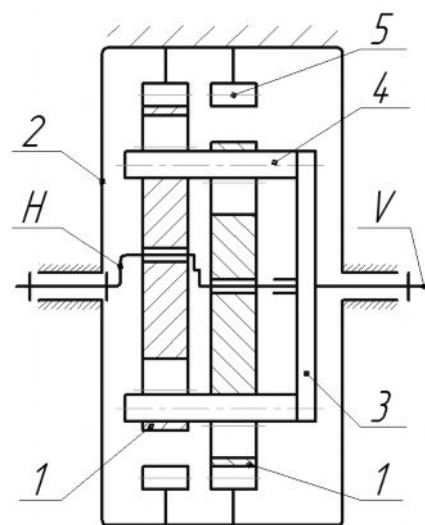


Рис. 3. Схема редуктора типа К-Н-V с двумя сателлитами

К недостаткам данного типа редукторов относятся:

1. Сложность распределения нагрузок по пальцам 4 (рис. 1) механизма параллельных кривошипов;

2. Неуравновешенная центробежная сила сателлита 1 (рис. 1). Уравновешивание центробежной силы осуществляется применением двух сателлитов, установленных подвижно на двух противоположно расположенных эксцентриках H (рис. 3);

3. Большая масса данного типа редуктора, по сравнению с волновыми и циклоидальными типа *RV*;

4. Наибольшая виброактивность, среди рассматриваемых редукторов.

Цель работы: поиск технологических решений, которые позволят обеспечить достижение повышенной точности деталей, вызываемых конструкцией редуктора. В работе рассматриваются методы решения технологических задач на примере производства детали «Сателлит» планетарно-цевочного редуктора.

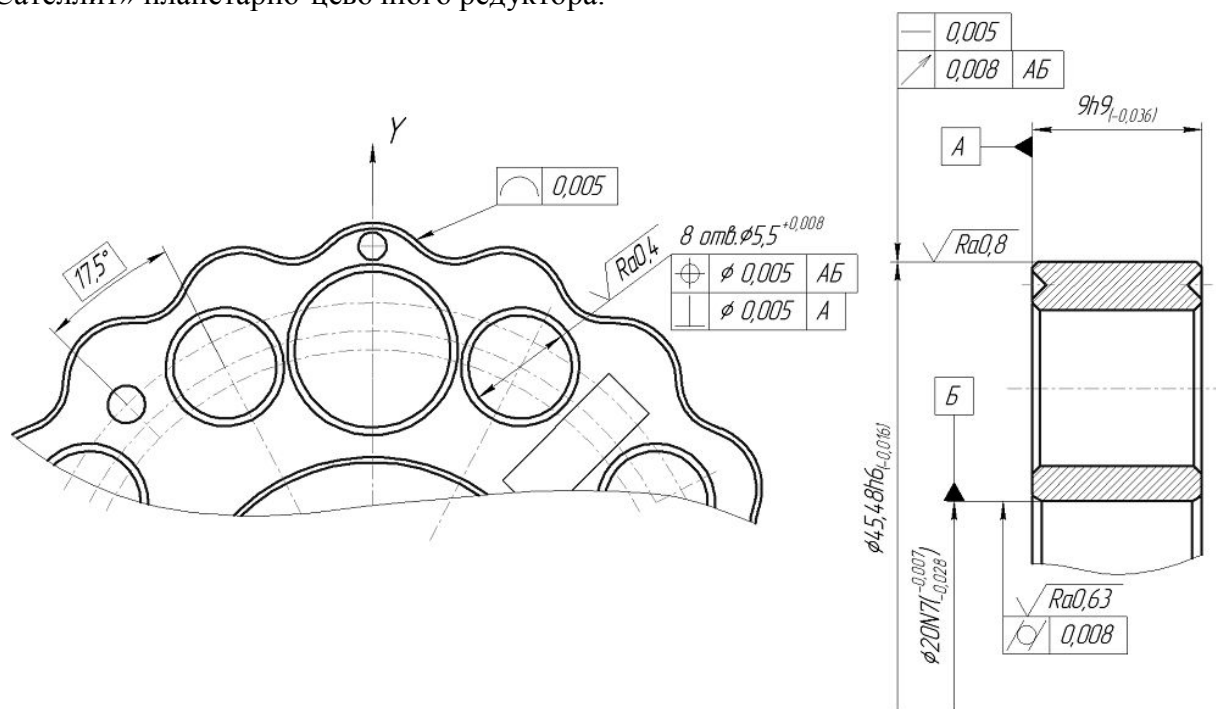


Рис. 4. Фрагмент чертежа «сателлит»

Основные технологические задачи детали «сателлит»:

1. Точность диаметральных размеров $\varnothing 5,5^{+0,008}$ мм (6 квалитет);
2. Точность линейных размеров до $9_{-0,036}$ (9 квалитет);
3. Допуск формы заданного профиля $TCL = 0,005$ мм, допуск прямолинейности $TFL = 0,005$ мм (5...6 степень точности), допуск цилиндричности $TFZ = 0,008$ мм (6...7 степень точности);

4. Допуски формы и взаимного расположения по 6...7 степени точности: допуск радиального биения $TCR = 8$ мкм, допуск перпендикулярности $TPR = 5$ мкм позиционный допуск положения осей $\varnothing TPR = 5$ мкм;

5. Шероховатость отверстий под штифты $Ra = 0,4$ мкм;

6. Твёрдость детали «Сателлит» 55...60 HRC.

Материал детали «Сателлит»: сталь ХВГ ГОСТ 5950-2000.

Структура маршрута технологического процесса включает в себя несколько этапов. Заготовительный этап состоит из ленточнопильной операции и отжига; черновой этап – токарно-винторезная и фрезерная с ЧПУ; термический – закалка и отпуск; получистовая с использованием плоскошлифовальных станков. Чистовой этап обработки профиля «Сателлита» проводится на координатно-шлифовальном станке Moore Tool 500 CPWZ w/31i-A. В результате обработки достигается выполнение поставленных технологических задач по профилированию рабочих профилей «Сателлита», диаметральных размеров и допусков расположения их осей.

В ходе работы, была изготовлена установочная партия деталей в количестве 12 деталей и проведены измерения на координатно-измерительной машине Dea Global Performance 171007. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты измерений

Контролируемый параметр	Кол-во деталей	Фактический параметр, мкм	Мах отклонение, мкм
Позиционный допуск $TPP = 0,005$ мм отверстия $\varnothing 5,5$ мм	12	0,001...0,006	0,001
Допуск перпендикулярности $TPR = 0,005$ мм оси отверстия $\varnothing 5,5$ мм		0,001...0,003	в допуске
		0,002...0,004	
Допуск цилиндричности $TFZ = 0,008$ мм оси отверстия $\varnothing 20$ мм		0,004	в допуске
		0,007	
Допуск формы заданного профиля зубьев $TCL = 0,005$ мм		0,004...0,005	в допуске
		0,003...0,005	в допуске

Результаты измерения свидетельствуют, что выбранная последовательность обработки не является технологичной. Из двенадцати деталей, у одного сателлита отклонение позиционного допуска равно 1 мкм, что соответствует 8,33% брака. Допускаемый в производстве брак равен 2-3 %. Учитывая, что установочная партия деталей статистически недостаточная, необходимо провести исследования на партии 80-100 штук для установления истинного процента брака технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кудрявцев В.Н., Кирдяшев Ю.Н. Планетарные передачи. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1977 – 536 с.
2. Козырев В.В. Планетарные редукторы в составе роботов и мехатронных систем: учеб. пособие – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 48 с.
3. Borislavov B., Borisov I., Panchev V. Design of a Planetary-Cyclo-Drive Speed Reducer Cycloid Stage, Geometry, Element Analyses: Linnaeus University, Sweden, Växjö, 2012 – 90 с.
4. Кинематический анализ планетарно-цевочных механизмов. / Иванов А.С. [и др.] //Вестник машиностроения. – 2012 г.
5. Конструктивные исполнения планетарно-цевочных редукторов для высокоточных приводов / Иванов А.С. [и др.] //Вестник машиностроения. – 2013 г.

Сведения об авторах

Шарамыгин Сергей Алексеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: nem8h@rambler.ru

Никитков Николай Валентинович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., профессор
Должность: профессор
Электронная почта: nnvnvi@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛИ «КОРПУС ФОРСУНКИ»

Аннотация. Работа посвящена решению технологической задачи формообразования глубоких отверстий с пересекающимися осями в условиях среднесерийного типа производства. В ходе работы проведен анализ существующих методов формообразования данных отверстий. Предложено высокопроизводительное решение. Спроектирован специальный режущий инструмент – 3-х пёрый зенкер. Результаты исследований могут быть применены на металлообрабатывающих производствах.

Ключевые слова: сверление, глубокое отверстие, отверстия с пересекающимися осями, мелкоразмерное отверстие, зенкер.

В настоящее время, при проектировании технологических процессов формообразования глубоких отверстий с пересекающимися осями малого диаметра возникает комплекс технологических проблем. Целью данной работы является поиск путей повышения производительности и стойкости металлорежущего инструмента при формообразовании глубоких отверстий с пересекающимися осями в условиях среднесерийного типа производства. Работа производится на примере обработки детали «Корпус Форсунки» на 5-ти осевом обрабатывающем центре с ЧПУ. Материал заготовки – 38ХА (Твердость HB269..321). Объем производства – 2000 шт/год.

Глубокими называют отверстия с относительной глубиной (отношение глубины отверстия к его диаметру $\delta_L = L/D$) $\delta_L \geq 5$ [1], [2]. В последние годы жесткость технологической системы на станках общего машиностроения существенно возросла. Это привело к тому, что к глубоким стали относить отверстия с отношением $\delta_L \geq 10$ [3], [4].

На рис. 1 представлен эскиз обрабатываемых поверхностей детали «Корпус Форсунки». Данная деталь является типовой для энергетической промышленности. Функциональное назначение пересекающихся отверстий $\varnothing 3,5$ и $\varnothing 4,8$ подача топлива в камеру сгорания газотурбинного агрегата. Относительная глубина отверстия $\varnothing 3,5$ $\delta_L = 12,2$; отверстия $\varnothing 4,8$ $\delta_L = 18,9$.

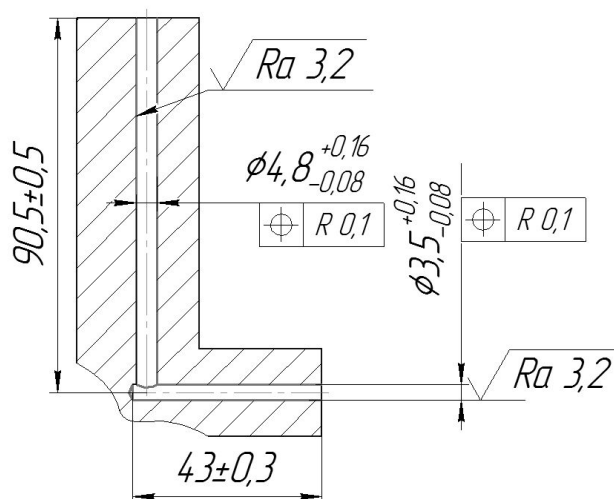


Рис. 1. Эскиз обрабатываемых поверхностей детали «Корпус Форсунки»

На сегодняшний день, формообразование данных отверстий производилось твердосплавными сверлами ружейного типа с предварительным образованием

направляющего пилотного отверстия коротким спиральным сверлом. По рекомендациям обработки пересекающихся отверстий [1], в первую очередь сверлится глубокое отверстие меньшего диаметра для минимизации увода сверла. В данном случае отверстие Ø3,5. При последующем сверлении отверстия Ø4,8 без изменения режимов обработки наблюдались следующие дефекты:

- увод оси сверла в месте пересечения отверстий;
- низкая стойкость сверла Ø4,8;
- плохой отвод стружки из отверстия, что приводило к периодическим заклиниваниям сверла Ø4,8.

Обработка производилась на 5-ти координатном обрабатывающем центре с ЧПУ. Давление СОЖ, подаваемой через шпиндель по характеристикам станка не превышает 20 бар (0,2 МПа). Рекомендуемые значения давления СОЖ для ружейных сверл составляет 0,6-1,0 МПа [1], [3]. Этим фактом объясняется неудовлетворительное отведение стружки. Увод сверла на месте пересечения отверстий вызван изменением сил резания, возникающим из-за переменной глубины резания в зоне пересечения осей отверстий.

В соответствии с поставленными целями данной работы были предложены следующие технологические решения:

- замена ружейных сверл твердосплавными спиральными сверлами с износостойким покрытием режущих кромок и полировкой поверхностей стружечных канавок;
- замена пилотных сверл с углом при вершине 120° на пилотные сверла с углом при вершине 150°;
- введение в технологический процесс специального калибрующего инструмента – 3-х пёртого зенкера, который позволяет не пересекать ось отверстия Ø3,5 сверлом Ø4,8.

В качестве сверл для замены были выбраны сверла компании WALTER серии XD.Technology. Для сверления отверстия Ø3,5 было выбрано сверло A6589DPP-3.5. Данное сверло позволяет сверлить глубокое отверстие без применения пилотного сверла. Для сверления отверстия Ø4,8 было выбрано сверло A6794TFP-4.8 [5]. Данное сверло разработано с учетом требований к отводу стружки при сверлении глубоких отверстий в сталях. Оно не требует высокого давления СОЖ (Достаточно 20-30 бар). На учебно-производственной площадке Академии Walter были проведены сравнительные испытания используемого и предлагаемого сверла Ø4,8. В табл. 1 представлены результаты проведенных испытаний.

Табл. 1. Сравнительные испытания сверл Ø4,8

Режимы резания	Сверло ружейное (используемое)	Сверло XD A6794TFP-4.8
Скорость резания, V_C , м/мин	65	80
Подача на оборот, S_0 , мм/об	0,03	0,12
Минутная подача, V_S , мм/мин	129	636
Время основное. T_0 , с	39	8
Удельный съем металла, Q см ³ /мин	2,34	11,5
Стойкость, отверстий	552	348

В качестве критерия производительности был выбран удельный съем металла Q . Критерий производительности $P=Q_{XD}/Q_{GUN}=11,5/2,4=4,9\approx 5$. Величина критерия производительности показывает, что производительность формообразования отверстия сверлом XD A6794TFP-4.8 повысилась в 5 раз относительно применения ружейного сверла. Стойкость сверла увеличилась на 58%.

Замена пилотных сверл с углом при вершине 120° на пилотные сверла с углом при вершине 150° позволило улучшить условия резания металла на входе и увеличить стойкость инструмента.

Главным технологическим решением стало проектирование специального 3-х пёрого зенкера $\varnothing 4,85$, с зубьями выходящими в ось зенкера. Было предложено сверлить отверстие $\varnothing 4,8$ не на всю глубину 90,5 мм, а на глубину 87 мм, а последние 3 мм досверливать зенкером. Спроектированный зенкер обладает большей жесткостью, чем сверло, это исключает неудовлетворительное качество поверхности пересечения и увод оси отверстия. На рис. 3 представлен эскиз спроектированного зенкера.

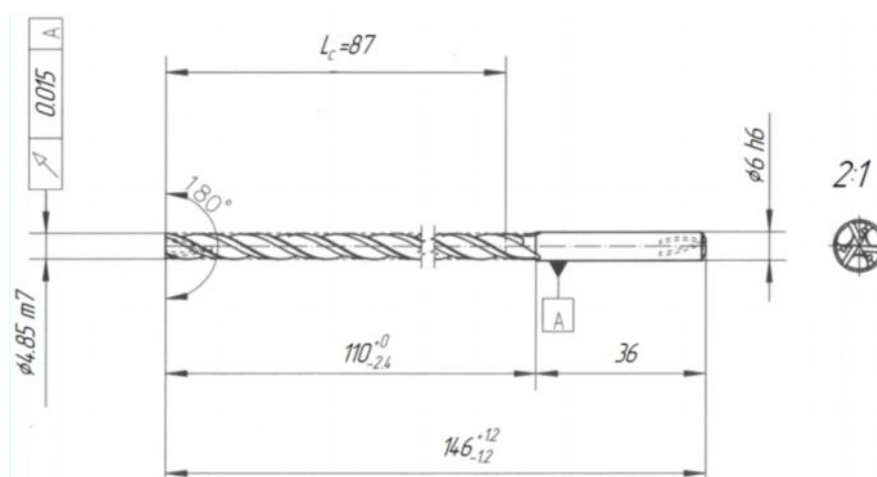


Рис. 2. Эскиз специального зенкера

Внедряемые технологические решения позволяют повысить производительность обработки отверстий с пересекающимися осями в 5 раз. Увеличить стойкость режущего инструмента на 58%. На данный момент решения внедряются на производстве. Спроектированный зенкер производится на заводе-изготовителе компании Walter. Решение является универсальным для формообразования мелкогабаритных каналов форсунок, распылителей и других подобных деталей. Основным направлением дальнейших разработок является создание типового проекта обработки пересекающихся и скрещивающихся отверстий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Звонцов И.Ф., Серебrenицкий, Схиртладзе А.Г. Технологии сверления глубоких отверстий. Спб.: «Лань», 2013, 495 стр.
2. Троицкий Н.Д. Глубокое сверление. Л.: «Машиностроение», 1971, 176 стр.
3. Deep hole drilling. Product catalogue and application guide. Sandvik Coromant publish house, 2012, 164 стр.
4. Metalworking technical guide, Sandvik Coromant publish house, 2011, 566 стр.
5. XD.Technology. Deep hole drilling, Walter AG publish house, 2014, 48 стр.

Сведения об авторах

Бурханов Руслан Ренатович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: ruslan.burkhanov@walter-tools.com

Четвериков Игорь Алексеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: igor_chetverikov@mail.ru

УДК 621.9

Р.Ш. Тугушев, И.А. Четвериков

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРУППОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ СБОРА И АНАЛИЗА ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Аннотация. Статья посвящена постановке задачи для магистерского исследования. Предметом данного исследования является разработка группового технологического процесса с использованием концепции искусственных нейронных сетей. В качестве связующих звеньев для построения алгоритмов технологических операций и переходов были выбраны логические функции, к которым добавлены операторы условного перехода с целью реализации возможности самообучения. Кроме того, рассмотрены актуальные научные работы в данном направлении.

Ключевые слова: групповой технологический процесс, искусственные нейронные сети, логические функции, комплексная деталь, адаптивный контроль.

В XX веке с ростом потребностей в продукции тяжелой промышленности существенно возросла необходимость в подготовке инженерно-технических кадров. Конструктор и технолог - два ключевых человека на любом производстве, имеющем отношение к машиностроению. На протяжении десятилетий их работа основывалась на использовании обширных знаниях принципов построения технологических процессов, областей применения технологического оборудования и инструмента, его режимов, средств метрологического обеспечения. При этом деятельность человека данной профессии неразрывно связана с использованием справочной литературой, многочисленными табличными данными. Самым же важным качеством хорошего инженера является умение анализировать информацию.

На сегодняшний день средства вычислительной техники изменили подход к созданию нового продукта. Многочисленные средства CAD значительно упростили процесс графического проектирования, а САМ и САЕ сделали максимально простыми аналитический расчет конструкций и дальнейшую подготовку производства.

Однако благодаря последним исследованиям в области искусственного интеллекта, мы уже можем говорить о дальнейшем развитии тяжелой промышленности с еще меньшим участием человека. Речь о создании САПР, которая бы объединяла CAD, CAE и САМ, а также содержала все необходимые базы данных для проектно-конструкторских и производственных работ.

Одним из наиболее простых способов реализации алгоритмов такой системы можно назвать создание искусственных нейронных сетей (далее – ИНС).

Начиная с середины двадцатого века, исследованиями ИНС занимались такие ученые как У. Маккалок и У. Питтс, Н. Винер, Д. Хебб, Ф. Розенблатт, Т. Кохонен и Дж. Андерсон и многие другие. Одна из наиболее крупных работ написана Ф. Уоссерменом.

Согласно [1], ИНС индуцированы биологией, так как они состоят из элементов, функциональные возможности которых аналогичны большинству элементарных функций биологического нейрона. ИНС демонстрируют удивительное число свойств, присущих мозгу. Например, они обучаются на основе опыта, обобщают предыдущие прецеденты на новые случаи и извлекают существенные свойства из поступающей информации, содержащей излишние данные.

При этом автор отмечает, что даже самый оптимистичный их защитник не предположит, что в скором будущем искусственные нейронные сети будут дублировать функции человеческого мозга. То есть, таким образом, необходимо понимать, что ИНС можно использовать для создания алгоритмов анализа, применяемых искусственным интеллектом, но не могут быть его основой.

Применительно к производственным задачам построение технологических алгоритмов рассмотрено в [2]. Анализ данной работы показал, что ее основой является построение комплексных деталей для различных классов деталей или группы поверхностей, также для разных классов деталей с целью создания типовых и групповых ТП, соответственно. При написании структуры типовых и групповых ТП в каждой операции, установке, позиции, ходе указываются элементы логических условий или функций.

Пример логической функции:

$$f_{\text{опер.}} = \left(\begin{array}{c} n1 \\ \wedge \\ \text{код}=1 \end{array} \left(\begin{array}{c} 14 \\ \wedge \\ \text{IT}=4 \end{array} \left(\begin{array}{c} 12.5 \\ \wedge \\ \text{Ra}=0.01 \end{array} A_j \right)_{\text{Ra}} \right)_{\text{IT}} \right)_{\text{код } j}, \text{ где } j=[05,150] - \text{перечень операций. [2]}$$

Совокупность типовых и групповых ТП составляет унифицированный ТП, который на основе своей структуры отрабатывает определенный алгоритм.

Сам алгоритм может быть задан в виде графа. Пример такого графа представлен на рис. 1.

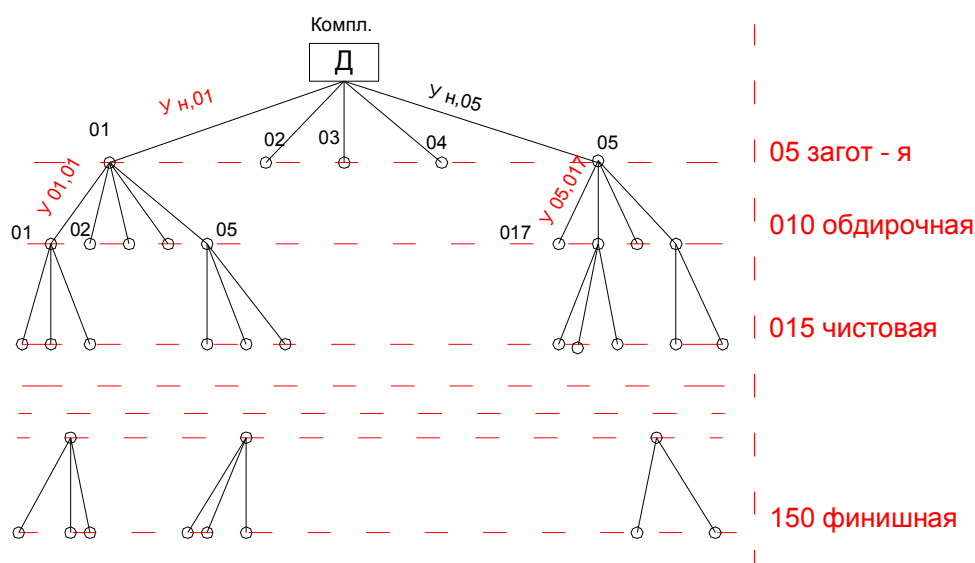


Рис. 1. Модель графа [2]

Дуги - логические условия для перехода от одной операции к другой. Каждому U должна соответствовать логическая функция f . Пример: $f_{H,01} = (N < 100) \wedge (\text{заготовка прокат}) \wedge (D \leq 200)$, $U_{H,01} = 1$, а операция 05 – отрезка от проката заготовки дисковой пилой.

К недостаткам граф-моделей авторы относят:

- Очень большая глубина графа (до 150 уровней) для сложных комплексных деталей;
- Очень большое количество логических функций, т.е. затраты времени технолога и программиста.

Однако, несмотря на очевидную высокую трудоемкость при построении таких алгоритмов, они могут существенно упростить труд технолога, и достаточно эффективны сами по себе. Тем не менее, Никитков Н.В. не рассматривает самообучение и анализ систем, что присуще ИНС.

Гришин С.А. в кандидатской диссертации [3] изучил возможность применения алгоритмов самообучения к оптимизации процесса резания на примере токарной и сверлильной обработки. Суть эксперимента заключалась в том, чтобы при обработке заготовок компьютер сам опытным путем определил режимы резания, которым будет соответствовать стойкость инструмента, максимальной близкая к нормативной.

Подобные системы адаптивного контроля и оптимизации получают все большее распространение. Так, например, в работе [4], посвященной исследованию вибраций при лезвийной обработке, описывается такая система как держатель инструмента со встроенным контроллером с обратной связью, обрабатывающий определенный алгоритм. Отмечается, что такое адаптивное управление способно снижать вибрации почти на 40 дБ на частоте 3,4 кГц. В качестве еще одного примера можно привести статью [5], где ученые поставили задачу создать устройство адаптивного контроля силы резания и поддержания постоянной шероховатости обработанной поверхности при процессе непрерывного фрезерования. В случае если сила резания при обработке меняла свое постоянное значение, то это устройство стабилизировало процесс за счет изменения скорости подачи и скорости вращения шпинделя.

Но все эти работы являются лишь частью такой трудоемкой задачи как оптимизация технологического процесса.

Заключение. На основании анализ выше, сформулируем следующие задачи исследования:

- Разработать принцип системы сбора информации для базы данных, в которую заносятся все интересующие нас входные и выходные параметры;
- Разработать систему анализа информации из базы данных (т.н. «аналитический центр»);
- Используя инструментарий первых двух пунктов, построить групповой технологический процесс для группы деталей внутри класса, учитывающий технико-экономические и нормируемые показатели.

Принцип построения полученного группового технологического процесса может найти широкое применение при проектировании современных САПР с целью оптимизации построения технологических процессов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. - М., 1992.
2. Никитков Н.В., Ковеленов Н.Ю., Шабалин Д.Н. Автоматизированное проектирование технологических процессов. - Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Институт металлургии, машиностроения и транспорта, Кафедра технологии машиностроения. — Санкт-Петербург, 2013.

3. Гришин С.А. Применение алгоритмов самообучения к оптимизации процесса резания на примере токарной и сверлильной обработки: автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н.; [Тул. гос. ун-т]. – Тула, 2000. - 15, [1] с.: ил.; 21 см.
4. Linus Pettersson - Vibrations in Metal Cutting: Measurement, Analysis and Reduction Ronneby, March 2002, Department of Telecommunications and Signal Processing, Blekinge Institute of Technology, 372 25 Ronneby, Sweden
5. F. Cus, U. Zuperl - Model reference adaptive force and surface roughness control in milling - Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor, Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenia; Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, February 2008

Сведения об авторах

Тугушев Роман Шамильевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: romantugushev@gmail.com

Четвериков Игорь Алексеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: igor_chetverikov@mail.ru

УДК 621.923

А.А. Тишков, С.С. Степанов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЕРКИ РУЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО ЭТАЛОННОГО ПРИБОРА

Аннотация. Рассмотрены вопросы, связанные с поверкой ручного измерительного инструмента и разработкой эталонного прибора для этих целей. Представлена конструкция прибора для поверки двухточечных ручных инструментов и результаты первых испытаний изготовленной модели.

Ключевые слова. Прибор, точность измерений, ручной инструмент, методика поверки, погрешность позиционирования.

На машиностроительных предприятиях в качестве измерительного инструмента в основном используются ручные средства измерения. Каждое средство измерения в процессе эксплуатации изнашивается поэтому требует ежегодной поверки т.е. подтверждения технических характеристик.

Для проведения поверки необходимо эталонное средство измерения. Такие приборы выпускают ведущие мировые фирмы производители эталонной техники такие как Mahr (Германия), Mitutoyo (Япония), Tesa (Швейцария) и др. К сожалению, в России такие приборы не выпускаются поэтому целью данной научной работы является разработка эталонного прибора для поверки и настройки двухточечного измерительного инструмента.

Востребованность данного прибора объясняется тем, что он предназначен для широко распространенной группы двухточечных измерительных инструментов, таких как штангенциркули, микрометры, нутромеры, скобы и др.

Таким образом, прибор позволяет заменить импортные дорогостоящие аналоги, что в связи с современной международной политической и экономической обстановкой, а также курсом государства на импортозамещение придает ему ещё большую актуальность.

Разработка и создание данного прибора потребовала решения следующих научно-технических проблем:

1. Точность позиционирования в пределах 1 мкм;
2. Жесткость фиксации измерительных поверхностей не менее 3-х кг;
3. Компьютерная компенсация температурных погрешностей;
4. Разработка управляющей программы для сервопривода;
5. Разработка программы для обработки результатов поверки;
6. Разработка программы для поверки самого прибора на основе лазерного интерферометра.
7. Проанализировать возможность расширить функциональные возможности прибора до поверки как 2-х точечных, так и 3-х точечных нутромеров.

В настоящее время создана модель данного прибора. Примерный вид прибора изображен на рис. 1.



Рис. 1. Прибор для поверки двухточечного измерительного инструмента М1000

Основной погрешностью прибора будет погрешность позиционирования. Величину погрешности позиционирования A определяют методом статистической оценки (рис. 2). Погрешность позиционирования A складывается из погрешностей отдельных устройств, входящих в состав прибора:

- $\Delta_{\text{э}}$ – погрешность электронных блоков;
- $\Delta_{\text{дв}}$ – погрешность двигателя;
- $\Delta_{\text{к}}$ – кинематическая погрешность;
- $\Delta_{\text{г}}$ – геометрическая погрешность;
- $\Delta_{\text{изм}}$ – погрешность датчика линейных перемещений.

Для проведения экспериментальных исследований по определению точности позиционирования необходима специальная установка, состоящая из испытуемого прибора и эталонного средства измерения. В качестве эталонного средства измерения будем использовать лазер-интерферометр (излучатель и интерферометр), а также оптический отражатель и средства для установки и закрепления измерительной системы. Общая схема измерений приведена на рис. 3.

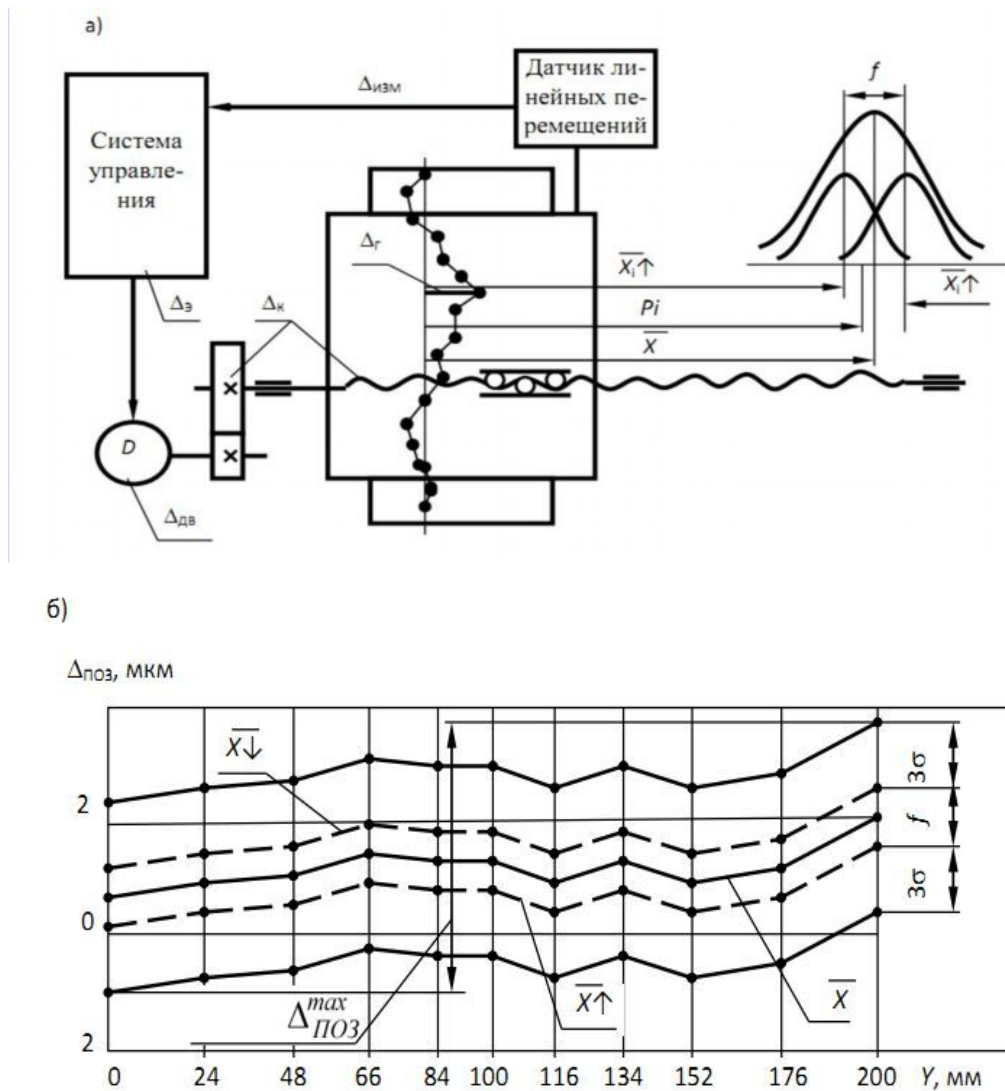


Рис. 2. Определение погрешности позиционирования прибора:

- а) Схема формирования погрешности позиционирования;
 б) График погрешности при двустороннем позиционировании измерительной каретки прибора

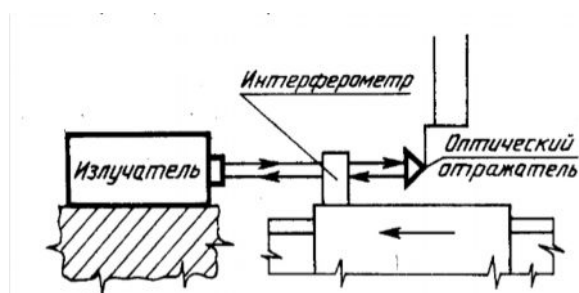


Рис. 3. Схема измерения точности позиционирования

В конструкции прибора используются материалы с различными коэффициентами линейного расширения. Различная температурная деформация отдельных частей прибора может повлиять на его точность. Поэтому необходимо провести исследования, чтобы оценить ее величину или убедиться в отсутствии температурной погрешности.

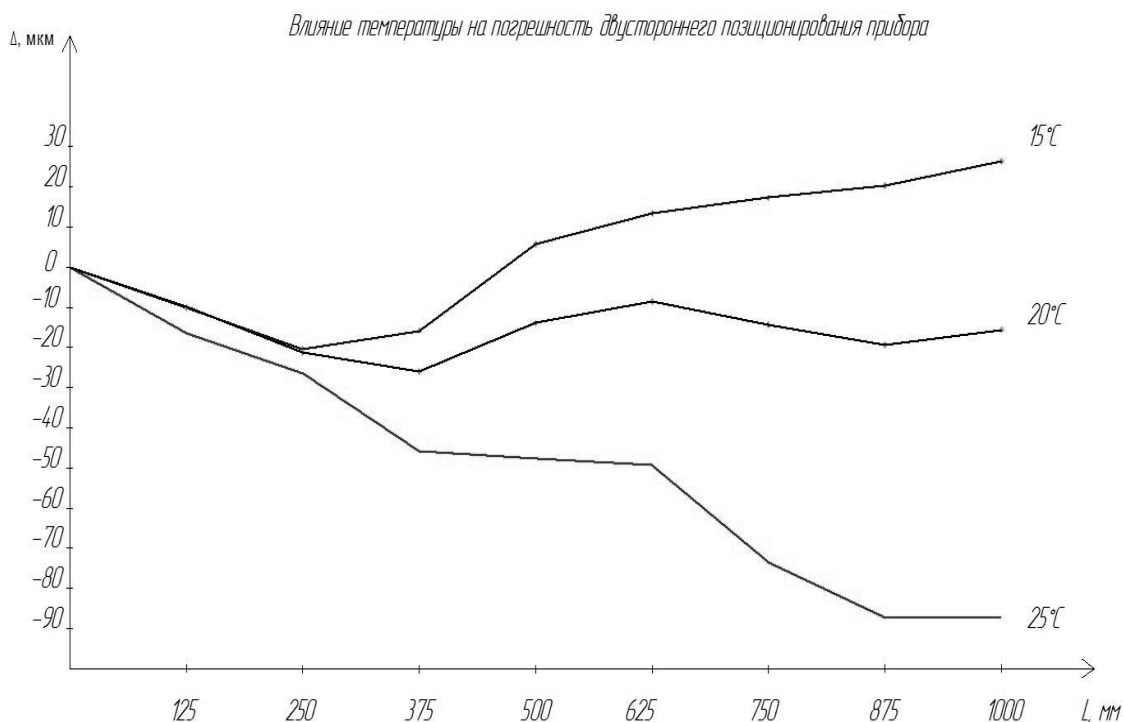


Рис. 4. Влияние температуры на погрешность позиционирования

Перед началом эксперимента необходимо каретку установить в крайнее положение и обнулить систему отсчета.

Лазер-интерферометр и отражатель устанавливают и выверяют согласно инструкции по эксплуатации прибора.

Согласно ГОСТ 8.395-80 температура при измерениях $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Выбираем три температурных режима 15°C ; 20°C и 25°C .

Результаты исследований представлены на диаграмме рис 4.

Как видно из предоставленных результатов опытных измерений, наименьшая погрешность позиционирования будет при температуре 20 градусов по Цельсию.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Любомудров С.А., Степанов С.Н., Тарасов С.Б. Метрологическое обеспечение производства. Учебное пособие. С-Пб: Изд-во Политехн. ун-та. 2006.
2. Глухов В.И. Расчет точности измерительных устройств. Учебное пособие. Новосибирск: НИСИ, 1977.
3. Марков Н.Н., Ганевский Г.Н. Конструкция и эксплуатация контрольно-измерительных инструментов и приборов. М.: Машиностроение. 1993.
4. Координатно-измерительные машины, автоматы, приборы размерного контроля. М.: ЦНИТИ, 1992.
5. ГОСТ 9038-90. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. М.: Изд-во. ИПК издательство стандартов. 1990.

Сведения об авторах

Степанов Сергей Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Должность: инженер

Электронная почта: stepanov.sergey.koi@gmail.com

Тишков Александр Александрович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: at2604@yandex.ru

УДК 621.002

А.А. Семененко, С.Л. Мурашкин, С.Н. Степанов

ПЛОСКОВЕРШИННОЕ ХОНИНГОВАНИЕ

Аннотация. Рассмотрена технология плосковершинного хонингования. Поэтапное формирование текстуры поверхности при технологии плосковершинного хонингования. Достижимые свойства поверхности цилиндров двигателя внутреннего сгорания. Приведены характеристики режущего инструмента и режимов резания для черновых и чистовых операций.

Ключевые слова: Плосковершинное хонингование, шероховатость поверхности, цилиндры двигателя, алмазные бруски.

У двигателя внутреннего сгорания после традиционного хонингования, микропрофиль рабочей поверхности цилиндра напоминает горную цепь с острыми вершинами (рис 1, а). В начальный период эксплуатации (при обкатке) эти выступы быстро сглаживаются, разрушаются, пока не появятся достаточно большие «опорные плоскости» - вот теперь темп износа мотора уменьшится.

Разумнее, однако, заранее создать нужную шероховатость рабочей поверхности с плоскими вершинами (рис. 1, б) и учесть ее в монтажных зазорах при сборке.

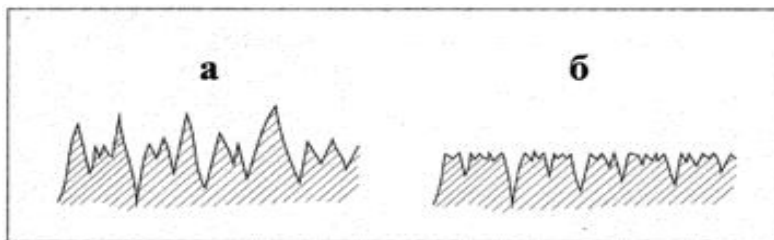


Рис. 1. Виды поверхностей после хонингования:
а) Традиционного хонингования б) Плосковершинного

Плосковершинное хонингование имеет несколько плюсов. Его основная цель – это тщательная обработка цилиндров двигателя для дальнейшей работы.

В ходе этого цилиндры мотора и поршневые кольца быстрее прирабатываются, а это значит, что будут меньше изнашиваться детали мотора, и увеличится моторесурс двигателя.

Из-за быстрой приработки деталей увеличивается компрессия в цилиндрах, повышается мощность, уменьшается расход топлива.

Также при этом уменьшается расход моторного масла и уменьшается прорыв газов в картер.

Процесс плосковершинного хонингования происходит в два этапа. Первый этап – это черновая обработка цилиндров, при которой используют крупное зерно алмаза (125/100; 100/80). Второй этап – это заключительная обработка. На этом этапе используют мелкозернистый алмазный брусок (40/28), который дает точность обработки.

После хонингования необходимо промыть двигатель. Это удалит металлические стружки и остатки металлической завязки алмазных брусков.

В России плосковершинное хонингование было впервые внедрено на двигателях автомобилей VAZ 2108, 2109 по настоятельной рекомендации немецкой фирмы «Порше», разработавшей для этого технические требования.

В настоящее время ведущие автомобильные фирмы (BMW, Ford, VW и др.) предъявляют новые требования к качеству поверхности зеркала цилиндра блока цилиндров двигателя, достигаемые "плато"-хонингованием.

Для "плато"-хонингования (рис. 2) необходимо собственно две ступени обработки для того, чтобы достичь необходимую структуру поверхности. Однако в серийном производстве в настоящее время производится обработка в три ступени, чтобы при различной черновой обработке зеркала цилиндра получить равномерное качество поверхности. Почти во всех случаях применения "плато"-хонингования предыдущая операция прецизионного растачивания проводится режущими керамическими пластинами. При этом получают, при стойкости в среднем около 180 отверстий на пластину, поверхности различной шероховатости. Если, например, с новой пластиной вначале получается шероховатость $R_z=4..5$ микрон, то к концу времени стойкости данной пластины шероховатость увеличивается до $R_z=20-25$ микрон. Такого рода большие различия в шероховатости оказываются, хотя и ослабленно, на работе применяемого вслед за этим алмазного хонинговального инструмента, а именно в том, что необходимая для "плато"-структуры получистовая шероховатость образуется недостаточно равномерно. Поэтому целесообразно выполнить операцию чернового хонингования с целью достижения равномерности шероховатости поверхности, а само получистовое "плато"-хонингование и чистовое "плато"-хонингование выполнить как вторую и третью операции. Алмазные хонинговальные бруски, успешно применяемые с инструментом чернового хонингования, имеют, таким образом, не только задачу обработки материала, но и в определенной степени должны увеличить шероховатость слишком гладкой поверхности отверстия после расточки и сделать болеегладкой слишком шероховатую поверхность, с тем, чтобы создать необходимые предпосылки для оптимального результата обработки при последующем "плато"-хонинговании.

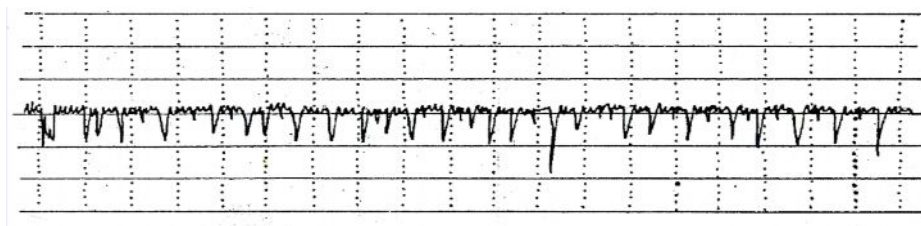
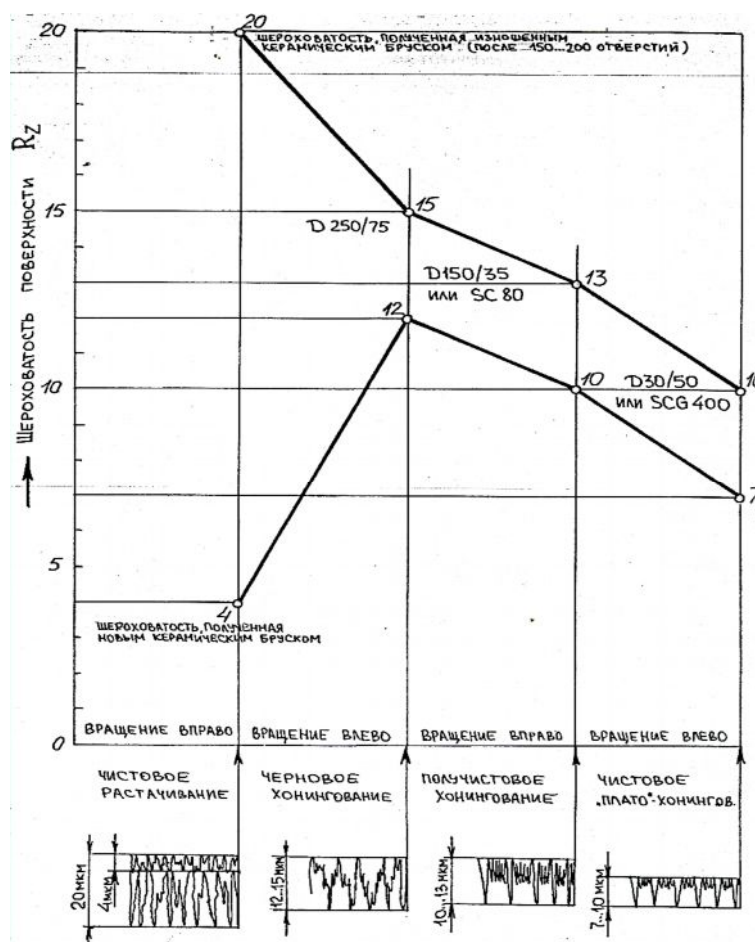


Рис. 2. Профиль поверхности плато-хонингованного зеркала цилиндра

Припуск на обработку при данной операции чернового хонингования может, не оказывая существенного влияния на конечный результат, варьироваться в пределах 0,05-0,15 мм. Развитие шероховатости поверхности зеркала цилиндра в процессе отдельных операций обработки характерно показано на рис. 3. При получистовом "плато"-хонинговании, т.е. во время второй хонинговальной операции, узкими крупнозернистыми алмазными хонинговальными брусками, например, с размером: зерна Д150 и низкой концентрацией или керамическими хонинговальными брусками с зерном SC60...80, образуются равномерные одинаково направленные хонинговальные следы. При этом снимаемый материал составляет максимально 0,015...0,02 мкм. Во время третьей ступени операции, убираются пики поверхности "плато" после получистового хонингования низко

зернистыми хонинговальными брусками, например, SCG320 или алмазными хонинговальными брусками с зерном Д30 за 3-4 рабочих хода с максимальным временем хонингования 5...8 сек. Этой операцией выполняется профиль "плато" (рис. 2). С целью достижения лучшего эффекта обработки, а также для того, чтобы за счет изменения ориентации графитовых пластин уменьшить отслоения, которые возникают, в частности, при алмазном хонинговании с высоким давлением прижима, изменяется направление вращения хонинговальных шпинделей в каждой последующей ступени операции.



Чистовое "плато"-хонингование производится в таком случае по автоматической регулировки времени или по счетчику ходов. Сам процесс переключения происходит в доли

секунды, таким образом, хонинговальный инструмент постоянно находится в движении в отверстии и при этом не возникает неконтролируемой фазы в процессе хонингования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Степанов С.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт. Издательство Политехнического университета. Санкт-Петербург. 2007.
2. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000.
3. Степанов С.Н, Тарасов С.Б., Видинеева Н.Ю. Диагностика, ремонт и обслуживание автомобилей: учебное пособие. Издательство Политехнического университета. Санкт-Петербург. 2010.
4. Валетов В.А., Иванов А.Ю. Непараметрический подход к оценке качества изделий. //Стандартизация и сертификация качества № 6, 2010.
5. Brown Christofer. What is Roughness? An introduction to Surface metrology. Proceedings of the 2 ut Seminar on Surface Metrology for the Americas. p. 2-3. Worcester Polytechnic Institute, Worcester. MA, USA, 2012.

Сведения об авторах

Семененко Артем Анатольевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Должность: аспирант
Электронная почта: asemenenko@bk.ru

Мурашкин Сергей Леонидович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Ученая степень, звание: д.т.н., профессор
Должность: профессор
Электронная почта:

Степанов Сергей Николаевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
Должность: доцент
Электронная почта: Stepanov56@mail.ru

УДК 621.7.015

С.А. Любомудров, О.Ю. Ротаренко

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЗАНИЯ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация. В работе исследовано влияние параметров резания жаропрочных титановых сплавов на качество обработанной поверхности. Приведены значения высотных параметров шероховатости поверхности в зависимости от параметров резания при чистовой токарной обработке титанового сплава. Предоставлены рекомендации по выбору параметров резания с целью получения минимального значения высотных параметров шероховатости поверхности.

Ключевые слова: шероховатость поверхности, чистовое точение, титановые сплавы, подача инструмента, скорость резания, характеристики шероховатости поверхности.

В современном машиностроении увеличилась роль качества поверхности различных деталей в их функциональном назначении [1]. Требования к качеству поверхностного слоя устанавливаются с целью обеспечения заданных функциональных свойств поверхности определенных деталей в сборке и определяются ее численными значениями, величина которых и должна обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики, что является очень важным для различных новых разработок в данной области. Так как исследования проводимые в этой области вносят огромный вклад в развитие авиационного и ракетного машиностроения и активно реализуются на предприятии ОАО «Объединенная двигателестроительная корпорация», где широко применяют сплавы на основе титана, изучение и проводимые исследования на тему влияния параметров резания на качество поверхностного слоя при точении титановых сплавов является актуальной задачей.

В большинстве случаев качество поверхностного слоя определяется численными параметрами шероховатости поверхности Ra и Rz , на величину которых оказывают влияние многие технологические факторы. От выбранных различных методов, режимов и схем обработки, будет зависеть величина, форма и направление микронеровностей. Из параметров режимов резания наиболее существенное влияние на величину шероховатости поверхности оказывают скорость резания и подача инструмента.

Для предварительного расчета численных параметров шероховатости поверхности обычно используют формулу (1)

$$Rz = \frac{S^2}{8r} \text{ (мкм)}, \quad (1)$$

где Rz – параметр шероховатости (средняя высота профиля по 10 точкам); S – величина подачи на оборот; r – радиус при вершине резца [3].

Для проверки выше приведенной формулы (1), а также влияния зависимости величины параметров шероховатости от подачи инструмента при разных скоростях резания на кафедре «Технология машиностроения» СПб ГПУ были проведены эксперименты по точению титанового сплава ВТ-00 при разных скоростях и подачах. Эти сплавы имеют высокие эксплуатационные характеристики при пониженной массе изготавливаемых из них деталей [5].

При точении использовался инструмент с пластиной твердого сплава, радиус при вершине резца 0,8 мм, модель пластины CNGG 120408 SGF Y13A [4].

Исследования проводились на универсальном токарном станке высокой точности 16Б16КА, который имеет достаточный диапазон скоростей, частота вращения шпинделя может быть установлена от 16 до 2000 об/мин [2]. Обрабатываемые заготовки имели цилиндрическую форму и крепились в шпинделе станка с помощью специальной оправки. Такая схема крепления обеспечивает большую жесткость [6].

После обработки измерялись параметры шероховатости Ra и Rz с помощью профилометра-профилографа М400 фирмы Mahr.

В результате эксперимента были получены зависимости параметров шероховатости Ra и Rz от параметров резания. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

По результатам эксперимента построен график рисунок 1, на котором можно увидеть зависимость параметров шероховатости поверхности от различной подачи инструмента при разных скоростях резания.

Результаты, полученные в процессе эксперимента, не совпадают с результатами расчетов, полученных по формуле (1).

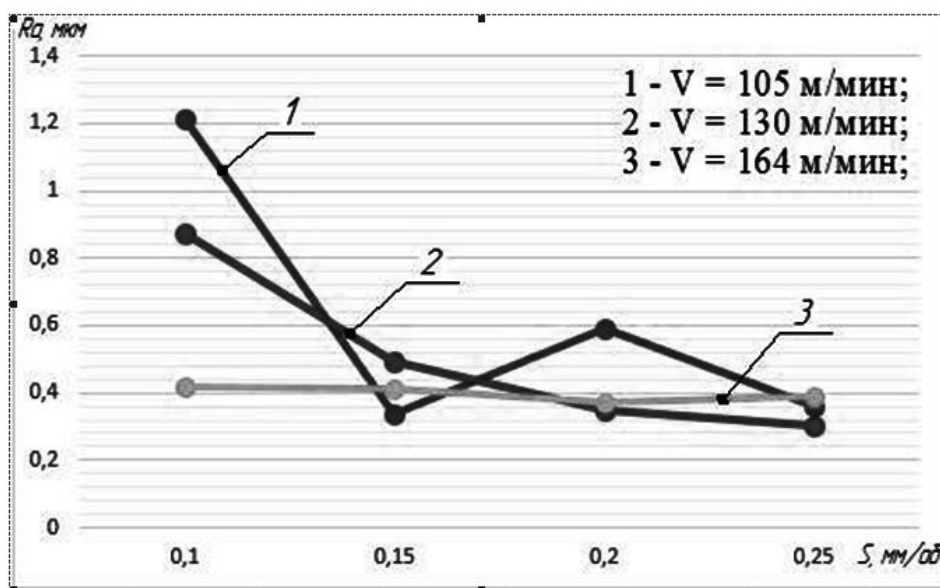


Рис. 1. Зависимость параметров шероховатости поверхности от подачи инструмента при разных скоростях резания

Пример расчета по формуле (1):

$$Rz = \frac{S^2}{8r} = \frac{0,1^2 \cdot 10^3}{8 \cdot 0,8} = 1,6 \text{ мкм}; \quad Rz = \frac{S^2}{8r} = \frac{0,15^2 \cdot 10^3}{8 \cdot 0,8} = 3,5 \text{ мкм}; \quad Rz = \frac{S^2}{8r} = \frac{0,2^2 \cdot 10^3}{8 \cdot 0,8} = 6,3 \text{ мкм};$$

$$Rz = \frac{S^2}{8r} = \frac{0,25^2 \cdot 10^3}{8 \cdot 0,8} = 9,8 \text{ мкм}.$$

Табл. 1. Результаты эксперимента

S=0,1 мм/об				S=0,15 мм/об		
п, об/мин	V, м/мин	Ra	Rz	V, м/мин	Ra	Rz
250	105	0,994	6,86	103	0,337	1,683
315	132	0,82	4,12	130	0,59	3,10
400	167	0,36	1,86	165	0,36	1,95
S=0,2 мм/об				S=0,25 мм/об		
250	103	0,496	2,34	102	0,414	1,794
315	129	0,349	1,986	128	0,372	1,791
400	164	0,305	1,542	162	0,388	1,864

Приведенные выше данные исследований позволили сделать следующие выводы.

1. При чистовых режимах точения титановых сплавов приведенной выше формулой (1) пользоваться нельзя, так как исходя из результатов расчета по ней численное значение шероховатости поверхности возрастает с увеличением подачи, а по результатам эксперимента при определённых подачах, когда пластическая деформация уменьшается и величина значения параметров шероховатости также уменьшается.

2. При малых подачах происходит сильная деформация обрабатываемого материала и параметры шероховатости возрастают.

3. Значение минимума параметров шероховатости разное при разных скоростях резания.

4. Проведенные исследования позволили определить зону устойчивого резания. Эта зона находится в диапазоне скоростей резания для сплава ВТ1-00 от 140 до 170 м/мин и в диапазоне подач инструмента от 0.1 до 0.25 мм/об. В этой зоне и рекомендуется проводить обработку.

5. Полученные результаты исследований представили возможным использовать представленные параметры резания для обработки различных деталей в соответствии с определенными эксплуатационными требованиями к качеству поверхностного слоя обрабатываемой заготовки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Степанов С.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт / Под редакцией к.т.н. Н.А. Табачниковой, СПб.: Изд-во Политехн. ун-та 2007, – 136 с.
2. Анухин В.И., Макарова Т.А., Любомудров С.А. Оценка точностных возможностей токарных станков. Журнал Вестник инжекона. Серия технические науки. Выпуск 3. Санкт-Петербург. 2005, – с. 108–111.
3. Жуков Э.Л. [и др.] Основы технологии машиностроения. Этапы проектирования и точность технологических процессов : учеб. пособие /; под общ. ред. С.Л. Мурашкина. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 408 с.
4. Рыжкин А.А., Обработка металлов резанием./ Рыжкин А.А., Шучев К.Г., Климов М.М. Ростов на Дону, Феникс, 2008, – 411 с.
5. Иноземцев А.А., Титановые сплавы в изделиях разработки ОАО «Авиадвигатель». Современные титановые сплавы и проблемы их развития: Сборник. / А.А. Иноземцев, И.Г. Башкатов, А.С. Коряковцев – М.: ВИАМ, 2010. – с. 43–46.
6. Жуков Э.Л., Любомудров С.А., Радкевич М.М., Ротаренко О.Ю. Влияние скорости резания на численные параметры шероховатости поверхности при точении. //Научно-технические ведомости СПбГПУ: - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. с. 228-230.

Сведения об авторах

Любомудров Сергей Александрович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
Должность: заведующий кафедрой
Электронная почта: Lyubomudrow@yandex.ru

Ротаренко Ольга Юрьевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: olga.rotarenko@mail.ru

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ В АВИАЦИОННОМ
ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОДБОРА ОБОРУДОВАНИЯ**

Аннотация. Проанализированы источники, описывающие токарные станки с ЧПУ повышенного и высокого классов точности российского и зарубежного производства. Выявлены основные критерии работоспособности станков. Даны рекомендации по выбору оборудования.

Ключевые слова: токарный станок, точность обработки, точность позиционирования, дискретность, критерии работоспособности станка.

Качество изготовления деталей в машиностроении определяется комплексом показателей: точностью размеров, точностью геометрических элементов и величинами параметров шероховатости поверхности.

Мировые ведущие отрасли - авиационная, ракетная, космическая с каждым годом все интенсивнее используют труднообрабатываемые материалы со специальными физико-химическими свойствами, например, жаропрочные титановые сплавы ВТ41, ВТ35Л, ВТ36 [1, 2]. Обработка этих материалов имеет свои особенности и поэтому требует повышенного внимания к выбору технологического оборудования.

Точность токарных станков является одним из основных условий, обеспечивающих качество изготовления деталей. Это выражается в способности обеспечивать у обрабатываемых деталей заданные точностные показатели. При чем, эти показатели должны быть стабильными в заданных объемах партии изготавливаемых деталей.

Важным показателем точности является величина погрешности позиционирования рабочего органа станка.

Погрешность позиционирования токарного станка с ЧПУ в общем виде выражается функцией от воздействия отдельных ее составляющих:

$$\Delta c = f(\Delta \text{поз.}, \Delta \text{инд.}, \Delta \text{в.}, \Delta \text{fi.}, \Delta \text{е}),$$

где: $\Delta \text{поз.}$ – погрешность позиционирования суппорта в поперечном направлении; $\Delta \text{инд.}$ – погрешность индексации револьверной головки; $\Delta \text{в.}$ – погрешность показаний вариации суппорта в поперечном направлении; $\Delta \text{fi.}$ – погрешность при отработке станком единичных импульсов; $\Delta \text{е}$ – погрешность дискретности перемещений.

Фирмы, выпускающие современные станки с ЧПУ и модули, закладывают в оборудование функции контроля процесса резания и компенсации составляющих погрешности обработки, указывая в характеристиках станка величины их случайных составляющих. Ни одна из существующих фирм-производителей станочного оборудования не согласится на внедрение в свою систему дополнительных сторонних функций контроля. Поэтому станочное оборудование необходимо выбирать исходя из вложенных в него операций контроля и стабилизации технологического процесса.

Часто операцию шлифования приходится заменять на операцию тонкого точения, при этом вопрос выбора необходимого токарного оборудования встает особенно остро.

При выборе токарного станка с ЧПУ и определении его величины погрешности позиционирования важно ответить на следующие вопросы:

– какую максимальную точность можно достичь при обработке партии деталей типа тел вращения на современных токарных станках с ЧПУ (повышенного и высокого классов точности);

– возможность замены операции шлифования операцией тонкого точения, используя токарные станки с ЧПУ этих классов точности.

Для ответа на эти вопросы проведён анализ научно-технической литературы и международного рынка токарных многоцелевых станков с ЧПУ. Были рассмотрены компании: ЗАО «Балтийская Промышленная Компания» (Россия) [3], Mazaki Osuma (Япония) [4, 5], DMG (ФРГ) [6], HaasAutomationInc (Америка) [7].

Для достижения необходимой точности изготовления деталей разработаны критерии работоспособности станков, которые регламентированы стандартами. Основными критериями работоспособности станков являются: стойкость к тепловым воздействиям; устойчивость к вибрациям, жесткость; износостойкость и точность обработки [8].

Рассмотрим основные критерии работоспособности станков высокого класса точности на примере станка INTEGREXi200 (японская фирма Mazak).

1. Активный контроль вибраций. Вибрации станка, вызванные перемещением по осям с ускорением / замедлением, могут негативно сказаться на точности и времени обработки. Функция «Активный контроль вибраций» снижает уровень вибрации и делает возможным сверхточное позиционирование по всем осям. Данная функция уменьшает вибрацию режущей кромки инструмента и его размерный износ.

2. Контроль тепловых деформаций. Функция обеспечивает повышенную точность при продолжительной обработке. Компанией Mazak были проведены всесторонние испытания в термостатированном помещении при различных условиях окружающей среды. Полученные результаты были использованы для разработки системы контроля и автоматической компенсации деформаций, вызванных изменением температуры в зоне обработки. В итоге удалось достичь разброса диаметров деталей в партии порядка 8 мкм, при условии, что перепад температур в помещении не превышает 8°C (согласно СТАНДАРТУ ТОЧНОСТИ MAZAK).

3. Программирование в величинах менее микрометра и наноуправление. Высокая точность обработки достигается за счет минимального программируемого дискретного перемещения в величинах менее микрометра, как для программы формата Mazatrol, так и для программ стандарта EIA/ISO. Система обладает высоким быстродействием и высокой точностью даже при работе с величинами менее мкм.

Самая точная ось (0,0001°) обеспечивается благодаря роликово-кулачковой передаче, что гарантирует высокую точность. Обеспечивается высокий крутящий момент и значительно снижены риски теплового расширения и быстрого износа.

По всем осям станка Mazak установлены 4-х рядные роликовые направляющие качения, которые значительно увеличивают нагрузочную способность и устойчивость к вибрациям [4].

Станок серии SL-20 одной из ведущих мировых фирм HaasAutomationInc относится к повышенному классу точности. Система ЧПУ этого станка имеет дискретность 0,001 мм/импульс, точность позиционирования $\pm 0,005$ мм, воспроизводимость $\pm 0,003$ мм.

При токарной чистовой обработке валов по всей длине практически все доминирующие систематические составляющие погрешности обработки резаньем устраняются системой управления станка с помощью встроенных датчиков контроля, а сумма случайных погрешностей в радиальном направлении составляет 21 мкм. Максимально достижимая шероховатость поверхности по параметру Ra - 0,8 мкм.

На основании анализа полученной информации, можно сделать следующие выводы:

– Точность позиционирования рабочих органов определяется не только точностью самого станка, но и зависит от системы ЧПУ. Важнейшей технической характеристикой систем ЧПУ является ее разрешающая способность или дискретность, т.е. минимально возможная величина линейного и углового хода исполнительного органа станка,

соответствующая одному управляющему импульсу. Система ЧПУ станка MazakINTEGREX i200 имеет дискретность 0,0001 мм / 0,0001°.

– Токарные многоцелевые станки с ЧПУ высокой точности (Mazak) при обработке партии деталей типа тел вращения могут обеспечить точность изготовления партии деталей по 5-му и 6-му квалитетам и шероховатость поверхности по 8, 9 классам (Ra 0,63; Ra 0,32), что, в свою очередь, даёт возможность замены операции шлифование операцией тонкое точение.

– Станки повышенного класса точности (SL-20) могут обеспечить точность изготовления партии деталей по 7-му квалитету для диаметров от 120 мм и выше и 8-му квалитету для диаметров от 50 мм.

Выводы достоверны при безусловной технологической дисциплине на всех этапах изготовления деталей: высокого качества режущих инструментов и приспособлений, материалов заготовок, квалификации технологического персонала, рабочих и т. д.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кашапов О.С., Новак А.В., Ночовная Н.А., Павлова Т.В. Состояние, проблемы и перспективы создания жаропрочных титановых сплавов для деталей ГТД [Электронный ресурс] / Электронный научный журнал "ТРУДЫ ВИАМ", № 3, 2014. URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=20 (дата обращения: 01.11.2014).
2. Шалин Р.Е. Новые титановые сплавы для авиационно-космической техники [Электронный ресурс] / Электронный научный журнал "ТРУДЫ ВИАМ", 1994. URL: <http://viam.ru/public/files/1994/1994-201696.pdf> (дата обращения: 01.11.2014).
3. ЗАО «Балтийская Промышленная Компания» [Электронный ресурс] / Официальный сайт, URL: <http://bpk-spb.ru/> (дата обращения: 06.11.2014).
4. Фирма Mazak [Электронный ресурс] / Официальный сайт, URL: <http://www.mazak.ru/catalog/multi-tasking/integrex-i/> (дата обращения: 08.11.2014).
5. Фирма Осума [Электронный ресурс] / Официальный сайт, URL: http://okuma-russia.ru/centri_economseria.htm (дата обращения: 19.11.2014).
6. Фирма DMG [Электронный ресурс] / Официальный сайт, URL: <http://ru.dmgmori.com/> (дата обращения: 10.11.2014).
7. Фирма HaasAutomationInc [Электронный ресурс] / Официальный сайт, URL: http://int.haascnc.com/lathe_intro.asp?intLanguageCode=1049 (дата обращения: 11.11.2014).
8. Искра Д.Е. Повышение эффективности обработки деталей на основе моделирования и управления движениями формообразования / Автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук [Электронный ресурс] / Москва, 2007. URL: <http://oldvak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/vak/announcements/techn/IskraDE.pdf> (дата обращения: 15.11.2014).

Сведения об авторах

Макарова Татьяна Алексеевна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Ученая степень, звание: к.т.н., доцент

Должность: доцент

Электронная почта: makarovata2004@gmail.com

Цимко Татьяна Анатольевна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: tsimkoshka@mail.ru

ВЫБОР РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ РЕЗАНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ В АВИАЦИОННОМ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Аннотация. Проанализированы источники описывающие современные инструменты для точения и фрезерования. На основе анализа сделаны рекомендации по выбору режущего для обработки жаропрочных титановых сплавов.

Ключевые слова: режущий инструмент, выбор инструмента, точение, фрезерование, жаропрочные титановые сплавы.

Современные предприятия авиационной и аэрокосмической техники решают сложные задачи при изготовлении изделий новых поколений авиационных двигателей (снижение стоимости производства и эксплуатации, в том числе путем упрощения конструкции и снижения количества деталей и узлов), требующие создания материалов, способных эффективно работать в условиях длительного циклического воздействия высокотемпературных агрессивных среды технологий их обработки [1]. Детали авиационных двигателей часто изготавливаются из труднообрабатываемых материалов, к ним относятся жаропрочные титановые сплавы ВТ8-1, ВТ20, ВТ41 [2]. Согласно исследованиям Д.Г. Евсеева, А.С. Верещаки, Л.В. Окорокова и др. основные проблемы при резании жаропрочных и нержавеющей сталей определяются следующими факторами:

- высоким упрочнением материала в процессе деформации резанием, ввиду специфических особенностей строения кристаллической решетки;
- низкой теплопроводностью обрабатываемого материала, приводящей к повышенной температуре в зоне контакта и к активизации адгезионных и диффузионных явлений [3];
- способностью сохранять исходную прочность и твердость при повышенных температурах, что приводит к высоким удельным нагрузкам на поверхностях контакта детали с режущим инструментом;
- большой истирающей способностью жаропрочных сплавов, обусловленной наличием второй фазы (кроме твердого раствора) образующей интерметаллидные включения [4];
- пониженной виброустойчивостью движения резания, вызванной повышенной упрочняемостью жаропрочных материалов при неравномерности протекания процесса их пластического деформирования;
- невысоким качеством поверхности из-за повышенной пластичности труднообрабатываемых материалов;
- значительной разнородностью и неравномерностью плохо деформируемых зон, приводящей к резкому возрастанию сил резания, температур и к быстрому разрушению режущей части инструмента [5].

Поверхности детали после токарной обработки, как правило, имеют задиры, многочисленные дугообразные трещины, расслоения в подповерхностном слое и значительное упрочнение отдельных участков поверхности. Однако было установлено, что названные дефекты можно минимизировать за счёт использования инструментов из поликристаллических алмазов и при обработке резанием с наложением колебаний с ультразвуковой частотой.

Результаты исследования влияния микрогеометрии, скругления режущей кромки и полирования поверхности стружечных канавок на износ инструмента и интенсивность съёма обрабатываемого материала показал, что при обработке титана ключевыми факторами с точки зрения износа инструмента и производительной обработки являются микрогеометрия режущего инструмента и скругление режущей кромки.

Наиболее трудоемким процессом при изготовлении деталей из труднообрабатываемых сплавов является фрезерование. Исследования зарубежных ученых обработки труднообрабатываемых сплавов показали необходимость комплексных разработок специальных жестких и мощных станков, соответствующих режущих инструментов, жестких зажимных устройств для закрепления заготовок и эффективной системы охлаждения.

Большое внимание в мире при разработке инструмента для фрезерования труднообрабатываемых сплавов уделяется его конструктивным особенностям: жесткости (например, цельно твердосплавные концевые фрезы с алмазным покрытием), геометрии режущей кромки (острые режущие кромки и положительная геометрия инструмента уменьшает силы резания при обработке с высокой скоростью резания), высокоэффективным инструментальным материалам, покрытию, охлаждению. Материал корпуса фрезы должен позволять применять более высокие скорости резания, повышает производительность процесса обработки и точность, снижает стоимость обработки.

Проблемы резания новых труднообрабатываемых сплавов остаются по сей день мало изученными, поэтому потребители стараются решить эти вопросы в комплексе, обращаясь к фирмам, которые передают на предприятия уже готовые технологии обработки заготовок из конкретного материала вместе с испытанным оборудованием.

Анализируя рекомендации литературы и каталоги зарубежных фирм Sandvik Coromant (Швеция), Mitsubishi (Япония), TCM (Австрия), AEC (Австрия) позволили делать следующие выводы:

- при точении жаропрочных сплавов на основе титана рекомендуется использовать пластины из кубического нитрида бора, синтетического алмаза или пластины с покрытием из поликристаллического алмаза;
- при фрезеровании жаропрочных сплавов на основе титана рекомендуется использовать цельные твердосплавные фрезы с покрытием из поликристаллического алмаза и фрезы со вставками из искусственного алмаза.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мухин В.С. Основы технологии машиностроения (авиадвигателестроение). Уфа: УГАТУ, 2007. 148 с.
2. Павлова Т.В., Кашапов О.С., Ночовная Н.А. Титановые сплавы для газотурбинных двигателей / Журнал «Все материалы. Энциклопедический справочник», № 5, 2012.
3. Верещака А.С. Режущие инструменты с износостойким покрытием / А.С. Верещака, И.П. Третьяков. М.: Машиностроение, 1986. 192 с.
4. Евсеев Л.Л. Исходные положения и зависимости для расчета характеристик динамики процесса резания металлов / Л.Л. Евсеев // Вестник машиностроения, № 2, 1995. С. 29–32.
5. Огороков Л.В. Точение тугоплавких металлов с предварительным лазерным подогревом / Л.В. Огороков, А.А. Волков, А.А. Углов // Станки и инструмент, № 9, 1989. С. 32–35.

Сведения об авторах

Козарь Иван Иванович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Ученая степень, звание: к.т.н., доцент

Должность: доцент

Электронная почта: kii49@yandex.ru

Ларионов Евгений Олегович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: beg3mot91@gmail.com

УДК: 621.9.858.562

С.С. Паневин, Э.Л. Жуков

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ЖАРОПРОЧНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация. Работа посвящена исследованию процесса резания жаропрочных титановых сплавов. В ходе работы был разработан автоматизированный многопараметрический стенд, позволяющий измерять при точении жаропрочных сплавов следующие параметры: шероховатость обработанной поверхности, температурное удлинение, размерный износ и износ по задней грани резца. Результаты исследований могут применяться в ракетной, авиационной и космической областях для выбора рациональных режимов обработки жаропрочных титановых сплавов.

Ключевые слова: шероховатость, теплопроводность, упрочнение, размерный износ, температурное удлинение, титановый сплав, экспериментальная установка.

Мировые ведущие отрасли – авиационная, ракетная, космическая с каждым годом все интенсивнее используют труднообрабатываемые материалы со специальными физико-механическими свойствами. К таким материалам относятся титановые жаропрочные сплавы на основе алюминидов титана γ -TiAl+ α_2 -Ti₃Al [1], [5], которые рассматриваются как потенциальные конструкционные материалы для использования в области температур $T = 600 - 900$ °С. При резании жаропрочных сплавов возникают следующие проблемы [2]:

- высокое упрочнение материала в процессе деформации резанием, ввиду специфических особенностей строения кристаллической решетки;
- низкая теплопроводность обрабатываемого материала, приводящая к повышенной температуре в зоне контакта и к активизации адгезионных и диффузионных явлений;
- большая истирающая способность жаропрочных сплавов, обусловленная наличием второй фазы (кроме твердого раствора), образующей интерметаллидные включения;
- невысокое качество поверхности из-за повышенной пластичности труднообрабатываемых материалов.

Принимая во внимание основные проблемы, возникающие при резании жаропрочных сплавов [4], необходимо изучить наиболее важные факторы, определяющие возможность их эффективной обработки резанием:

- подходы к выбору режимов резания с целью минимизации энергосиловых параметров и управления тепловыми потоками в зоне резания для обеспечения заданного качества поверхности;
- вопросы обеспечения возможно большей прочности режущей кромки инструмента.

Для исследования процесса резания титановых сплавов на кафедре «Технология машиностроения» был разработан автоматизированный стенд (рис. 1), который позволяет измерять следующие параметры: шероховатость обработанной поверхности, температурное удлинение, размерный износ и износ по задней грани резца [3].

Экспериментальный стенд базируется на высокоточном токарном станке Turnado 1000V и включает в себя следующие измерительные системы. Система измерения температурной деформации – 1 резца – 2 в процессе резания. Динамометр – 3 для измерения

трех составляющих силы резания во время обработки: P_x , P_y , P_z . Деталь – 4 закрепляется на специальной оправке или в патроне. Измерительная скоба – 6 контролирует диаметр детали до и после обработки. Тепловизор – 7 измеряет температуру в зоне резания. Устройство – 8 расположенное в задней бабке измеряет положение режущей кромки резца, а устройство – 9 положение державки резца. Муфельная печь – 10 для тарировки тепловизора, а также нагрева образцов для определения их твердости при высоких температурах. Твердомер 11 – для измерения твердости металлов и сплавов по методу Бринелля и Роквелла. Вся информация собирается контроллером – 12 и передается на компьютер – 13, с последующим выводом информации на монитор – 14.

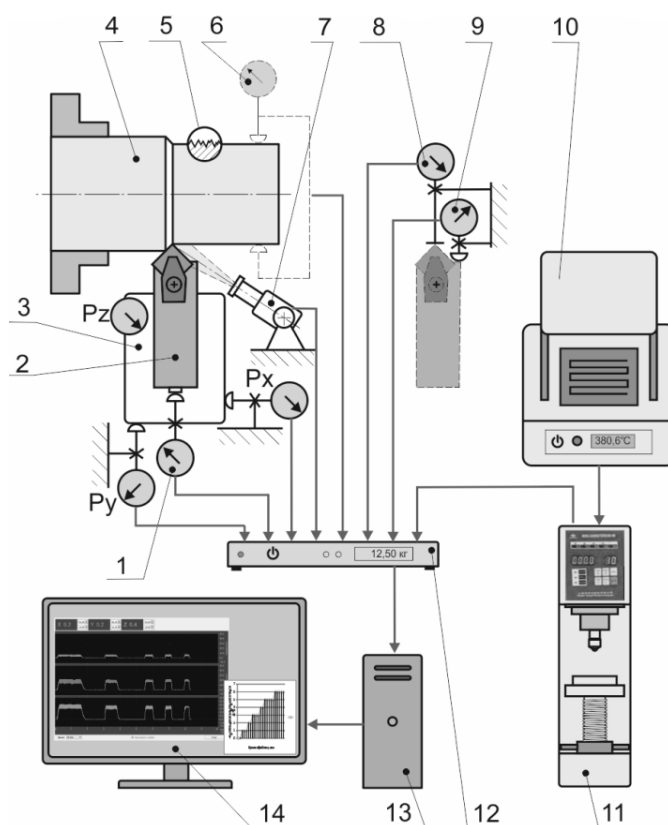


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Измерение шероховатости поверхности проводилось с помощью профилометра-профилографа М 400 фирмы Mahr.

Технические характеристики профилометра-профилографа М 400:

- Измеряемые параметры: полный профиль, волнистость и шероховатость,
- Щупы: индуктивная система со сменными щупами, 2 мкм наконечниками, измерительное усилие приблиз. 0,7 mN. Магнитное крепление наконечников,
- Отсечка шага: 0,08 мм, 0,25 мм, 0,8 мм, 2,5 мм, автоматически,
- Длина трассирования L_t (по ISO/JIS): 0,56 мм, 1,75 мм, 5,6 мм, 17,5 мм, автоматическая,
- Длина трассирования (по MOTIF): 1 мм, 4 мм, 8 мм, 12 мм, 16 мм,
- Число базовых длин (по ISO/JIS): выбирается от 1 до 5.

Измерение износа по задней грани резца производилось на микроскопе модели VMS-001 - 200x USB Microscope с вмонтированной в нем камерой, которая непосредственно соединена с ЭВМ.

В процессе эксперимента обрабатывалась деталь из титанового сплава BT00, были получены характеристики процесса резания, которые позволили выбрать рациональные режимы при точении указанного сплава.

Вывод: Разработанная установка позволяет измерять следующие характеристики:

- Размерный износ инструмента ± 1 мкм,
- Температурное удлинение резца ± 1 мкм,
- Диаметр заготовки $\pm 1,8$ мкм.

Полученные точности измерений представили возможным определять параметры технологического процесса с целью отбора рационального режима резания исходя из требуемой стойкости и точности обрабатываемой заготовки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Антипов В.В. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов. // В сб. Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). / Антипов В.В. – М.: ВИАМ, 2012. – 157-166 с.
2. Анухин В.И. Исследование качества токарной обработки при точении партии деталей. // Управление качеством: проблемы, исследования, опыт. Сборник научных трудов. Вып. 4. / В.И. Анухин, С.А. Любомудров, Т.А. Макарова – СПб.: СПбГИЭУ, 2006. – 159-165 с.
3. Вульф А.М. Резание металлов. / А.М. Вульф – Л.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
4. Павлова Т.В., Кашапов О.С., Ночовная Н.А. Титановые сплавы для газотурбинных двигателей [Электронный ресурс] / Журнал «Все материалы. Энциклопедический справочник», № 5, 2012. URL: <http://viam.ru/public/files/2011/2011-205852.pdf> (дата обращения: 7.06.2014).
5. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник. М.: ВИС-МАТИ, 2009. 520 с.

Сведения об авторах

Паневин Сергей Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: sergey.panevin92@mail.ru

Жуков Эдуард Леонидович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., доц.

Должность: профессор

Электронная почта: edjukov@yandex.ru

УДК 681.7.023.73

И.С. Савельев, В.И. Слатин

САМ СИСТЕМА ПОЛИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ОПТИКИ МАЛОРАЗМЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Аннотация Приведена оценка современных технологических приемов и серийно выпускаемого оборудования для доводки оптических поверхностей. Показан оригинальный аппаратно-программный комплекс процесса полирования малоразмерным инструментом. Приведены особенности и преимущества данного вида обработки.

Ключевые слова: цилиндрические сферические поверхности, полирование, малоразмерный инструмент.

В настоящее время для доводки оптических поверхностей заготовок можно использовать различные технологические приемы [1, 2]. В данной работе для производства цилиндрических асферических поверхностей использовано полирование малоразмерным инструментом. Данная технология известна несколько десятилетий [3,4]. Как представляется авторам полирование малоразмерным инструментом обеспечивает удачную комбинацию производительности процесса с приемлимым уровнем качества при разумных затратах на оборудование и оснащение рабочего места.

Для реализации технологии полирования малоразмерным инструментом выпускается серийное оборудование [1]. Однако применение известного авторам оборудования к решению описываемой задачи требует весьма дорогостоящей адаптации, при этом и цена самого оборудования значительна.

В связи с этим был создан оригинальный аппаратно-программный комплекс полирования малоразмерным инструментом, ключевым элементом которого является САМ система схема, которой представлена на рис. 1.

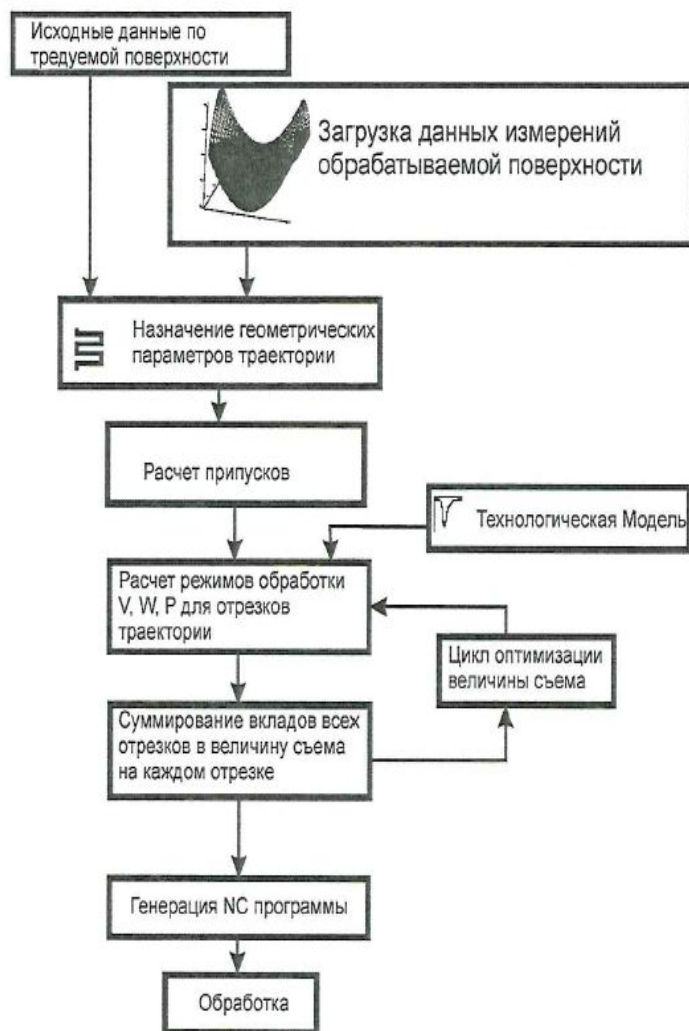


Рис. 1. Схема САМ полирования малоразмерным инструментом

Полирование малоразмерным инструментом имеет ряд особенностей принципиально отличающих его от других видов механической обработки.

Основным является то, что профиль удаляемого материала зависит не только от формы и размера инструмента, а в значительной мере определяется текущим режимом обработки (в первую очередь скоростью подачи и усилием поджатия инструмента к поверхности) и ориентацией оси вращения инструмента относительно обрабатываемой поверхности и направления подачи. При чем, эти изменения профиля удаляемого материала носят не просто количественный характер, но приводят и принципиальному изменению формы профиля.

Для решения этой проблемы в описываемом программном комплексе разработана специальная структура, названная авторами технологической моделью. Технологическая модель содержит описания, позволяющие определять текущую форму реза в зависимости от всех параметров, определяющих эту функцию. Для формирования технологической модели реализуется ряд вычислительных процедур по обработке серии экспериментов по определению влияния различных параметров на профиль удаляемого материала.

Второй важной особенностью технологии полирования малоразмерным инструментом является то, что размер следа инструмента на обрабатываемой поверхности принципиально больше шага обработки поверхности. Так, типичное значение пятна контакта инструмента, используемого в описываемой технологии, составляет величину в несколько миллиметров, а шаг обработки поверхности может быть меньше 0.1 мм. Это приводит к необходимости разработки специальной процедуры проектирования траектории перемещения инструмента и скорости этого перемещения с учетом того, что в каждом текущем положении инструмент обрабатывает значительные участки поверхности либо уже обработанные из других положений, либо тех, что будут еще обрабатываться позже.

Дополнительной трудностью реализации программного обеспечения для описываемого применения является необходимость обработки значительных массивов данных [5]. Так типичным шагом обработки может быть значение 0.05 мм, что при размере обрабатываемой поверхности 200*100 мм потребует оптимизации режимов обработки в нескольких миллионах узлов.

Собственно проектирование процесса обработки поверхности состоит из выбора подходящей технологической модели, назначения траектории перемещения инструмента по поверхности заготовки и расчета режимов обработки вдоль выбранной линии перемещения инструмента вдоль поверхности заготовки [6, 7, 8].

Опыт использования описываемой САМ показал, что как правило, весьма эффективными являются зигзагообразные траектории с направлением основного перемещения вдоль направления распространения луча. При таких траекториях, оказывается, достаточно просто организовать определение оптимального сочетания режимов обработки, обеспечивающих наилучшее приближение к требуемой поверхности. При реализации данных траекторий в большинстве случаев удается обеспечить хорошее приближение к заданной поверхности.

Как правило, заметные отклонения от требуемых размеров наблюдаются лишь в относительно узких (порядка 1-4 мм) краевых зонах. В основной же зоне обрабатываемой поверхности обычно удается добиться приближения к требуемой поверхности не хуже чем 50-70% за один проход. Хотя указанный уровень сходимости технологического процесса для описываемых условий является вполне нормальным, тем не менее, он обуславливает необходимость в реализации нескольких проходов при обработке поверхности. С одной стороны необходимость в нескольких проходах затрудняет процесс обработки, а с другой стороны позволяет на финишных этапах при снятии малых припусков использовать комбинации инструмента и полировальной эмульсии, обеспечивающие максимальную чистоту обрабатываемой поверхности, что в результате способствует повышению качества обработки.

Определение оптимальных режимов может осуществляться как в полуавтоматическом режиме с участием оператора в определении результирующих режимов, так и в полностью автоматическом режимах. При этом кроме собственно требования наилучшего приближения к требуемой поверхности так же вводится условие минимизации интегральной величины съема материала, которая определяет процесс

износа инструмента и старения эмульсии в процессе обработки, что в свою очередь создает дополнительную, трудно учитываемую при проведении расчетов параметров траектории ошибку результирующей поверхности.

Для определения оптимальных значений компонент вектора режимов вдоль траектории обработки, обеспечивающих наилучшее приближение к требуемой поверхности, необходимо решать систему нелинейных уравнений высокой размерности, определяемую шагом описания траектории. В качестве критической функции используется сумма квадратов отклонений в расчетных точках траектории высоты поверхности после обработки и требуемого значения высоты поверхности в этой точке.

Проектирование процесса обработки завершается генерацией О кода для контроллера станка в соответствие, с которым и производится собственно процесс обработки.

Непосредственно перед обработкой поверхности по выбранной оператором программе запускается несколько вспомогательных программ, обеспечивающих:

- снятие действительных значений размеров, определяющих положение заготовки на станке;

- определение положения действительного центра соприкосновения инструмента с обрабатываемой поверхностью.

Необходимость в последней операции обусловлена тем, что инструмент, изготовленный как правило, из полиуретана имеет сильный разброс в размерах и форме. Кроме того, при заклоне шпинделя относительно обрабатываемой поверхности определение координат точки контакта инструмента с поверхностью становится непростой задачей.

Разработанная авторами САМ полирования малоразмерным инструментом обеспечивает достаточно эффективное решение перечисленных выше задач.

Применение полирования малоразмерным инструментом для финишной обработки поверхностей мастер-шаблонов позволяет решить несколько проблем, имеющих у технологии получения мастер- шаблона изгибом:

- увеличить размеры рабочей части результирующей поверхности;
- использовать заготовки, полученные шлифованием, либо другим методом черновой обработки более производительным, чем изгиб;
- повысить точность изделия;
- повысить скорость сходимости и предсказуемость, а также стабильность итерационного процесса изготовления мастер-шаблона.

Особо следует прокомментировать последний из представленных выше пунктов. Дело в том, что полирование размерным инструментом, хотя и является размерной обработкой, тем не менее, в силу ряда присущих этой процедуре особенностей, вместе с тем, не позволяет добиться получения заданной поверхности за один проход. Как правило, приходится осуществлять серию проходов с обязательным промежуточным контролем получающейся поверхности. Скорость сходимости этого процесса можно оценить по данным, представленным на рис. 2.

Несмотря на то, что количество итераций, которые приходится применять для получения приемлемого результата, значительно, в отличие от применения технологии эластичного изгиба с клеевой фиксацией формы, весь процесс практически полностью автоматизирован и хорошо контролируется, что существенно упрощает его реализацию, обеспечивает воспроизводимость результатов и стабильность производства.

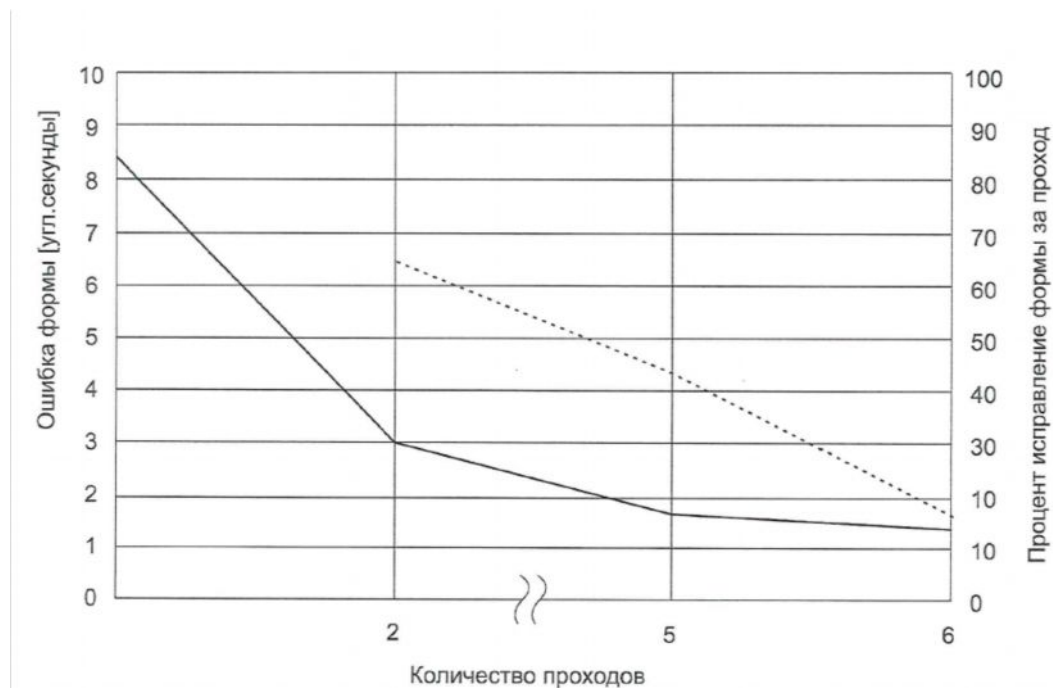


Рис. 2. Сходимость процесса полирования малоразмерным инструментом к заданной поверхности.
Сплошная линия – изменение ошибки формы,
точки – доля суммарного припуска, которую удастся удалить за один проход

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ахсаханян А.А., Ахсаханян А.Д., Муравьев В.А. и др. // Изготовление цилиндрических поверхностей методами термопластического и упругого изгиба стеклянных пластин. Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 1, 2003, с. 78-80.
2. Ахсаханян А.А., Ахсаханян А.Д., Волгунов Д.Г., и др. // Оптимизация многослойных рентгеновских зеркал в системах параболических цилиндров. Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 1, 2003, с. 86-93
3. Ахсаханян А.А., Ахсаханян А.Д., Волгунов Д.Г., и др. // Изготовление цилиндрических рентгеновских отражателей репликационными методами. Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 1, 2002, с. 51-54
4. Бриков А.В., Волгунов Д.Г., Гапонов С.В. и др., // Исследование возможности получения свехгладких подложек методом репликации эталонных поверхностей полимерными пленками. Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 1, 2003, с. 109- 112
5. Савельев И.С. Программное обеспечение технологии полирования малоразмерным инструментом подложек элементов рентгеновской оптики. // Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики: тезисы докладов конференции: ФИАН, 2009 - с. 52
6. Савельев И.С.// САМ система полирования малоразмерным инструментом. Лазеры, измерения, информация: сборник докладов конференции. СПбГПУ, 2009 -Т.3, с. 16-27
7. Jacobs S.D. International Innovations in Optics Finishing. Current Developments in Lens Design and Optical Engineering.// Proc. Of SPIE. V.5623.P.264-272.
8. Михайлов В.В., Парака А.В., Чекаль В.Н. и др.// Технология автоматизированного формообразования для производства оптических элементов. Оптический журнал 2009. т.76, №9, с.82-86.

Сведения об авторах

Савельев Иван Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Должность: аспирант

Электронная почта: ivan@x-energo.com

Слатин Вадим Иосифович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, ул., 29.

Ученая степень, звание: к.т.н., доц.

Должность: доцент

Электронная почта: spb.slatin@yandex.ru

УДК 621.91.01

И.В. Анухин, С.Л. Мурашкин, В.И. Анухин, В.И. Слатин

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ТЕПЛОВИЗИОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Аннотация. В статье предложен тепловизионный метод измерения температуры в зоне резания при обработке на токарном станке и проведена оценка его точности. Применение тепловизора модели BALTECHTR-01500 позволило записать термограмму выхода резца из зоны резания в момент освобождения его от стружки, и тем самым найти температуру передней поверхности резца. Предварительно определялись коэффициенты излучения резца и стружки, их значения заносились в память тепловизора.

Ключевые слова: тепловизор, температура, термограмма, резец, стружка, коэффициент излучения, токарный станок.

В условиях повышения нагрузок и температур, действующих в узлах современных машин, все большее распространение получают специальные марки нержавеющей, износостойких и жаропрочных сталей и сплавов. При обработке подобных материалов стойкость режущего инструмента часто не превышает 3...10 минут.

Основной задачей при обработке подобных материалов и сплавов становится выбор в производственных условиях режущего инструмента, его геометрических параметров и режимов резания, при которых износ режущего инструмента был бы минимален, а качество обработки приемлемо.

Для проверки гипотезы и реализации метода ускоренного определения оптимальных режимов резания в условиях производства, прежде всего, требуется надежный, точный и удобный способ измерения температуры в зоне резания.

Метод ускоренного определения оптимальных режимов резания, т.е. таких режимов, при которых интенсивность размерного износа режущего инструмента минимальна, предложенный А.Д. Марковым, в настоящее время с появлением новых сталей и сплавов становится особенно актуальным.

Метод основан на найденной А.Д. Марковым закономерности постоянства оптимальной температуры резания [3]. Было установлено, что у каждой пары «обрабатываемый материал – материал режущего инструмента» существует одна температура резания, которая является оптимальной (соответствует минимальной интенсивности размерного износа), и не зависит от различных комбинаций скорости резания, подачи, глубины резания и от геометрических параметров режущей части инструмента.

Была высказана гипотеза, что скорость износа режущего инструмента пропорциональна разности твердостей режущего и обрабатываемого материала при определенной температуре в зоне резания. Чем больше разность твердостей режущего и обрабатываемого материалов, тем меньше скорость износа.

Среди многочисленных способов измерения температуры резания можно выделить следующие: калориметрический метод, метод термокрасок, способ измерения температуры в зоне резания с помощью термопар, способ естественной термопары, способ измерения температуры верхней поверхности стружки.

Анализ существующих способов измерения температуры в зоне резания показал, что ни один из перечисленных способов не подходит для решения поставленной задачи по ускоренному подбору режимов резания в производственных условиях.

На кафедре «Технология машиностроения» СПбПУ для отработки метода ускоренного определения оптимальных режимов резания в производственных условиях было предложено применить тепловизионный метод измерения температур в зоне резания. Измерение температуры тепловизором имеет ряд преимуществ перед перечисленными способами.

1. Тепловизор позволяет получить термограммы, по которым можно определить распределение температур в заданной области, а также позволяет определить в зоне наблюдения самый нагретый участок и измерить его температуру с достаточной точностью. Например, погрешность измерения может составлять не более $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

2. Применение тепловизора не накладывает ограничений на конструкцию режущего инструмента, приспособлений и станка.

Применение тепловизора для измерения температуры в зоне резания в то же время имеют ряд ограничений.

1. На результат измерения оказывает влияние излучательная способность измеряемого объекта. Коэффициент излучения может колебаться от 0,02 до 0,98, то есть изменяться в 50 раз [1], [2], его величина зависит: от материала объекта; от температуры нагретого участка; от цвета и состояния поверхности объекта, например, внешняя поверхность стружки более шероховатая и излучает больше тепла, чем гладкая внутренняя поверхность. По результатам наших измерений коэффициент излучения внешней поверхности титановой стружки (шероховатая поверхность) равен 0,6, а внутренней, прилегающей к резцу (более гладкая поверхность), – 0,2..0,35.

2. Зона резания в процессе обработки закрыта стружкой, и судить о температуре передней поверхности резца можно только по внешней поверхности стружки. Результаты измерения температуры в зоне резания будут занижены из-за наличия значительных градиентов температуры.

Для устранения указанных ограничений при измерении температуры тепловизионным методом был выбран тепловизор модели BALTECHTR-01500, позволяющий постоянно вести съемку объектов с частотой кадров 50 Гц с одновременной фиксацией температурного поля и измерением максимальной температуры объекта. Диапазон измерений тепловизора составляет от -20°C до 1800°C , погрешность измерений $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Тепловизор позволяет проводить корректировку коэффициентов излучения от 0,01...1,0 и запоминает их значения, а также выводит на экран зоны, изображающие температурное поле с учетом различных коэффициентов излучения.

Таким образом, появляется возможность измерять температуру стружки в момент ее формирования с предварительно определенным коэффициентом излучения внешней поверхности стружки, а в момент выхода резца из зоны резания и освобождения его передней поверхности от стружки определять максимальную температуру передней поверхности резца со своим коэффициентом излучения соответствующим этой поверхности.

Была создана экспериментальная установка на базе универсального токарного станка модели 16Б16КА.

На станке устанавливалось кольцо $\varnothing 135$ мм из титанового сплава BT1-0 с проточенными канавками для выхода резца из зоны резания. Длина участков обработки

определялась по времени выхода процесса резания на стационарный тепловой режим, который определялся по наружной поверхности стружки в зоне ее формирования.

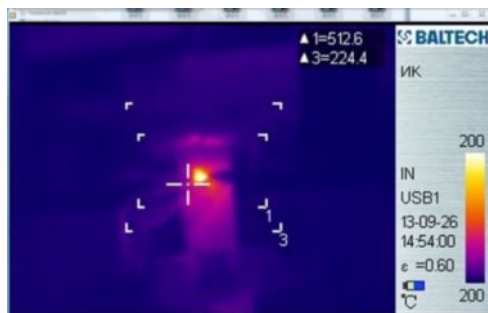


Рис. 1. Момент выхода резца из зоны резания

На рисунке 1 хорошо видна температура передней поверхности резца в момент его выхода из зоны резания $512,6^{\circ}\text{C}$.

После обработки всей термограммы был получен график, представленный на рис. 2.

После проведения серии опытов было установлено, что температура как поверхности стружки так и передней поверхности резца с ростом износа инструмента увеличивается на $5 \dots 8^{\circ}\text{C}/\text{км}$.

Скорость остывания передней поверхности резца в начальный период времени зависит от размеров державки и вылета резца и в среднем составляла $\xi=300^{\circ}\text{C}/\text{сек}$.

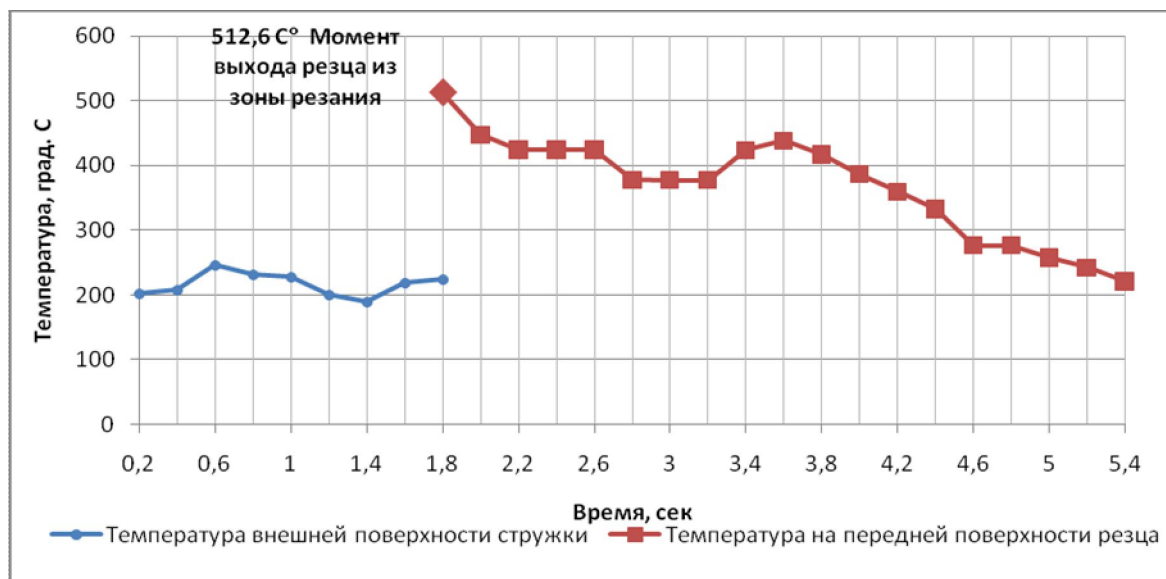


Рис. 2. Изменение температуры на внешней поверхности стружки и передней поверхности резца в момент выхода его из металла

Основными составляющими погрешности измерения тепловизором передней поверхности резца являлись:

1. Рассеивание результатов измерения температуры тепловизором (паспортные данные), $\alpha = 4^{\circ}\text{C}$. Предполагается, что рассеивание показаний тепловизора подчиняется закону равной вероятности. Среднеквадратическая оценка погрешности измерения тепловизором [5] в этом случае составляет:

$$\sigma_T = \sqrt{\int_{-0,5}^{0,5} (ax)^2 dx} = 1,155^\circ\text{C}.$$

2. Погрешность определения коэффициентов излучения состоит из среднеквадратической оценки погрешности измерения тепловизором и среднеквадратической оценки погрешности измерения температуры резца в муфельной печи образцовыми термopарами, $\sigma_{\text{ТП}} = 0,289^\circ\text{C}$. Среднеквадратическая оценка коэффициента излучения:

$$\sigma_{\text{и}} = \sqrt{\sigma_{\text{ТП}}^2 + \sigma_T^2} = \sqrt{0,289^2 + 1,155^2} = 1,191^\circ\text{C}.$$

3. Погрешность из-за дискретности при съёмке процесса с частотой $f = 50$ кадров в секунду. Среднеквадратическая погрешность, возникающая при фиксации момента выхода резца из зоны резания, составляла [4]:

$$\sigma_x = \sqrt{\int_{-0,5}^{0,5} (bx)^2 dx} = 1,732^\circ\text{C}$$

где b – дискретность отсчета температуры в момент выхода резца из зоны резания:

$$b = \frac{\xi}{f} = \frac{300}{50} = 6^\circ\text{C/кадр}$$

Суммарная среднеквадратическая погрешность измерения:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_{\text{и}}^2 + \sigma_x^2} = \sqrt{1,155^2 + 1,191^2 + 1,732^2} = 2,40^\circ\text{C}$$

Выводы:

1. Ни один из ранее существовавших способов измерения температуры в зоне резания не дает возможности с достаточной точностью определить температуру в зоне резания в производственных условиях.

2. Доказана возможность применения тепловизионного метода измерения температуры в зоне резания.

3. Предлагаемый метод измерения температуры с применением современного тепловизора, позволяет достаточно точно определить температуру в зоне резания в момент схода стружки без существенных изменений конструкции резцов, приспособлений и станка, что важно в условиях производства.

5. Градиент температуры по толщине стружки для принятых режимов обработки составляет $2,5 \dots 3^\circ\text{C/мкм}$.

6. Скорость остывания передней поверхности резца в начальный период составляла в среднем 300°C/сек .

ЛИТЕРАТУРА:

1. [SutterG., FaureL., MolinariA. и др. An experimental technique for the measurement of temperature fields for the orthogonal cutting in high speed machining//Int.J. of Machine tools & Manufacture. -2003. Vol. 43, с. 671 - 678.]
2. Temperature determination at the chip-tool interface using an inverse thermal model considering the tool and tool holder / R. Carvalho, S.M.M. Lima e Silva, A.R. Machado, G/ Guimaraes // J/ of Mat. Proc. Techn.- 2006.-179.-P/ 97-104.
3. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение. 1976.–278 с.

4. Криворучко Д.В., Залога В.А., Мазур Н.П. Анализ современных методов численного моделирования тепловых явлений при резании материалов//Сучасні технології у машинобудуванні: збірник наукових праць. -Х.: НТУ «ХПІ», 2007, Т. 3, с. 158 - 167.
5. Дж. Бендат, А. Пирсол Измерение и анализ случайных процессов. М.: изд. «Мир», 1971. – 408 с.

Сведения об авторах

Анухин Иван Викторович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, ул., 29.

Должность: аспирант

Электронная почта: ivan.anuhin@mail.ru

Мурашкин Сергей Леонидович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, ул., 29.

Ученая степень, звание: д.т.н., профессор

Должность: профессор

Электронная почта: murashkin@mail.ru

Анухин Виктор Иванович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, ул., 29.

Ученая степень, звание: к.т.н., доц.

Должность: доцент

Электронная почта: victoranuhin@mail.ru

Слатин Вадим Иосифович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, ул., 29.

Ученая степень, звание: к.т.н., доц.

Должность: доцент

Электронная почта: spb.slatin@yandex.ru

УДК: 621.914.1

А.В. Чвыков, Э.Л. Жуков

РАСЧЕТ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ФАСОННОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Аннотация. Одним из основных видов обработки резанием является фрезерование. В условиях фасонного фрезерования имеется сложная профильная поверхность и в каждой точке контакта инструмента с этой поверхностью возникают различные силы, что не позволяет использовать методы расчета для обычного фрезерования. Для расчета сил резания при фасонном фрезеровании широко применяются эмпирические, аналитические и графоаналитические зависимости и методики.

Ключевые слова: фасонное фрезерование, зависимость, скорость резания, профильная поверхность, силы резания.

В настоящее время самым производительным и универсальным методом изготовления деталей в машиностроении является обработка материалов резанием. Одним из основных видов обработки резанием является фрезерование.

При этом достаточно часто получение поверхностей сложной формы осуществляется путем фасонного фрезерования. Для определения погрешностей обработки необходимо провести расчеты сил резания, но в условиях фасонного фрезерования имеется сложная профильная поверхность и в каждой точке контакта инструмента с этой поверхностью возникают различные силы, что не позволяет использовать методы расчета для обычного фрезерования.

В настоящее время для расчета сил резания при фасонном фрезеровании широко применяются эмпирические, аналитические и графоаналитические зависимости и методики:

1. К эмпирическим зависимостям относятся зависимости степенного типа.

1.1. Зависимость для расчета средней за оборот фрезы окружной силы резания [1, 2, 3]:

$$P_{cp} = C_p \cdot B \cdot s_z^{y_p} \cdot t^{x_p} \cdot z \cdot D^{-g_p}, \quad (1)$$

где P_{cp} - средняя окружная сила резания; C_p - коэффициент; B - ширина срезаемого слоя; s_z - подача на зуб; t - глубина фрезерования; z - число зубьев; D - диаметр фрезы; y_p, x_p, g_p - показатели степени.

Значение коэффициентов и показателей степени выбираются по справочникам в зависимости от материала заготовки и инструмента.

1.2. Аналитическое выражение для определения мгновенной окружной силы резания при работе однозубой фрезой (получено А.М. Розенбергом [4, 5]):

$$P_z = \frac{D \cdot \lambda}{2 \cdot \operatorname{tg} \omega} \cdot s_z^{k+1} \cdot \int_{\theta_2}^{\theta_1} (\sin \theta)^{k+1} \cdot d\theta, \quad (2)$$

где ω - угол наклона стружечной канавки; λ - коэффициент, зависящий от материала заготовки; k - показатель степени, зависящий от величины износа фрезы, θ_1, θ_2 - углы входа и выходы фрезы.

Интеграл, имеет только приближенное решение при разложении в ряд Маклорена и угле контакта фрезы с заготовкой $\theta \leq 30^\circ$, поскольку сумма членов со второго может быть отброшена, вследствие своей незначимости:

$$P_z = \frac{D \cdot \lambda}{\sin \omega} \cdot s_z^{k+1} \cdot \frac{2^{k+1}}{k+2} \cdot \left[\sin^{k+2} \left(\frac{\theta_2}{2} \right) - \sin^{k+2} \left(\frac{\theta_1}{2} \right) \right], \quad (3)$$

Приведенные выше методики могут быть использованы лишь для приблизительных расчетов сил резания, так как в разных точках криволинейного лезвия процесс стружкообразования проходит при разных скоростях и толщинах срезаемого слоя, поэтому формулы (1) и (3) могут дать недостоверный результат применительно к фасонному фрезерованию.

2. Грановский Г.И. совместно с другими учеными [6] предложил аналитический метод расчета сил резания. Суть метода состоит: фасонная фреза представляется в виде ряда бесконечно узких фрез шириной dx , имеющих прямолинейную режущую кромку. Каждая из таких фрез радиусом R_{xi} , работая при глубине резания t_{xi} , имеет свой угол контакта, θ_{xi} .

Удельная сила резания будет переменна по лезвию фрезы:

$$\sigma = c_1 \cdot s_z^k \cdot \sin^k(\theta_{xi}) \cdot \sin^k(\varepsilon_{xi}), \quad (4)$$

где c_1 - коэффициент, зависящий от материала заготовки и переднего угла зуба фрезы; k - показатель степени, зависящий от материала заготовки, СОЖ, износа зуба фрезы; ε_{xi} - угол профиля в рассматриваемой точке.

Исходя из выражения (4), можно определить силы, действующие на зубе элементарной фрезы. Применительно к фрезе радиусом R_{xi} :

$$dP_i = \sigma \cdot dl, \quad (5)$$

где

$$dl = dx / \sin \varepsilon_{xi}. \quad (6)$$

Имея аналитическое выражение зависимости радиуса профиля зуба фасонной фрезы от ширины x , можно определить силу резания, действующую на всем зубе:

$$P = c_1 \cdot s_z^k \cdot \sin^k \theta_k \cdot \int_0^B \frac{dx}{\sin^k \varepsilon(x)^2}, \quad (7)$$

где B - ширина зуба фасонной фрезы, $\varepsilon(x)$ - зависимость угла профиля от ширины.

Она определяется как:

$$\operatorname{tg} \varepsilon(x) = \frac{dR(x)}{dx}, \quad (8)$$

где $R(x)$ - зависимость радиуса профиля от ширины.

Предложенная методика позволяет рассчитывать силы резания, принимая во внимание то, что толщина срезаемого слоя неодинакова в различных точках криволинейного лезвия. Недостатком этой методики является то, что не предусматривает влияние нелинейности характеристики силы резания при расчетах.

3. В работах Палк К.И., Переломова Н.Г., Свинина В.М. [7] предлагается графоаналитический метод расчета окружной силы резания при обработке заготовок концевыми фрезами, имеющими сферическую головку. Сначала для нескольких выбранных на лезвии точек (от 3 до 5 на дуге лезвия 90°) рассчитываются удельные силы, и по ним строится эпюра распределения нагрузки. При необходимости полученная эпюра может быть заменена одной или несколькими сосредоточенными силами. В главной секущей плоскости удельная сила P_i раскладывается на окружную составляющую P_{zi} , совпадающую по направлению с вектором скорости резания и радиально-осевую, совпадающую с нормалью к режущей кромке в рассматриваемой точке.

$$P_{zi} = A \cdot s_z \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \theta \cdot (1,155 \cdot \Pi \cdot K_a + \delta_0 - \Pi), \quad (9)$$

где A - коэффициент, учитывающий влияние сил трения и соотношение нормальных сил на передней и задней поверхностях; θ - угол контакта фрезы с заготовкой; φ_1 - угол наклона касательной к лезвию в рассматриваемой точке; K_a - коэффициент усадки стружки по толщине; Π - угловой коэффициент кривой деформационного упрочнения при сжатии образцов; δ_0 - условный предел текучести.

Чтобы найти площадь эпюры, которая представляет собой окружную силу, приложенную к зубу фрезы, необходимо знать уравнение кривой, ограничивающую эпюру сверху. Однако получить универсальное уравнение для разных случаев не представляется возможным, поэтому можно упростить разбиением площади эпюры ординатами на несколько частей и в каждой части заменить отрезок ограничивающей кривой отрезком прямой. Центр тяжести всей эпюры будет местом приложения сосредоточенной окружной силы резания.

Предлагаемый метод позволяет при расчете сил резания, возникающих в процессе фасонного фрезерования, учитывать нелинейность характеристики силы резания, что в свою очередь повышает точность расчетов. Замена отрезков кривых на отрезки прямых при определении площади эпюры снижает точность расчетов. Метод приемлем только для случая, когда очертание профиля зуба близко к окружности. Расчет сил резания может быть произведен лишь для конкретных режимов обработки, при этом с достаточной точностью определяется только значение окружной силы резания.

Проведенный анализ показывает, что для расчета сил резания при фасонном фрезеровании в настоящее время нет методик, позволяющих учитывать нелинейность сил от подачи и скорости при криволинейном очертании режущего лезвия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ларин, М.Н. Основы фрезерования. — М.: Машгиз, 1947. — 302 с.
2. Каталог Sandvik Coromant. Вращающийся инструмент. — 2003. — 665 с.
3. Гузеев, В.И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезернорасточных станков с числовым программным управлением: Справочник / В.И. Гузеев, В.А. Батуев, И.В. Сурков; под ред. В.И. Гузеева. — М.: Машиностроение, 2005. — 368 с.
4. Розенберг, А.М. Динамика фрезерования. — М.: Сов. наука, 1945. — 360 с.
5. Розенберг, А.М. Элементы теории процесса резания металлов / А.М. Розенберг, А.Н. Еремин. — М.; Свердловск: Машгиз, 1956. — 319 с.
6. Грановский, Г.И. Кинематика резания. — М.: Машгиз, 1948. — 440 с.
7. Палк, К.И., Переломов, Н.Г., Свинин, В.М. Расчет силы резания при работе концевыми сфероцилиндрическими фрезами / К.И. Палк, Н.Г. Переломов, В.М. Свинин // Тр. ЛПИ. — 1980. — №368. — 71-76.

Сведения об авторах

Чвыков Андрей Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: lenin11000@gmail.com

Жуков Эдуард Леонидович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
Должность: профессор
Электронная почта: edjukov@yandex.ru

УДК 621.9.08

А.А. Акуленко, И.А. Четвериков

ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ КОЛЕБАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Аннотация. При механической обработке резанием очень часто возникают вибрации основных элементов станка (шпинделя, задней бабки, приводной головки), главное это вибрация при резании, что приводит к ухудшению качества поверхности обрабатываемой заготовки. Актуальность данной работы является исследование стандартных методов и средств вибродиагностики для активного контроля над уровнем вибраций при резании и выполнение программного регулирования режимов обработки.

Ключевые слова: колебание, виброактивность, виброанализатор.

При механической обработке металлов возникают явления, называемые колебаниями, которые влияют на процесс резания. Колебания оказывают влияние на точность механической обработки, увеличивают шероховатость обрабатываемой заготовки, уменьшают стойкость инструмента, а также создают шум, который утомляет рабочих.

Колебания делятся на 3 типа: вынужденные колебания, собственные колебания и автоколебания. [4]

Больше всего нас интересует последний тип колебаний – автоколебания, так как причины их возникновения зависят от самого процесса резания материала.

Автоколебания возникают в отсутствии внешнего периодического воздействия, причем источник энергии их возникновения является неотделимой частью технологической системы. [3]

Причины возникновения вибраций изучали такие ученые как Тейлор, А.П. Соколовский, Л.С. Мурашкин, А.И. Каширин, И.С. Амосов, И.И. Ильницкий, И.С. Штейнберг и др. Также исследовалось и влияние вибраций на качество обработанной поверхности.

Способность элементов технологической системы производить вибрацию во время работы называется виброактивностью. В нашем случае обработка заготовок будет вестись на оборудовании с использованием высокоточных станков с ЧПУ.

Для оценки виброактивности элемента станка необходимо учитывать его собственную частоту во избежание возникновения резонансных состояний системы. [1]

Цель данной работы – исследование способов применять данные о состоянии системы для регулирования рабочего процесса.

В работе И.Г. Жаркова были проведены исследования ряда специальных высокочувствительных и малоинерционных динамометров и сил резания при различных процессах обработки. Эти исследования показали, что частота автоколебаний парциальных систем общей замкнутой упругой системы СПИД изменяются обычно от 100-700 Гц и выше. [5]

Поэтому для контроля вибрации (вибродиагностики) используют следующие приборы: виброанализаторы; анализаторы вибрации; переносные виброметры (измерители вибрации); сканирующие, стационарные и модульные виброметры. Также есть стационарные системы непрерывного контроля вибрации.

Приборы бывают стационарными и переносными. Стационарные используются, когда нужно непрерывно контролировать техническое состояние оборудования. В остальных же случаях лучше применять переносные приборы.

Снятие показаний производится с помощью датчика–акселерометра, фильтра, усилителя входного сигнала, преобразователя, а также устройства ввода-вывода данных. В современных приборах есть возможность совмещать несколько функций, что приводит к уменьшению их количества и трудоемкости процесса измерений. Все необходимые датчики устанавливаются на элементы станка. Схема снятия показаний представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема снятия показаний вибрации

Универсальными приборами являются виброанализаторы, которые могут: измерять, обрабатывать и хранить информацию о проведенных измерениях, так как в них встроен микропроцессор. С помощью них можно проводить различные виды анализа вибрации, обрабатывать различные характеристики (амплитудно-частотная, фазовая и др.). Некоторые характеристики датчика: коэффициент преобразования, резонансная частота, ширина динамического диапазона.

Прибор преобразует колебания в электрический сигнал. Как показывают результаты, вибрация обладает гармоникой различной частоты. При анализе амплитуд этих гармоник, можно получить информацию о состоянии оборудования.

Значительное влияние на амплитуду колебаний оказывает жесткость системы СПИД. Чем больше жесткость, тем меньше интенсивность автоколебаний, и наоборот. [2]

В наше время приборы используются с цифровым методом обработки информации, что дает возможность очень быстро получать результат измерений.

Для повышения достоверности диагноза при анализе вибрации используется в дополнение к частотному анализу, временной, фазовый анализ, анализ огибающей, пик-фактор, среднее квадратическое значение (СКЗ) и другие методы.

Таким образом, на основании теоретических исследований был проведен обзор методов диагностики, которые позволяют использовать данные о состоянии системы для активного регулирования режимов резания на станках с ЧПУ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мурашкин Л.С., Мурашкин С.Л. Прикладная нелинейная механика станков. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1977. 192 с.
2. Степанов В.В. Устойчивость движения технологической системы станка при фасонном фрезеровании: дис. канд. техн. наук; Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина; науч. рук. Л.С. Мурашкин. – Л., 1984. – 230 с.
3. Плавник С.Л. Повышение надежности процессов изготовления деталей фасонным фрезерованием: Дис. канд. техн. наук: 05.02.08: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. Механико-машиностроительный факультет; Науч. рук. А.М. Соловейчик. – Санкт-Петербург, 2004. – 177 с.: ил.
4. Технология машиностроения: В 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения: Учеб. пособ. Для вузов/ Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, С.Л. Мурашкин и др.; Под ред. С.Л. Мурашкина.- М.: Высш. шк., 2003.-278 с.: ил.
5. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1986. -186 с.: ил.

Сведения об авторах

Акуленко Александр Александрович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: alekszime@rambler.ru

Четвериков Игорь Алексеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: igor_chetverikov@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАСТЕР-ШАБЛОНОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Аннотация. Приведена оценка технологии шлифования из монолита и технологии эластичного изгиба. Показана технология изготовления мастер-шаблонов методом эластичного изгиба, состоящая из ряда процедур. Дана оценка приведенной технологии и перспектив ее развития.

Ключевые слова. Рентгеновская оптика, шероховатость поверхности, шлифование, полирование, абразивные бруски.

Быстрое развитие приборостроения, использующего рентгеновскую оптику, опирается на постоянный рост качества коммерчески доступной элементной базы. Изготовление элементов рентгеновской оптики является одной из наиболее сложных проблем современного оптического приборостроения. Высокие требования, предъявляемые одновременно к точности формы оптических поверхностей и чистоте обработке этих поверхностей при значительных габаритах деталей и «нестандартность» с точки зрения традиционного оптического производства делают задачу изготовления таких элементов доступной только хорошо оснащенным и организованным компаниям, имеющим в своем распоряжении дорогостоящее обрабатывающее и измерительное оборудование.

В тоже время номенклатура оптических компонентов, используемых в рентгеновских оптических устройствах не велика, что позволяет выстраивать специфические технологические цепочки, ориентированные на определенный вид оптики. В ряде случаев это позволяет реализовывать производство высокоточных изделий на относительно не дорогом оборудовании. Однако воплощение таких возможностей реально только при использовании достаточно сложных приемов как на стадии управления формообразованием, так и на этапах контроля, что в свою очередь требует довольно сложной, не стандартной, обработки на основе специализированного программного обеспечения. Высокий уровень автоматизации ключевых операций и необходимость передачи больших объемов информации между отдельными стадиями производственного цикла являются предпосылками создания высоко автоматизированного технологического комплекса пример создания, которого представлен в данной работе, где рассмотрена технология изготовления цилиндрических поверхностей, имеющих параболическую или эллиптическую образующую. Такие детали используются в частности как мастер-шаблоны при репликационном методе изготовления подложек оптики на основе МИС.

Описываемый процесс производства мастер - шаблонов состоит из трех основных производственных процедур: изготовление заготовки мастер-шаблона, финишной обработки заготовки методом полирования малоразмерным инструментом, операций контроля формы. изготовления подложек цилиндрической оптики.

В качестве мастер-шаблонов при репликационном методе используются цилиндрические поверхности с размером в направлении оптической оси от 40 до 400 мм и от 20 до 200 мм в поперечном направлении. Поверхность мастер-шаблона, как правило, представляет вне осевую параболу либо эллипс со стрелкой прогиба от нескольких десятков до нескольких сотен микрон. Требования на ошибку формы такой поверхности в настоящий момент выставляются порядка 1 угловой секунды. Шероховатость - на уровне единиц Ангстрем [1 - 4].

Финишные этапы обработки такой поверхности могут использовать как полирование абразивами [5], так и более сложные технологии, например плазменно-ионное полирование

[4, 7]. Хотя при использовании полирования имеется возможность получать требуемую по приведенным выше условиям поверхность прямо из плоской заготовки, но такая технология требует значительных временных затрат, да и результирующие погрешности на много больше, чем в случае использования заготовок максимально приближающихся по форме к заданной поверхности.

Для получения эффективных заготовок обычно применяют два принципиально разных подхода: шлифование из монолита и метод эластичного изгиба.

Применение финишной обработки делает шлифованные заготовки более предпочтительными, чем те, что получаются изгибом. В тоже время технология эластичного изгиба является традиционной в данной области [1, 2], она хорошо отработана и что очень важно во многих случаях позволяет получить готовую деталь даже без последующей финишной обработки. Примеры применения такой технологии можно найти в [1-4, 6, 8].

Идея технологии эластичного изгиба достаточно проста. К тонкой полированной стеклянной пластине прикладывается изгибающий момент под действием, которого поверхность пластины должна принять требуемую форму. Эта форма фиксируется, как правило, приклеиванием пластины к массивному основанию.

Управление результирующей формой поверхности пластины в описанном процессе возможно за счет изменения изгибающих усилий, прикладываемых к краям пластины, и управлением моментом инерции вдоль продольной оси пластины. Последнее может осуществляться за счет изменения ширины пластины и в какой-то степени за счет изменения толщины пластины вдоль продольной оси. Определение оптимального сочетания перечисленных параметров не возможно без проведения численного анализа напряженно-деформированного состояния деформируемого тела. Соответствующие расчеты, как правило, выполняются с использованием метода конечных элементов. При этом приходится решать оптимизационную задачу по определению наилучшего сочетания параметров, обеспечивающих заданную форму.

При проведении указанного расчета необходимо учитывать усадку клея, заливаемого в промежутки между изогнутой пластиной и основанием к которому она приклеивается. Усадка клея составляет несколько единиц процента и приводит не только к смещению поверхности пластины в сторону основания, но за счет усадки еще и в поперечном направлении к дополнительному деформированию рабочей поверхности.

Как показывает опыт применения описанной методики, не удается с высокой степенью точности только на основании расчета обеспечить хорошее приближение к заданному профилю. В связи с этим, доводка поверхности до требуемой точности осуществляется за счет введения экспериментальных поправок, с помощью которых на каждом шаге уточнения описывается рассогласование между полученной и заданной поверхностями.

Общая схема технологического процесса по лучению мастер-шаблона с помощью эластичного изгиба представлена на рис. 1.

Реализация этой технологии без развитой программной поддержки практически невозможна. В связи с этим авторами был разработан комплекс программ, решающих указанную задачу и обеспечивающих как проведение всех необходимых расчетов с использованием вычислительных возможностей, реализованных в основном собственными программными средствами. Кроме собственно расчетных задач по определению напряженно-деформированного состояния изгибаемой пластины с учетом наносимой на ее поверхность заготовки подложки зеркала и клеевой усадки, описываемый программный комплекс включает развитые предпроцессорные и постпроцессорные средства по формированию описания задачи, исходных данных, обработке результатов измерения и формирования отчетной и рабочей документации, включающей электронный чертеж детали

и программу ее раскроя в случае использования для раскроя станков водоструйной, либо лазерной резки, оснащенных ЧПУ.

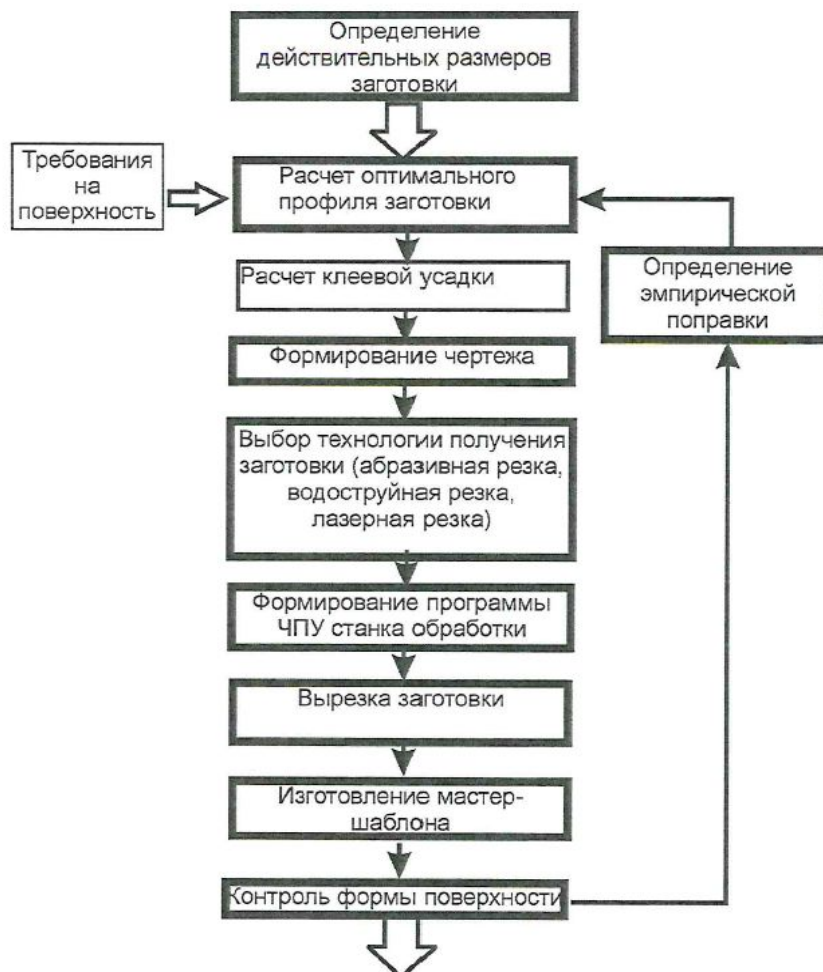


Рис. 1. Схема технологического процесса изготовления мастер-шаблона цилиндрической оптики методом эластичного деформирования

Описанный процесс обеспечивает стабильное получение параболических и эллиптических цилиндрических поверхностей с размерами вдоль главной оси до 400 мм и нескольких десятков миллиметров в поперечном направлении с ошибкой формы в несколько единиц угловой секунды. Как представляется авторам, в настоящий момент данная технология исчерпала свои возможности и ее прямое совершенствование не даст значимого повышения качества. Дальнейшее снижение ошибки формы следует осуществлять на основе применения дополнительной финишной обработки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ахсахалян А.А., Ахсалян А.Д., Муравьев В.А. и др. // Изготовление цилиндрических поверхностей методами термопластического и упругого изгиба стеклянных пластин. Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 1, 2003, с. 78-80.
2. Ахсахалян А.А., Ахсахалян А.Д., Волгунов Д.Г., и др. // Оптимизация многослойных рентгеновских зеркал в системах параболических цилиндров. Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 1, 2003, с. 86-93
3. Ахсахалян А.А., Ахсахалян А.Д., Волгунов Д.Г., и др. // Изготовление цилиндрических рентгеновских отражателей репликационными методами. Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 1, 2002, с. 51-54

4. Бриков А.В., Волгунов Д.Г., Гапонов С.В. и др., // Исследование возможности получения сверхгладких подложек методом репликации эталонных поверхностей полимерными пленками. Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 1, 2003, с. 109- 112
5. Савельев И.С. Программное обеспечение технологии полирования малоразмерным инструментом подложек элементов рентгеновской оптики. // Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики: тезисы докладов конференции: ФИАН, 2009 - с. 52
6. Савельев И.С.// САМ система полирования малоразмерным инструментом. Лазеры, измерения, информация: сборник докладов конференции. СПбГПУ, 2009 -Т.3, с. 16-27
7. Jacobs S.D. International Innovations in Optics Finishing. Current Developments in Lens Design and Optical Engineering.// Proc. Of SPIE. V.5623.P.264-272.
8. Михайлов В.В., Парака А.В., Чекаль В.Н. и др.// Технология автоматизированного формообразования для производства оптических элементов. Оптический журнал 2009. т.76, №9, С.82-86.

Сведения об авторах

Савельев Иван Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Должность: аспирант

Электронная почта: ivan@x-energo.com

Слатин Вадим Иосифович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, ул., 29.

Ученая степень, звание: к.т.н., доц.

Должность: доцент

Электронная почта: spb.slatin@yandex.ru

УДК: 627.32:621.869.76:004.94

Н.Н. Николаевский, А.Е. Радаев, С.Ф. Пилипчук

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ НА
ТЕРМИНАЛАХ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ**

Аннотация. Рассмотрена задача обоснования технологии погрузочно-разгрузочных работ в складской зоне портового терминала для экспорта сыпучих грузов в части выбора отдельного или комбинированного типа оборудования. Разработана соответствующая имитационная модель, проведен эксперимент варьирования параметров. Получены зависимости, позволяющие оценить целесообразность выбора технологии при заданных характеристиках работы склада.

Ключевые слова: терминал для экспорта сыпучих грузов, логистическая система, стакер, реклаймер, стакер-реклаймер, технологический процесс, имитационное моделирование.

В современных условиях развития отечественной экономики, характеризующихся ростом объемов экспорта энергоресурсов, в том числе угля, особую важность приобретают вопросы проектирования, исследования и модернизации портовых терминалов для экспорта сыпучих грузов.

При решении соответствующих задач для отдельного складского объекта – портового терминала, последний, как правило, рассматривается как сложная логистическая система (ЛС), включающая в себя следующие технологические элементы: морской грузовой фронт (МГФ), складскую зону (СЗ), железнодорожный грузовой фронт (ЖГФ). Описание указанной системы приведено в работах [1, 2], где также отмечается актуальность проблем обоснования технологического процесса, определяемого структурой парка подъемно-транспортного оборудования (ПТО), с заданными характеристиками вместимости и пропускной способности.

В данной работе рассматривается задача обоснования технологии погрузочно-разгрузочных работ в части выбора типа ПТО, обслуживающего СЗ терминала сыпучих грузов. Важно отметить, что указанная технологическая зона обеспечивает преобразование материального потока посредством формирования крупных отгрузочных партий для судов, обслуживаемых на МГФ, на основе относительно небольших поступающих партий, образующихся при разгрузке ж/д составов в рамках ЖГФ. Для реализации соответствующего технологического процесса, как правило, используется транспортная конвейерная система в сочетании со стакерами или реклаймерами для выполнения процедур соответственно приемки и отправки сыпучего груза из СЗ [3]. Однако, в условиях стремления к повышению гибкости и адаптивности терминала (как наиболее важных свойств ЛС, определяющих ее конкурентоспособность) все большее распространение находят виды техники, обеспечивающие комбинированное выполнение операций – стакер-реклаймеры.

Таким образом, при описании процессов помещения и изъятия сыпучих грузов из СЗ можно выделить следующие схемы реализации технологического процесса: – *раздельную схему (РС)*, при которой процедуры приемки грузов в СЗ выполняются с использованием стакеров, а процедуры отправки – реклаймерами; – *комбинированную схему (КС)*, при которой обработка грузов как при приемке, так и при отправке из СЗ осуществляется стакер-реклаймерами.

Результаты анализа литературных и электронных источников по соответствующей тематике свидетельствуют об отсутствии каких-либо конкретных рекомендаций по выбору наиболее предпочтительной из вышеперечисленных схем. Данное обстоятельство определило целесообразность оценки диапазонов характеристик входящих и выходящих грузопотоков, определяющих предпочтительность использования конкретной схемы реализации технологического процесса. При решении указанной задачи СЗ рассматривалась как система массового обслуживания (СМО), обеспечивающая обработку поступающих заявок – партий угля, с уникальными характеристиками в части объема и длительности временного интервала между поступлениями смежных заявок. На основе вышеперечисленных особенностей исследуемого объекта была разработана имитационная модель, описывающая процедуры помещения / изъятия сыпучих грузов из СЗ. Разработка модели производилась в среде *AnyLogic* в соответствии с дискретно-событийной парадигмой моделирования (программной реализацией теории СМО) [4, 5]. Реализация РС определялась функционированием одного стакера и одного реклаймера; КС описывалась двумя стакер-реклаймерами.

К входным параметрам имитационной модели относятся: – объемы партий приемки ($q^П$) и отправки ($q^О$), т.; – интервалы времени между партиями приемки/отправки, генерируемые по нормальному закону распределения ($T^П$ и $T^О$), ч.; – технические производительности машин ($P^{ст}$, $P^{рек}$, $P^{ст-рек}$), т/ч.

К выходным параметрам модели относятся: – статистические показатели (минимальное, максимальное, среднее значения, размах и т.п.) длин очередей (ед.) партий груза на приемку/отправку; – статистические показатели времени ожидания в очереди на приемку/отправку; – коэффициент использования оборудования по времени; – коэффициент использования оборудования по производительности приемки/отправки, как отношение эксплуатационной производительности к технической.

На основе разработанной имитационной модели был реализован эксперимент варьирования параметров, заключающийся в последовательных (итеративных) прогонах модели на базе следующих принципов формирования исходных данных для каждой отдельной итерации:

– длительность – 720 ч., грузооборот – $Q = 1$ млн. т.; – $q^П$ выбирается из совокупности значений {1 000 т.; 2 000 т.; ...; 10 000 т.}; – $q^О$ выбирается из совокупности значений {5 000 т.; 10 000 т.; ...; 50 000 т.}; – $T^П$ и $T^О$ определяются программно на базе фиксированной величины грузооборота (Q) и сгенерированных значений $q^П$ и $q^О$ соответственно.

Для определения граничных значений диапазонов характеристик грузопотоков, обуславливающих целесообразность использования конкретной схемы реализации технологического процесса, для каждой отдельной итерации был рассчитан так называемый коэффициент неравномерности партий, представляющий собой отношение объема партии убытия к объему партии прибытия, в нашем случае $K_{НП} \in [1; 50]$. Впоследствии КНП рассматривался в качестве аргумента при формировании соответствующих аппроксимационных зависимостей (с использованием программы Microsoft Excel) на базе выходных данных эксперимента. Некоторые зависимости приведены на рис. 1.

На основании полученных результатов можно сделать следующие основные выводы:

– результаты функционирования моделируемого объекта по обеим схемам свидетельствуют о наиболее вероятном отсутствии партий груза в очереди на отправку и одинаковом характере изменения среднего времени ожидания обработки (помещения или изъятия из СЗ) при увеличении $K_{НП}$, однако величина указанного временного показателя для КС примерно в 2 раза меньше, чем для РС; иными словами, КС в общем случае обеспечивает более высокие показатели производительности, чем РС, за счет более равномерного распределения единиц ПТО по партиям, поступающим на обработку;

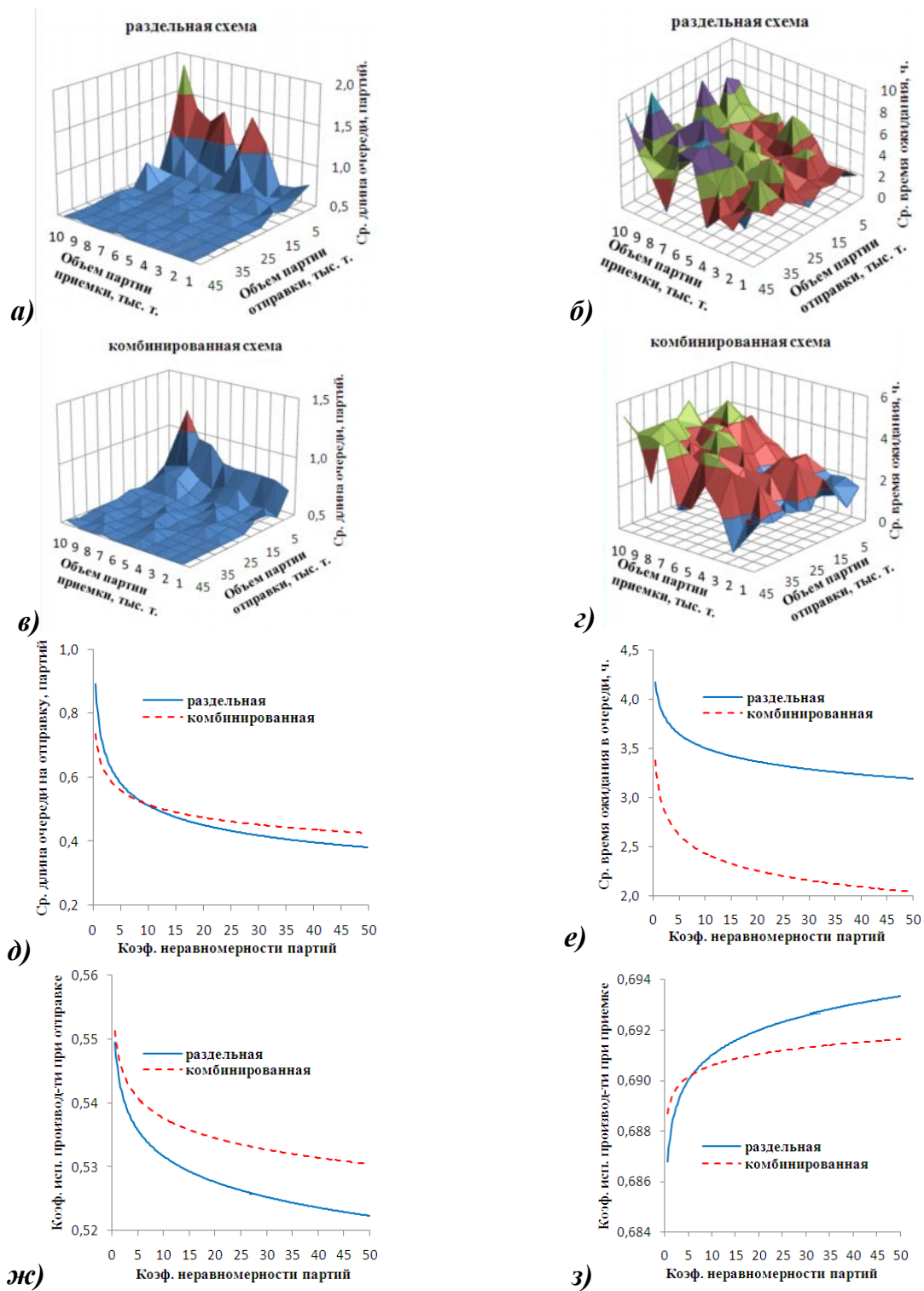


Рис. 1. Экспериментальные зависимости от изменения грузопотоков: а), в), д) – средней длины очереди на отправку; б), г), е) – среднего времени ожидания в очереди на отправку; ж), з) – коэф. использования по производительности при отправке/приемке

– характер изменения коэффициентов использования ПТО по времени и по производительности является менее чувствительным для КС относительно РС, что, в свою очередь, говорит о более эффективном использовании техники при больших показателях неравномерности грузопотоков.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Погодин В.А., Серова И.В. Оценка влияния системы управления на пропускную способность контейнерного терминала. Журнал «Контейнерный бизнес», №3 (05) 2006 г., с.110-114.
2. Николаевский Н.Н. К вопросу о проектировании портовых грузовых терминалов // Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. ИММиТ СПбГПУ. Ч. 1. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. — С. 272-275.
3. РД 31.3.05-97 Нормы технологического проектирования морских портов.
4. Пилипчук С.Ф. Моделирование складских логистических процессов [Текст] / С.Ф. Пилипчук, А.Е. Радаев // Материалы российско-немецкой конференции по логистике; Д.А. Иванов [и др.]. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — с. 197-208.
5. Радаев А.Е. Имитационное моделирование производственных систем [Текст]: уч. пособие /А.Е. Радаев, В.В. Кобзев; — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 156 с.

Сведения об авторах

Николаевский Николай Николаевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: Студент магистратуры
Электронная почта: triplenick@mail.ru

Пилипчук Сергей Федорович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент.
Должность: доцент
Электронная почта: spilipchuk44@mail.ru

Радаев Антон Евгеньевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.э.н.
Должность: ассистент
Электронная почта: tw-inc@yandex.ru

УДК 658.286:658.588.8

П.А. Шабанов, С.А. Щербакова, А.М. Жукова, Ю.Л. Фрейдинов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА РИСКОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ

Аннотация. Представлена структура возможного ущерба от нежелательных событий на производственных объектах и схема затрат для минимизации этого риска. Рассмотрены мероприятия по управлению риском на промышленных объектах. В целях обоснования мероприятий, направленных на снижение ущерба, определен критерий оптимизации затрат на снижение риска нежелательного события при оценке эффективности в области риск-менеджмента.

Ключевые слова: карта потока создания ценности, ошибка, дефект, отказ, нежелательное событие, ущерб, риск, производственный объект, мероприятия по снижению риска, приемлемый риск.

Поток создания ценности (ПСС) представляет собой последовательность действий (поток материалов и/или информации) необходимых для создания товара или услуги клиенту (внутреннему или внешнему) начиная от сырья и заканчивая потребителем. Современное производство при аргументировании принимаемых решений всё больше и больше обращается к так называемому риск-менеджменту – т.е. принятие решений на основании риска, связанного с данным решением.



Рис. 1. Алгоритм наступления нежелательного события

недостаточный ресурс времени и т.д.) [1, 2]. Однако при абсолютно всех методиках проверки, вероятность наличия дефекта в проекте или появление его при изготовлении остается и для минимизации риска проявления его при эксплуатации, проводятся сдаточные испытания опытного образца по специально разработанной программе испытаний и опытная эксплуатация (обнаружение дефекта), которая проверяет на соответствие параметры, связанные с техническим заданием. Обнаруженные дефекты устраняются либо в процессе испытаний, либо в соответствии с протоколом замечаний.

Риск — это безразмерная величина, это сочетание *вероятности* «О» и *значимости последствий* «S» наступления нежелательного события [3]. Для относительной оценки риска НС необходимо ранжировать два критерия: значимость НС и вероятность НС для анализируемого процесса.

Параметрические критерии категорий (A_i), по которым возможно проводить анализ значимости последствий НС с оборудованием следующие:

Здоровье и безопасность – S, Потери производства от повреждения – P, Качество продукции – Q, Экология – W, Время устранения – T, Расходы на ремонт – M. Возможный эффект этих категорий « B_i »: «Неприемлемый», «Тяжелый», «Допустимый», «Незначительный» по каждой категории анализа. (Таблица 1.)

Табл. 1. Критерии значимости возможных последствий НС

			Эффект (B_i)							
			Неприемлемый		Тяжелый		Допустимый		Незначительный	
			1		2		3		4	
Категория (A_i)			Критерий	Ранг	Критерий	Ранг	Критерий	Ранг	Критерий	Ранг
Возможные последствия	Безопасность здоровья	1 (S)	Длительная госпитализация	C11	Оформление больничного листа.	C12	Обращение в мед. кабинет без больн. листа	C13	Помощь без вызова мед. персонала	C14
				S11		S12		S13		S14
	Потери производства	2 (P)	Прекращается работа всего завода	C21	Прекращается работа участка	C22	Прекращается работа 1 единицы оборуд.	C23	Задействуется аналогичное оборуд.	C24
				S21		S22		S23		S24
	Качество продукции (брак %)	3 (Q)	Q > 15	C31	7 < Q < 15	C32	5 < Q < 7	C33	Q < 5	C34
				S31		S32		S33		S34
	Экология окружающей среды	4 (W)	Необходимо привлечение аварийных служб	C41	Эффект превосходит нормы предприятия	C42	Эффект не превосходит нормы предприятия	C43	Инцидент устраняется персоналом	C44
				S41		S42		S43		S44
	Время на ремонт (дни)	5 (T)	T > 5	C51	3 < T < 5	C52	1 < T < 3	C53	T < 1	C54
				S51		S52		S53		S54
	Расходы на ремонт (т.р.)	6 (M)	M > 200	C61	50 < M < 200	C62	20 < M < 50	C63	M < 20	C64
				S61		S62		S63		S64

Для определения суммарного эффекта возможных последствий от одного какого-либо события «эквиваленты» суммируются по всем категориям. Ущерб от НС на производственных объектах может быть выражен в общем виде формулой [4]:

$$U_{\text{полн}} = S + P + Q + W + T + M,$$

где: S – затраты на компенсацию здоровья, P – потери производства, Q – потери от брака, W – потери на восстановление экологии окружающей среды, T – потери при ремонте оборудования (время на ремонт), M – расходы на ремонт.

Ранжирование может проводиться как в цифровом ($S(A_j)$ (B_i) – цифровой эквивалент эффекта категории – баллы), так и в денежном ($C(A_j)$ (B_i) – денежный эквивалент эффекта категории – тыс. рублей) эквиваленте эффекта категории. Для каждого предприятия критерии значимости и вероятности НС должны быть уникальными.

Вероятность НС может быть ранжирована в соответствии с таблицей 2.

Табл. 2. Критерии ранжирования вероятности НС

Критерии	Ранги
НС < 1 недели	4
1 месяц > НС > 1 недели	3
6 месяцев > НС > 1 месяца	2
НС > 6 месяцев	1

При расчете возможных финансовых потерь по устранению последствий НС или предотвращению НС можно использовать понятие экономической толерантности (терпимости к риску, экономической целесообразности). Смысл данного понятия заключается в том, что затраты по предотвращению возможных НС должны быть не больше затрат по устранению последствий НС - рис. 2.

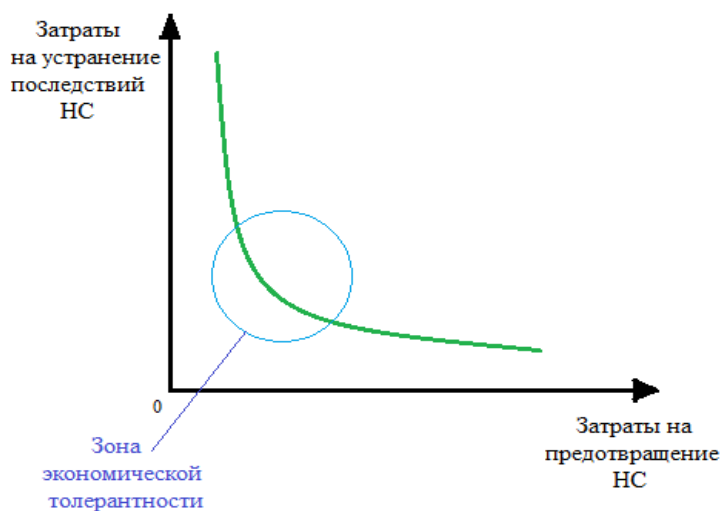


Рис. 2. График зависимости затрат на устранение последствий возможного НС от затрат на предотвращение НС

Выводы: Использование методов анализа рисков при проектировании производственной логистики помогают спрогнозировать причины возникновения возможных последствий некачественного проекта и предложить мероприятия, улучшающие проект и снижающие риски на всех этапах проектирования ценности, а следовательно, и возможные финансовые потери при внедрении проекта. Метод позволяет определить финансовую целесо-

образность надежного проектирования, т.к. мероприятия по предупреждению возможного НС можно оценить денежным эквивалентом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Чура Н.Н. Техногенный риск: учебное пособие/ Н.Н. Чура, под ред. В.А. Девисилова. – М.: «КРОНУС», 2011. – С. 280.
2. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2/ Колл. авт. – М.: ГУП "НТЦ "Промышленная безопасность" Госгортехнадзора России, 2001. – С. 224.
3. ГОСТ Р 51901.1-2002, «Менеджмент риска»
4. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах (РД 03-496-02). Утв. постановлением Госгортехнадзора России от 29.10.2002 № 63.

Сведения об авторах

Фрейдинов Юрий Леонидович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: freysinov@inbox.ru

Шабанов Павел Александрович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент пятого курса
Электронная почта: shabanovpavel92@yandex.ru

Щербакова Софья Александровна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент пятого курса
Электронная почта: sofyashherbakova@yandex.ru

Жукова Анна Михайловна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент пятого курса
Электронная почта: Fruktovyikefir@mail.ru

УДК: 621.86.01

К.Ю. Митлигин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ПРИЧАЛЬНОГО ПОРТОВОГО КОНТЕЙНЕРНОГО КРАНА-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ И СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Аннотация. В данной работе произведен анализ и выбор параметров сечения пролетного строения причального портового контейнерного крана-перегрузателя. Рассмотрены различные варианты сечений пролетного строения у существующих машин, приведены возможные варианты сечений. Произведен сравнительный анализ за счет определения количественных показателей, таких как: вес погонного метра строения, наветренная площадь. Качественные показатели были выбраны с учетом весовых коэффициентов.

Ключевые слова: причальный кран-перегрузатель, пролетное строение, анализ, сечение, балка.

На сегодняшний день в мире с каждым годом вырастает товарооборот. Активно ведется строительство новых контейнерных терминалов и портов. Для обеспечения большой производительности порта необходимо самое современное оборудование.

Современные морские и речные порты, причалы которых предназначены для приема и обработки судов – контейнеровозов и сухогрузов, плавучих контейнеров (лихтеров), оборудуются специальными кранами, так называемыми причальными перегрузателями. Такие подъемно-транспортные механизмы перемещаются по рельсовым крановым путям, проложенным вдоль линии причала (зачастую вплотную к кромке набережной), и обеспечивают высокую производительность погрузочно-разгрузочных работ на участке берег – судно.

Целью данной работы является обоснование рационального выбора сечения пролетного строения перегружателя, обеспечивающего его экономичность при сохранении высокой производительности. Актуальность данной работы прежде всего связана с усовершенствованием конструкции данной машины. Экономически выгодно спроектировать машину таким образом, чтобы затраты на ее изготовление были минимальными (как временные, так и денежные), при полном соответствии с требованиями заказчика

Цели и задачи работы:

1. Проанализировать возможные варианты сечений пролетного строения крана;
2. Рассчитать каждый из вариантов и получить количественные параметры качества;
3. Сделать выводы исходя из полученных результатов.

В ходе исследования были выявлены виды сечения пролетного строения крана, показанные на рис. 1 и рис. 2. Все расчеты выполнены применительно к конструкции перегружателя грузоподъемностью 40 т с вылетом стрелы 40 м. Материал конструкции сталь 09Г2С. Первую часть работы составляют аналитические методы расчета, такие как: расчеты на прочность, жесткость конструкции, определение усилий в стержнях ферменной конструкции. Для проверки полученных результатов применен метод конечных элементов. Расчетная схема пролетного строения представлена на рис. 3.

В ходе проведенной работы были получены результаты, представленные в табл. 1, табл. 2.

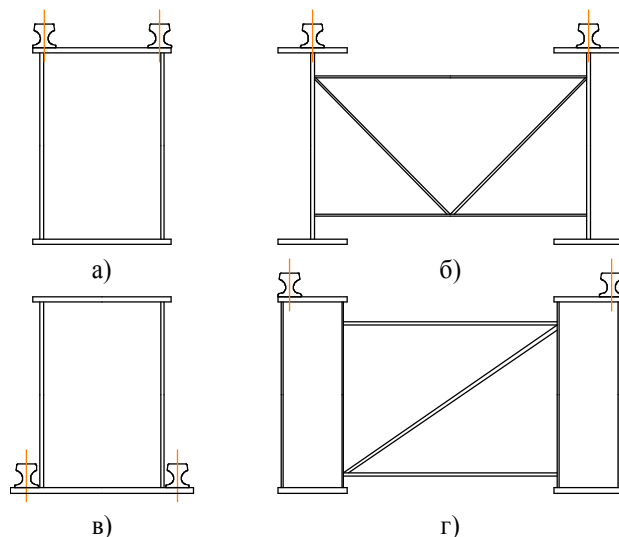


Рис. 4. Виды сечения пролетного строения крана: а) коробчатая; б) двутавровая с соединительной фермой; в) коробчатая балка с усиленным нижним поясом; г) сдвоенная коробчатая балка

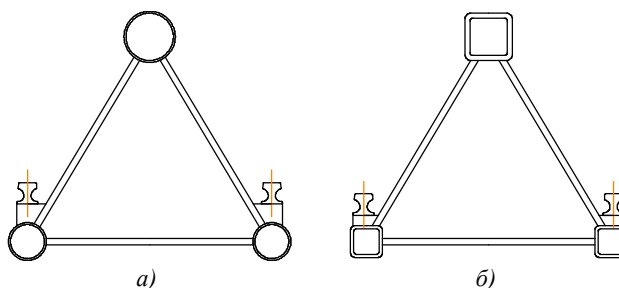


Рис. 5. Виды сечения ферменного пролетного строения: а) из труб круглого сечения; б) из труб квадратного сечения

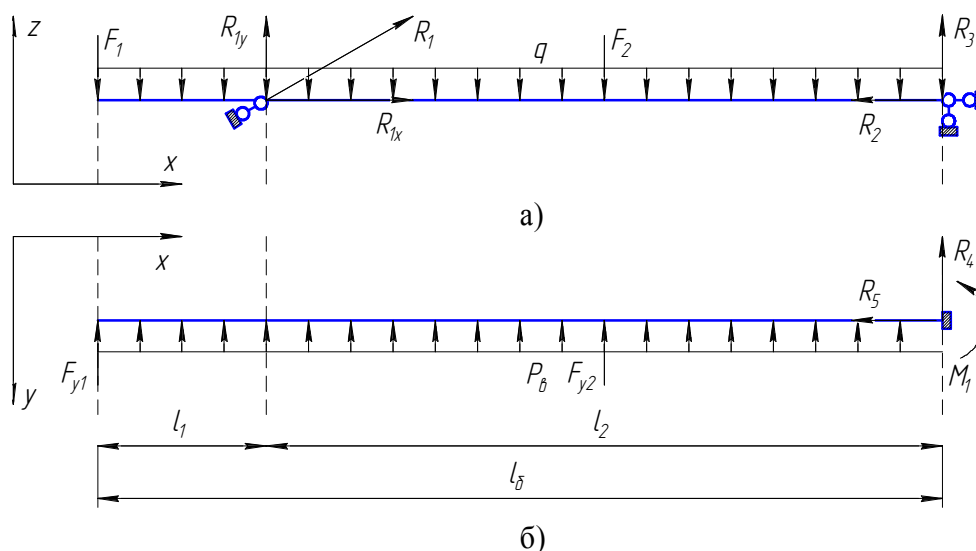


Рис. 6. Расчетная схема пролетного строения:
а) в плоскости z-x; б) в плоскости y-x

Табл. 1. Количественные параметры конструкций

Рис.	1. а	1. б	1. в	1. г	2. а, 2. б
Параметр					
Погонный метр, т	1.061	1.3	1.47	1.39	0.99
Наветренные площади, м ²	110	116	100	100	78

Табл. 2. Оценка конструкций с учетом весового коэффициента

Рис.	Вес. к-т	1. а	1. б	1. в	1. г	2. а, 2. б
Параметр						
Металлоемкость	0.30	2	3	5	4	1
Технологичность	0.25	1	3	3	1	5
Конструкция шарнира	0.10	2	5	5	2	2
Наветренные площади	0.25	3	4	2	2	1
Обтекаемость	0.10	3	4	4	3	2
Итого	1.00	2.1	3.55	3.65	2.45	2.2

Весовые коэффициенты, приведенные в табл. 2 показывают важность того или иного параметра, чем выше коэффициент, тем важнее этот параметр для исследуемой конструкции. Баллы по каждому из пунктов являются штрафными.

Выводы: Проведенное исследование показывает, что при данных параметрах отбора наиболее целесообразно использовать пролетное строение с сечением №1.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 1 / В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др.; под общ. ред. М.М. Гохберга. Л.: Машиностроение, 1988. 536 с.
2. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 2 / М.П. Александров, М.М. Гохберг, А.А. Ковин и др.; под общ. ред. М.М. Гохберга. Л.: Машиностроение, 1988. 556 с.
3. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. / М.П. Александров – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.
4. Строительная механика и металлические конструкции машин: учебник / С.А. Соколов.: Политехника 2011. 450 с.
5. Сопротивление материалов: Учебное пособие / Под ред. Б.Е. Мельникова – СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 528 с.

Сведения об авторах

Митлигин Кирилл Юрьевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: mitligin@gmail.com

УДК 519.677

Е.Е. Краснова, К.П. Манжула

ПРИМЕНЕНИЕ NEURAL NETWORK TOOLBOX ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ
МНОГОАРГУМЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ

Аннотация. В работе рассмотрена оптимизация параметров архитектуры сети, а также параметров её обучения с помощью пакета neural network toolbox программы matlab. Сформированы сети с различным числом скрытых нейронов в скрытом слое и с различным числом переобучений, выбраны лучшие из них с помощью тестирования каждой. Приведены зависимости коэффициентов корреляции сети от количества скрытых нейронов и от количества переобучений сети.

Ключевые слова: нейронная сеть, neural network toolbox, скрытые нейроны, переобучение нейросети.

Нейронные сети широко используются для решения разнообразных задач. Среди областей применения нейронных сетей - автоматизация процессов распознавания образов, прогнозирование, адаптивное управление, создание экспертных систем, организация ассоциативной памяти, обработка аналоговых и цифровых сигналов и пр. [2]. В данной работе исследовалась возможность применения нейронной сети для аппроксимации функций многих аргументов с нелинейными связями.

Для выполнения задачи использовался инструмент Neural Network Toolbox (NNT) MATLAB, содержащий средства для проектирования, моделирования, разработки и визуализации нейронных сетей. При подготовке обучающих выборок использовался пакет Excel. Известны сложности в построении и обучении нейронных сетей, связанные с неопределенностью задания числа слоев персептрона, оценки эпох обучения и появления эффекта переобученности.

В задачи настоящей работы входило: выявить зависимости коэффициентов корреляции исходной и проверочными выборками с аппроксимирующими зависимостями от количества скрытых нейронов в сети; выявить зависимости этих коэффициентов корреляции от количества переобучений сети. При этом на втором этапе количество скрытых нейронов в слое не менялось.

Объектом прогнозирования являлись результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния крестообразного сварного соединения с непроваром, в частности, коэффициенты концентрации упругих и упругопластических деформаций и их градиенты [1]. Теоретический коэффициент концентрации представляет собой функцию пяти аргументов, полученную по результатам расчета 24 моделей. Назовем ее выборка α . Коэффициент концентрации упругопластических деформаций представляет собой функцию семи аргументов, полученную по результатам расчета 94 моделей. Назовем ее выборка K_e .

Исследование проводилось в следующем порядке. После запуска пакета Neural Network Toolbox, выбирался графический интерфейс, решающий задачу аппроксимации функции (Fitting Tool). Формировалась однонаправленная сеть с обратным распространением ошибки, сигмоидальной функцией передачи в скрытом слое и линейной функцией передачи в выходном слое. Эта структура хорошо подходит для аппроксимации функций. Сеть состоит из входного, выходного и скрытого слоев (рис. 1).

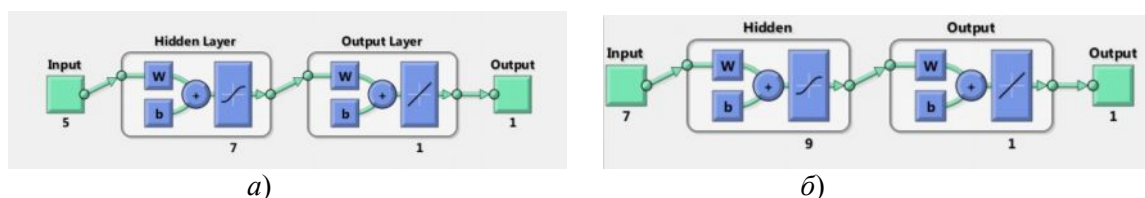


Рис. 1. Схема сети для выборки α - а) и выборки K_e - б)

Входные и выходные векторы загружались из предварительно сформированного в Excel файла. Исходные выборки разбивались случайным образом на три подмножества: Training 70%, (обучение), Testing 15% (тестирование), Validation 15% (общая оценка работы сети). Количество нейронов в скрытом слое менялось на каждом этапе тренировки сети, то есть при каждом запуске Train. Обучение останавливается тогда, когда обучающая способность сети перестанет улучшаться, что характеризуется увеличением среднеквадратической ошибки на валидационном наборе данных. В результирующем окне мы можем видеть архитектуру нашей сети, количество нейронов, параметры алгоритма. На рис. 2 приведен пример результата обучения – линии регрессии и точки выборок со значениями коэффициентов корреляции: R1 (Training), R2 (Validation), R3 (Test), R4 (All).

Изменения значений коэффициентов корреляции от количества скрытых нейронов в слое после каждого обучения с увеличиваемым количеством скрытых нейронов записывали и анализировали.

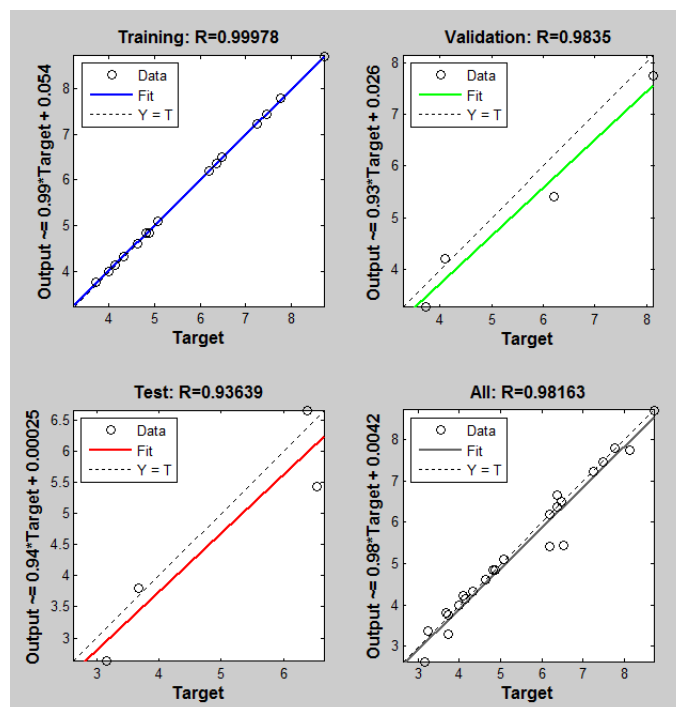


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между исходными выборками и настройками сети

На графиках, показанных на рис. 3, *а*, представлены линии регрессии с соответствующими аппроксимируемыми точками для выборки α . Видно, что сеть имеет достаточно хорошие показатели обученности при числе нейронов в слое равное 2, 7, 15. Увеличение числа нейронов более 15 разбалансирует сеть.

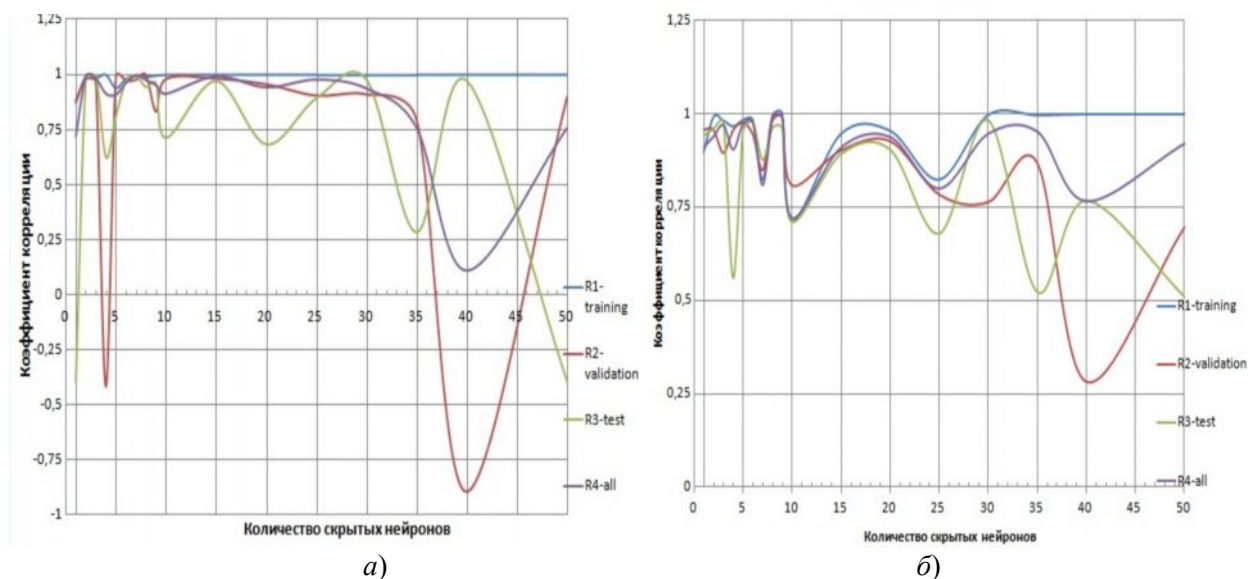


Рис. 3. Изменение коэффициентов корреляции от количества скрытых нейронов в слое для выборки α - *а*) и выборки K_e - *б*)

Для выборки K_e наилучшей архитектурой являются сети с 6, 8, 9 нейронами в скрытом слое (рис. 3, *б*).

Далее для выборок α и K_e исследовали влияние числа переобучений сети на ее обученность к наилучшей аппроксимации данных. На рис. 4 показана зависимость коэффициентов корреляции от числа переобучений для выборки α с 2-мя скрытыми нейронами. Наилучшая обученность сети наблюдается при числе переобучений от 4 до 12. В дальнейшем наступает эффект переобучения сети.

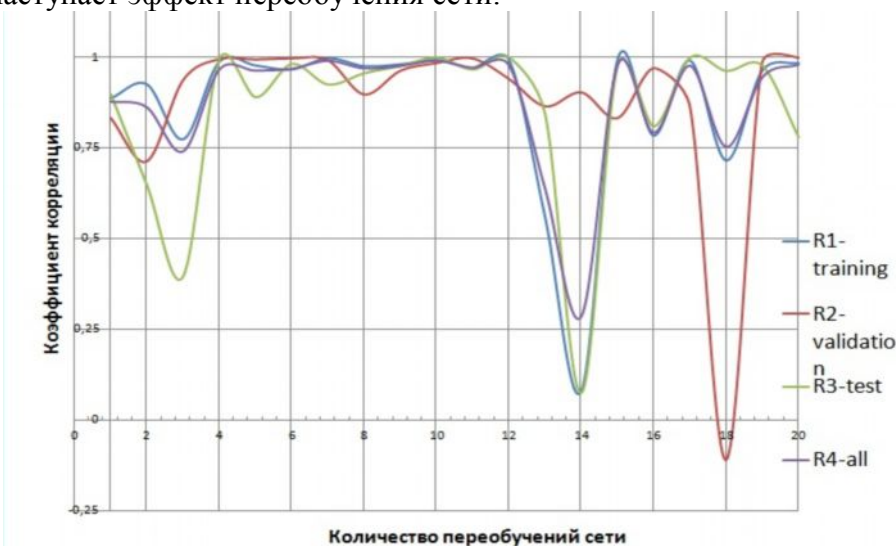


Рис. 4. Зависимость коэффициентов корреляции от числа переобучений для выборки α с 2-мя скрытыми нейронами

Окончательный вывод о сети с наилучшей комбинацией числа нейронов в скрытом слое и числа обучений делался тестированием каждой такой сети на исходной выборке по наибольшему значению коэффициента корреляции между исходными данными и аппроксимирующей кривой (рис. 5). Таким образом, для выборки α отбиралась лучшая сеть из комбинаций 2, 7, 15 нейронов в скрытом слое с числом переобучений каждой в интервале от 4 до 12 переобучений. Лучший результат был получен при 7-ми скрытых нейронах и 6-ти переобучениях (рис. 5, а).

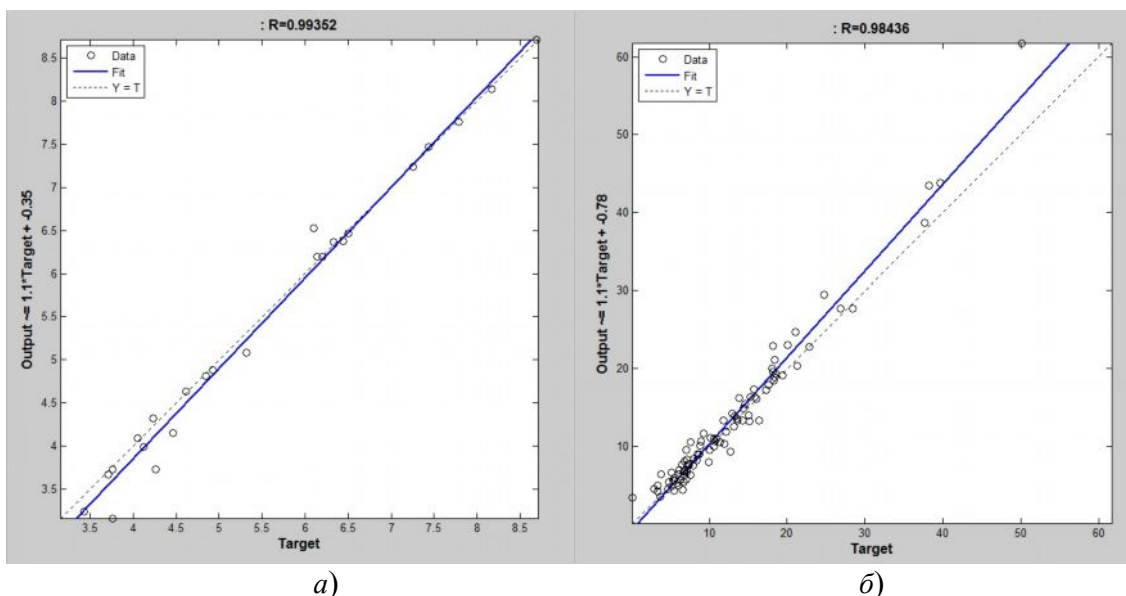


Рис. 5. Лучший результат тестирования для выборки α - а) и выборки K_e - б)

Аналогичная процедура производилась для выборки K_e . Лучший результат тестирования оказался при 9-ти скрытых нейронах и 5-ти переобучениях (рис. 5, б).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шлепетинский А.Ю., Манжула К.П. Оценка напряженно-деформированного состояния вершины непровара в крестовом сварном соединении / Современное машиностроение. Наука и образование: Материалы 3-й Международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 1205 с.- С. 1073-1081.
2. С. Хайкин «Нейронные сети. Полный курс», Вильямс, 2006

Сведения об авторах

Манжула Константин Павлович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
Должность: заведующий кафедрой
Электронная почта: manshula@mail.ru

Краснова Екатерина Евгеньевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: madamkatynechka@yandex.ru

АНАЛИЗ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Аннотация. В работе рассматривается вопрос учета нелинейных геометрических связей при расчете сейсмостойкости грузоподъемных кранов общего назначения. Для проведения динамического анализа использован метод конечных элементов. Грузовые канаты и контакт колеса с рельсом моделируются при помощи одномерных элементов с различными жесткостями на сжатие и растяжение.

Ключевые слова: сейсмостойкость, метод конечных элементов, геометрическая нелинейность, стальной канат.

В настоящее время процедура оценки сейсмостойкости грузоподъемных кранов, не относящихся к оборудованию атомных станций, регламентируется документами [2, 4], готовится к выпуску международный стандарт [5]. Основной метод расчета сейсмических нагрузок основан на линейно-спектральной теории сейсмостойкости (ЛСТ) Био-Беньоффа, разработанной в первой половине XX века. Исходными данными для расчета в данном случае является так называемый спектр отклика, в том случае, когда кран установлен на поверхности земли, либо поэтажный спектр, если кран установлен на строительной конструкции. Подробное описание методики представлено, в частности, в [1]. Интенсивность землетрясения характеризуется величиной балльности по шкале MSK-64. Дополнительно указанные стандарты предоставляют возможность производить расчет методом прямого интегрирования дифференциальных уравнений, не устанавливая при этом требований к математической модели и настройкам динамического анализа. Исходными данными для прямого динамического анализа в таком случае являются акселерограммы землетрясений, записанные реальные, либо синтезированные по спектрам отклика.

Сейсмический расчет для крана общего назначения является проверочным и проводится уже при завершенной конструкции (при отсутствии особых требований к сейсмостойкости крана). Также в процессе проектирования грузоподъемной машины, параллельно с конструкторской документацией разрабатываются математические модели для статического и динамического анализа, в настоящее время чаще представленные в виде конечно-элементных (КЭ) моделей. Использование таких уже готовых КЭ моделей для сейсмического расчета было бы предпочтительней составлению новых математических моделей для расчета по ЛСТ. В общем случае, проведение динамического анализа с использованием готовой КЭ модели конструкции может оказаться менее трудоемким, чем проведение анализа по спектрам отклика. Особое внимание при проведении сейсмического анализа грузоподъемной машины следует уделить учету нелинейных связей, таких как контакт колеса с рельсом и одностороннюю работу грузовых канатов только на растяжение.

Проблема учета нелинейной геометрии при сейсмическом анализе грузоподъемных кранов активно обсуждается в научных кругах [6, 7]. Один из вариантов учета нелинейного характера взаимодействия колеса с рельсом, представленный в [6], использует метод многотельных систем (MultibodyDynamicsSimulation), заключающийся в исследовании взаимодействия совокупности абсолютно твердых тел. Данный метод подходит для конструкций, имеющих собственные частоты колебаний выше, чем диапазон частот землетрясений, либо когда элементы конструкции сочленены друг с другом таким образом, что упругие колебания отдельных элементов не оказывают значительного влияния на колебательный процесс системы в целом.

Особую задачу представляет собой составление математической модели для сейсмического анализа портального крана. Очевидно, что приведение модели к линейному осциллятору даст возможность лишь грубо оценить сейсмические нагрузки. Особенности конструкции портальных кранов весьма разнообразны, взаимосвязи узлов крана значительно влияют на собственные частоты и формы, а составление математической модели, учитывающей характер взаимодействия элементов, может стать достаточно сложной задачей.

В данной работе приводится пример сейсмического расчета портального крана с геометрически нелинейными связями на основе КЭ модели.

Кран портальный перегрузочный КППГ 8-30-10,5К "Восход Р 300" производства КТБ «Технорос» предназначен для перегрузки нефтяного кокса при работе с грейфером. Кран предназначен для установки в районах сейсмичностью не более 8 баллов согласно карте ОСР-97А СНиП II-7-81.

Расчетная модель состоит из 25771 элемента и 22196 узлов. Общий вид расчетной модели представлен на рисунке 1. Элементы конструкции портал, платформа, стойка и стрела разбиты на пластинчатые конечные элементы с толщинами, соответствующими толщинам листов реальной конструкции. Такие части крана как коромысло, жесткая оттяжка, рейка, стойки и тяги разбиты на одномерные конечные элементы с заданными сечениями, при этом элементы коромысла имеют переменное сечение по длине. Канаты моделируются при помощи односторонних связей (работающих только на растяжение) с заданной жесткостью. Масса груза вместе с грейфером приведена к оголовку стрелы и задана сосредоточенной массой. Таким образом, исключается учет раскачивания груза при неизменности инерционных сил, действующих на груз, а значит нет необходимости проводить несколько расчетов для разных высот подъема груза. Кабина, машинное помещение, кабина управления, механизм подъема, механизмы передвижения, противовесы заданы сосредоточенными массами. Контакт ходовых тележек с подкрановым рельсом моделируется при помощи односторонних связей с жесткостью на сжатие, на порядки превышающей характерную жесткость конструкции в целом, нулевой жесткостью на растяжение и коэффициентом трения при сдвиге в направлении вдоль рельса равным 0,15 (коэффициент трения стали постали без смазки).

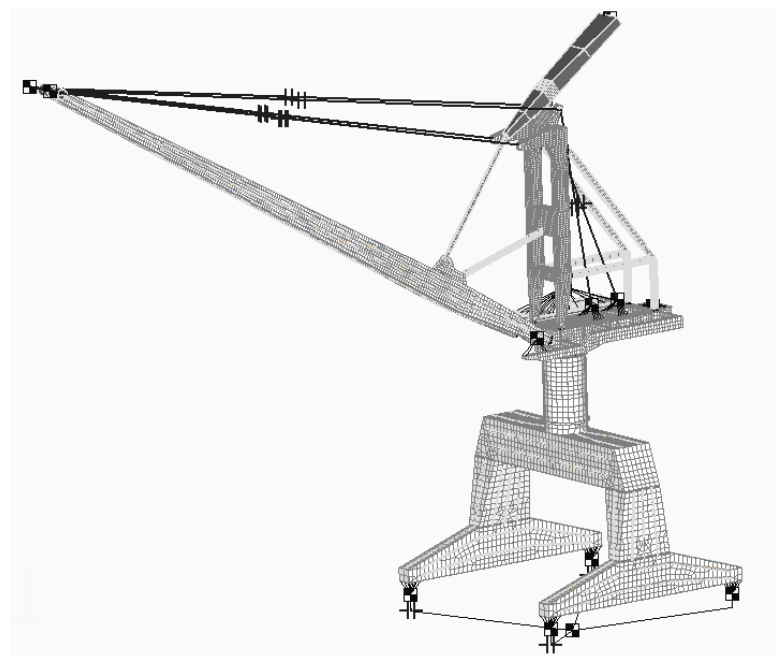


Рис. 1. КЭ модель крана

После проведения модального анализа конструкции была подобрана синтезированная акселерограмма из набора [3], диапазон изменения частот которой охватывал бы как можно больше низших собственных частот колебаний крана.

Результаты расчета показали отсутствие подскока ходовых тележек на рельсе. Коэффициенты динамичности были определены как отношение

$$k = \frac{\sigma^{MAX}}{\sigma^{STAT}},$$

где σ^{MAX} - максимальные напряжения (усилия), полученные в результате сейсмического

анализа; σ^{STAT} - напряжения (усилия), полученные из статического расчета КЭ модели. Надо заметить, сравнение значений напряжений, усилий и перемещений, полученных КЭ анализом с соответствующими величинами, полученными в процессе проектирования крана показали незначительное расхождение в пределах 10%.

В целом, результаты сейсмического анализа показали достаточную сейсмостойкость конструкции крана.

Выводы. Предложенная методика учета нелинейных геометрических связей при сейсмическом анализе грузоподъемных кранов общего назначения позволяет не прибегать к линеаризации модели, неизбежно приводящей к погрешностям результатов расчета. Использование составленной на этапе проектирования КЭ модели является предпочтительным перед составлением динамической системы с несколькими степенями свободы. Прямой динамический анализ сейсмостойкости кранов общего назначения в некоторых случаях является менее трудоемким в сравнении с расчетом согласно ЛСТ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. А.Н. Бирбраер Расчет конструкций на сейсмостойкость [Книга]. - Санкт-Петербург : Наука, 1998.
2. ГОСТ 30546.1-98 "Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости" [Книга]. - Минск : ИПК Издательство стандартов, 1998.
3. Государственные строительные нормы Украины. Защита от опасных геологических процессов, вредных эксплуатационных влияний, от пожара. Строительство в сейсмических районах Украины. ДБН В .1.1-15:2006 [Книга]. - Киев : ГП "Укрархбудинформ", 2006.
4. СНиП II-7-81* Строительство в сейсмически районах [Книга]. - Москва : [б.н.], 2011.
5. ISO/FDIS11031 Cranes — Principles for seismically resistant design [Conference]. - 2013.
6. Kobayashi Nobuyuki [et al.] Nonlinear Seismic Responses of Container Cranes Including the Contact Problem Between Wheels and Rails [Article] // Journal of Pressure Vessel Technology. - 2004. - 126(1).
7. Suzuki Kenichi, Inagaki Masakatsu и Iijima Tadashi Seismic Capacity Test of Overhead Crane Under Horizontal and Vertical Excitation [Статья] // Journal of Disaster Research. - 2010 г.. - No. 4

Сведения об авторах

Гаврилов Петр Александрович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: аспирант

Электронная почта: gavrilov_pa@tehnoros.ru

УДК: 621.8

А.Н. Воропаев, А.В. Плотников, А.В. Стукач

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОЛОДОЧНОГО И ДИСКОВОГО ТОРМОЗОВ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы исследования фрикционных материалов в тормозах. Основным способом исследования является экспериментальное определение коэффициента трения методом непосредственного измерения момента трения, а также снятие температурных характеристик материалов. Экспериментальный стенд, представляющий из себя специально разработанную машину трения, на которой можно проводить испытания современных фрикционных материалов.

Ключевые слова: трение, стенд, моделирование, колодка, тормозной диск, тормоз.

Тормоза являются важным, а в вопросах безопасности ключевым узлом многих видов техники. В настоящее время уделяется значительное внимание исследованиям, направленным на совершенствование конструкций и повышение эффективности тормозных систем, в частности работе [2] акцентировано внимание на необходимость повышения эффективности колодных и дисковых тормозов ГПМ и приведены основные направления современных исследований.

Актуальность исследований направленных на повышение эффективности тормозных устройств заключается в возможности досконального исследования новых материалов предлагаемых для применения, в узлах трения тормозов включая современные безасбестовые и керамические фрикционные материалы, и оценки их эффективности и долговечности.

Целью работы является проектирование стенда, на котором возможно проводить экспериментальное определение коэффициента трения в тормозах колодного и дискового типов, а также испытания фрикционных материалов применяемых в тормозных колодках.

Задачей работы является разработка чертежей общего вида машины трения, рабочих чертежей деталей и выполнение необходимых для проектирования расчетов. Испытательный стенд позволяет моделировать процесс торможения и снимать необходимые характеристики для определения коэффициента трения по одной из методик, изложенных в работе И.В. Крагельского [1]. В основу методики был положен способ определения коэффициента трения по моменту силы трения, поскольку он обеспечивает высокую точность. Суть метода представлена в виде зависимости (1):

$$F \cdot r = J \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где F - сила трения, r - плечо силы трения (радиус барабана/диска), J - момент инерции вращающихся масс. Для вычисления момента силы трения надо знать закон изменения угловой скорости, то есть одним из фиксируемых параметров в установке будет угловая скорость колодки/диска. Так как в процессе торможения происходит переход кинетической энергии в тепловую за счёт трения колодок о барабан или диск, то на коэффициент трения влияет не только скорость вращения, но и температура. К материалам фрикционных накладок предъявляются требования по теплостойкости и стабильности коэффициента трения в заданном диапазоне температур. Из вышеуказанного следует, что вторым фиксируемым параметром является температура различных частей узлов трения.

Конструкция стенда для исследования дисковых и колодных тормозов, разработанная силами авторов, предусматривает возможность изучения физико-механических свойств материалов фрикционных накладок в широком диапазоне скоростей и нагрузок. Для изучения процессов происходящих во фрикционной паре колодка - диск можно применять недавно представленную методику, описанную в работе [3].

Принципиальная схема установки показана на рис. 1. Двигатель - 1, закреплённый в опоре - 2, с помощью ременной передачи - 3 передает вращение на промежуточный вал - 4, который соединяется с рабочим валом - 5, с помощью муфты свободного хода - 6. На рабочем валу закреплены тормозные шкивы 7 и 8. Торможение осуществляется тормозными рамами 9 и 10. Замеры скорости проводятся индуктивным датчиком - 11. Для привода стенда используется электродвигатель постоянного тока СА-189 от электроинерционного стартера РИМ-У-24ИР авиационного мотора АШ-62ИР. Электродвигатель передаёт крутящий момент на первичный вал с помощью ременной передачи, и позволяет уменьшить частоту вращения с 12000 - 18000 об/мин, до 6000-9000 об/мин. Применение двигателя с большой частотой вращения ротора и ременной передачи обосновано необходимостью создания высокой частоты вращения тормозного диска.

Ременная передача рассчитана по методике компании «Optibelt» [5]. Вал ведомого шкива ременной передачи соединён с рабочим валом станда с помощью муфты свободного хода. Такая схема применена для того, что бы обеспечить выключение ременной передачи и электродвигателя из кинематической цепи, после набора необходимой частоты вращения тормозного шкива. Таким образом, из расчёта исключается момент инерции приводных валов, ременной передачи, шкивов, подшипников и ротора электродвигателя, за исключением рабочего вала и его подшипников.

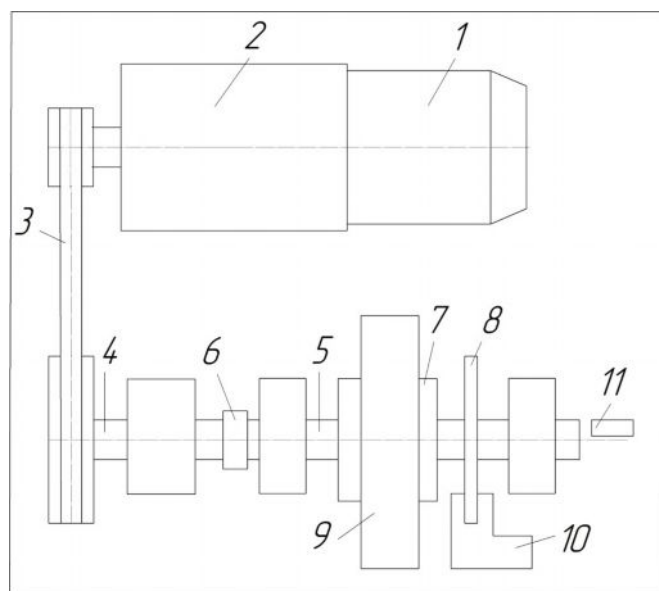


Рис. 1. Принципиальная схема машины трения

Для снятия частоты вращения тормозного шкива используется индуктивный датчик определяющий число прохождения меток на торце рабочего вала. Для измерения температуры - инфракрасный датчик. Торможение осуществляется прижатием тормозных колодок с помощью рамы тормоза применяемого в грузоподъемных кранах, сила прижатия регулируется стандартным методом предварительного поджатия пружин.

Наряду с изучением свойств материалов, стенд можно использовать в качестве учебного оборудования и выполнения лабораторных работ по дисциплине «Трение и износ в машинах». Создание специального стенда, на котором студенты будут иметь возможность имитировать работу тормоза машины, позволит проводить не только лабораторные работы, но и научно-исследовательскую, являющуюся базой для подготовки курсовых проектов, бакалаврских дипломов и магистерских диссертаций.

ЛИТЕРАТУРА:

1. И.В. Крагельский, Трение и износ. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.: Табл. 60, илл. 253, библи. 570 назв.
2. А.Л. Носко, Методы повышения эффективности тормозов при обеспечении безопасности грузоподъемных машин: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.05.04/ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. — М., 2014. — 34 с.
3. Козырев Ю.П., Седакова Е.Б., Стукач А.В., Исследование особенностей структурной агрегации частиц наполнителя в полимерных термопластичных композитах на основе сравнительного анализа размеров частиц износа; Вопросы материаловедения. 2011. № 2 (66). С. 50-56.
4. Справочник по кранам: в 2 т. / под общ. ред. М.М. Гохберга, Т. 2: Характеристики и конструктивные схемы кранов; Крановые механизмы, их детали и узлы; Техническая эксплуатация кранов / [М. П. Александров [и др.]] .— 1988. — 559 с. : ил. ;
5. Каталог «Optibelt. Technical Manual for V-Belt Drives.»

Сведения об авторах

Стукач Александр Васильевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., доцент.

Должность: доцент

Электронная почта: alst2004@mail.ru

Плотников Алексей Владимирович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент

Электронная почта: plot92@mail.ru

Воропаев Алексей Николаевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент

Электронная почта: alxyvrvp@gmail.com

УДК: 621.875.56

А.В. Плотников, Д.Е. Бортяков, А.Н. Орлов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ НАГРУЗОК ПРИ УСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ СИСТЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

Аннотация. В работе исследуется влияние сил инерции, возникающих в системе изменения вылета портального крана в режиме установившегося движения тягового органа на расчетную мощность механизма изменения вылета [2]. Используется математическая модель системы изменения вылета портального крана с нижним уравниванием [2]. В ходе выполнения работы решается задача расчёта кинематических характеристик, оцениваются значения сил инерции и производится силовой расчёт.

Ключевые слова: Портальный кран, система изменения вылета, математическая модель.

Целью работы является исследование инерционных сил в элементах системы изменения вылета (СИВ) портального крана при установившемся (равномерном) движении тягового элемента механизма изменения вылета (МИВ). Подобные оценки ранее не проводились. Предыдущие работы по данной теме изучали силы инерции в СИВ при разгоне/торможении МИВ (неустановившееся движение). При установившемся движении тягового элемента МИВ центры масс элементов СИВ движутся с переменными во времени скоростями, что приводит к возникновению дополнительно сил инерции, зависящих от масс и ускорений [1, 4]. В работах [2, 5] предлагалось рассмотреть их влияние на расчёт мощности механизма изменения вылета.

Задачей работы является применение математической модели в среде MathCAD для определения значений сил инерции и необходимости их учёта в составе сил, нагружающих тяговый элемент МИВ при его установившемся движении. Полученные результаты добавляются в существующее программное обеспечение. Это позволяет дополнить расчёт мощности механизма изменения вылета с учётом сил инерции, возникающих при установившемся движении тягового органа.

Создание математической модели системы изменения вылета стрелового крана с нижним уравниванием подробно описано в работе [2].

Для проверки математической модели графоаналитическим методом были определены скорости и ускорения элементов системы. Результаты сравнения представлены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты сравнения для вылета 10 метров

Параметр	Результат полученный в среде «MathCad»	Результат полученный графоаналитическим методом	Погрешность
Угол наклона противовеса, град	69,548	69,554	0,009%
Скорость изменения вылета, м/с	1,69725	1,69729	0,002%
Вращательное ускорение стрелы, 1/с ²	0,0001414	0,0001411	0,212%

Для оценки сил инерции были выбраны отдельные элементы системы изменения вылета, которые предположительно могут оказать наибольшее влияние. Это элементы с максимальной массой: противовес, стрела и хобот. Силы инерции таких элементов как оттяжка, тяговый элемент механизма изменения вылета (зубчатая рейка), тяга коромысла противовеса можно не учитывать, из-за их малых масс по сравнению с вышеуказанными элементами.

Математическая модель была существенно дополнена для решения поставленных задач. Исходными данными для модели являются геометрические параметры системы изменения вылета, а также скорость тягового элемента механизма изменения вылета. В существующую модель были добавлены разделы для расчёта ускорений вращательного движения противовеса, вращательного движения стрелы. В соответствии со вторым законом Ньютона для стрелы порталного крана

$$M_{ис} = m_c \cdot r_{цтс}^2 \cdot \varepsilon_c,$$

где $M_{ис}$ – крутящий момент относительно корня стрелы, возникающий от силы инерции стрелы; m_c – масса стрелы; $r_{цтс}$ – расстояние до центра тяжести стрелы от корня стрелы вдоль её оси; ε_c – угловое ускорение стрелы. Для противовеса

$$M_{ип} = m_p \cdot r_{цтп}^2 \cdot \varepsilon_p,$$

где $M_{ип}$ – крутящий момент относительно точки крепления подвижного противовеса, возникающий от силы инерции противовеса; m_p – масса стрелы; $r_{цтп}$ – расстояние до центра тяжести до точки крепления противовеса; ε_p – угловое ускорение противовеса.

В связи с тем, что хобот совершает сложное движение с помощью программы, определяются его линейные ускорения вдоль заданных осей. В настоящее время методика расчёта инерционных нагрузок хобота уточняется.

В созданную математическую модель были введены исходные данные описывающие геометрию системы изменения порталного крана, проектирование которого составляет конструкторскую часть магистерской диссертации автора статьи А.В. Плотникова. В работе рассматривается расчетная схема СИВ поворотной части порталного крана с противовесом, размещённым под поворотной платформой (рис. 1). МИВ совмещён с уравнивающим устройством (УУ) [1, 3, 4]. Преимуществом данной схемы, как показали предварительные

расчеты, является снижение центра тяжести portalного крана и соответственно увеличение его устойчивости [1].

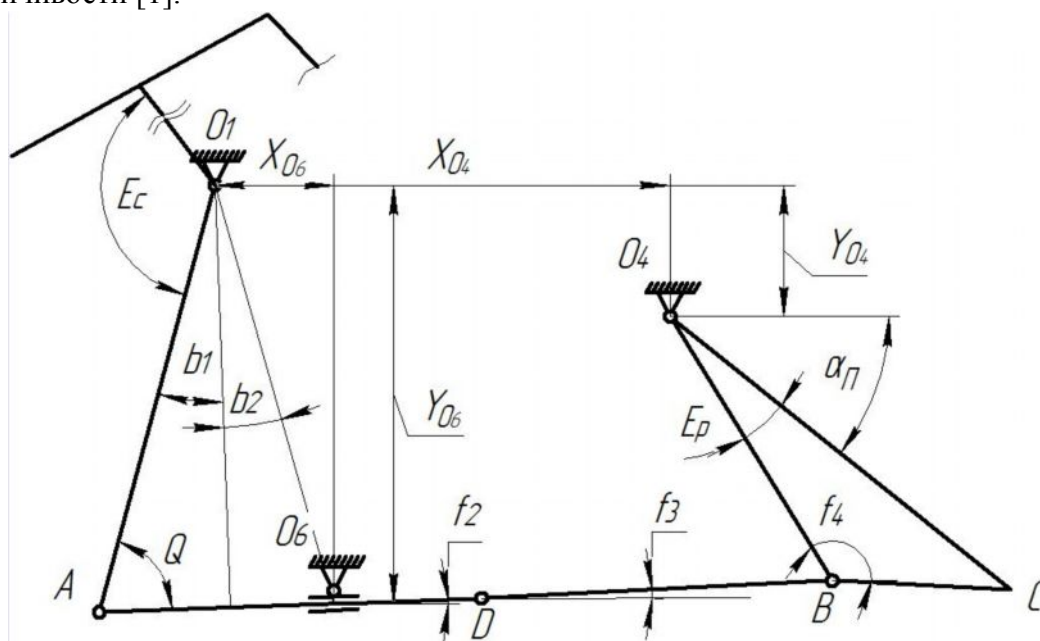


Рис. 1. Схема с расположением уравнивающего устройства под поворотной платформой, совмещённого с МИБ

Рассчитанные моменты были приведены к оси качания стрелы и учтены при расчёте мощности механизма изменения вылета.

Полученные с помощью программы результаты представлены на рис. 2. Для данного крана определено среднеквадратичное статическое усилие в рейке МИБ равное 1200 кН. Максимальное усилие создаваемое инерцией противовеса и стрелы и воздействующее на тяговый элемент механизма изменения вылета в рассматриваемом порталном кране не превышает 0,02% от среднеквадратичного статического усилия. Таким образом установлено, что силы инерции возникающие при устойчивой работе механизма изменения вылета не влияют на усилие в тяговом органе, так как несоизмеримо малы по сравнению с действующими на него силами. Учитывать силы инерции при установившемся движении механизма изменения не имеет практического смысла.

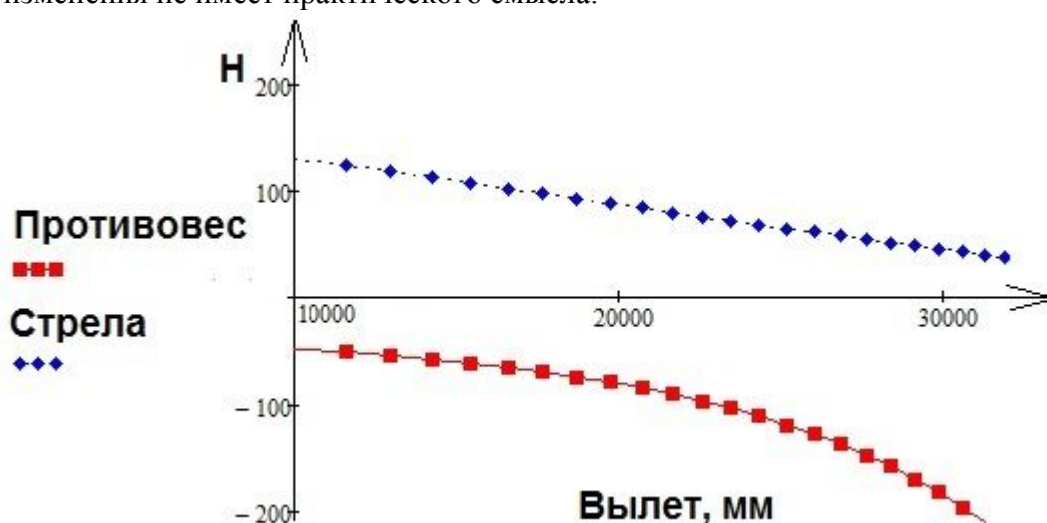


Рис. 2. Усилия, возникающие в тяговом элементе МИБ под воздействием инерционных сил

Так как стрела и противовес совершают вращательное движение вокруг шарниров, дополнительно были оценены силы инерции от центростремительного ускорения, действующие на шарниры. Для данного крана эти силы не превышают 300 Н и, соответственно, не оказывают влияния на шарниры, так как несоизмеримо малы по сравнению с действующими на них силами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бортяков Д.Е. Специальные грузоподъемные машины. Портальные, судовые и плавучие краны: учеб. пособие / Д.Е. Бортяков, А.Н. Орлов; под ред. проф. К.Д. Никитина. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2009. – 160 с.
2. Плотников А.В., Бортяков Д.Е., Орлов А.Н. Математическая модель системы изменения вылета стрелового крана с нижним уравниванием // Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт металлургии, машиностроение и транспорта СПбГПУ. Ч.1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014 – С.286-288.
3. Бортяков Д.Е. Общие расчеты стреловых кранов./ Орлов А.Н., Суфтин С.Г.// Известия ТулГУ. Сер. Подъемно-транспортные машины и оборудование. Вып. 7. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2006. – 297с., 16-31с.
4. Бортяков Д.Е. Моделирование эксплуатационной нагруженности элементов портальных кранов./ Некрасова А.В., Соколов С.А. // Научно-технические ведомости СПбГПУ3' 2008. Информатика. Телекоммуникации. Управление. № 3(60). СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. с. 203-211.
5. Бортяков Д.Е., Хафизов М.Ш. Кинематические исследования схем уравнивающих устройств при установившемся движении системы изменения вылета портальных кранов// XL Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции. Механико-машиностроительный факультет СПбГПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011 – С.224-225.

Сведения об авторах

Бортяков Данил Евгеньевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., доцент.

Должность: доцент

Электронная почта: bortyakov@mail.ru

Плотников Алексей Владимирович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент

Электронная почта: plot92@mail.ru

Орлов Алексей Николаевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., профессор.

Должность: профессор

Электронная почта: - ptsm@mail.ru

ОЦЕНКА ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ КРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Разработана методика оценки предельной пластической деформации, на основании численного анализа локального напряженно-деформированного состояния элемента конструкции.

Ключевые слова: предельная пластическая деформация, стальные конструкции.

Крановые металлические конструкции в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному переменному нагружению с пиковыми перегрузками, воздействию низких климатических температур, а также коррозионному воздействию среды. Для обеспечения надежности конструкции в условиях эксплуатации ее размеры и конфигурация выбираются на стадии проектирования с учетом условий прочности. При этом инженерные расчеты на прочность строятся на предположении о том, что материал конструкции обладает достаточной пластичностью, чтобы нивелировать влияние концентраторов и полей остаточных сварочных напряжений. Единственным методом подтверждения этого условия, имеющимся в распоряжении инженера, является выбор стали, обеспечивающей достаточно высокое значение ударной вязкости при отрицательной температуре [1, 2, 3]. Однако этот подход, базирующийся на испытаниях стандартных образцов по ГОСТ 9454, не учитывает фактические условия деформирования и особенности структуры материала в сварном узле. Это снижает надежность конструкций. Как показывает опыт, при стечении ряда неблагоприятных факторов запас пластичности материала оказывается не достаточным, в результате чего происходит хрупкое разрушение. Этот вид повреждения особенно опасен, так как может происходить при номинальных напряжениях ниже допускаемых и вызывать резкое снижение несущей способности элемента конструкции. Применительно к конструкциям грузоподъемных машин это чревато большими экономическими потерями и угрозой для жизни людей.

Целью работы является разработка методики оценки предельной пластической деформации, на основании численного анализа локального напряженно-деформированного состояния элемента конструкции.

Как показано в работе [4], предельное значение пластической деформации зависит от коэффициента жесткости напряженного состояния. Коэффициент жесткости напряженного состояния является функцией трех переменных - трех главных напряжений:

$$\eta = \sigma_1 / \sigma_{es} = \frac{\sqrt{2}\sigma_1}{\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{(1 - \sigma_2 / \sigma_1)^2 + (\sigma_2 / \sigma_1 - \sigma_3 / \sigma_1)^2 + (\sigma_3 / \sigma_1 - 1)^2}}, \quad (2.1)$$

где σ_{es} – эквивалентное напряжение по энергетической теории прочности.

Расчет коэффициента жесткости напряженного состояния производится с помощью метода конечных элементов. На рис. 1 графики зависимости η от σ_2 / σ_1 представлены набором кривых построенных при постоянных значениях $\sigma_3 / \sigma_1 = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$.

При одноосном напряженном состоянии (когда $\sigma_2 / \sigma_1 = \sigma_3 / \sigma_1 = 0$) коэффициент жесткости напряженного состояния $\eta = 1$, при появлении двух ненулевых составляющих

тензора главных напряжений η увеличивается и при равенстве всех компонент тензора главных напряжений стремится к бесконечности.

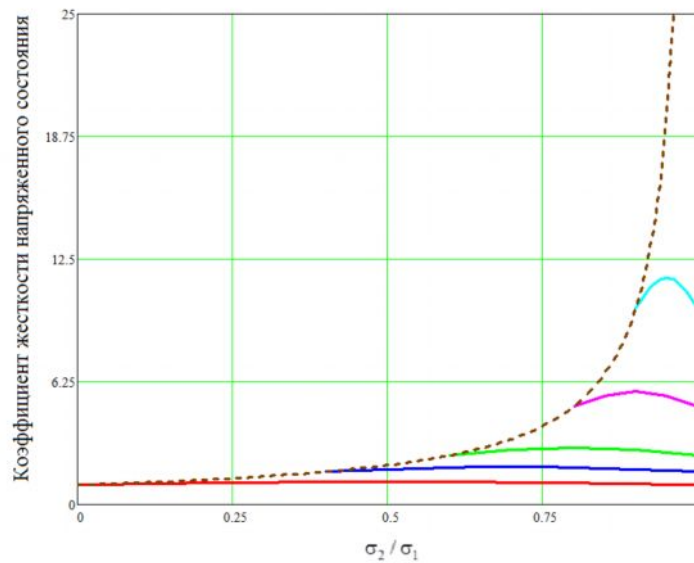


Рис. 1. Графики зависимостей η от σ_2 / σ_1 при различных постоянных значениях σ_3 / σ_1 .

Огибающая функция $\eta(\sigma_2 / \sigma_1)$, показывающая максимальные значения коэффициента жесткости напряженного состояния для каждого значения σ_2 / σ_1 , определяется из условия $\sigma_2 = \sigma_3$ и имеет следующий вид:

$$\eta = \frac{1}{1 - \sigma_2 / \sigma_1} \quad (2.2)$$

График зависимости (2.4) показан на рис 2. пунктирной линией.

Значение предельной пластической деформации при разрушении ε_{pc} может быть вычислено по методике Н.А. Махутова [5] как

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{p1} D_e, \quad (2.3)$$

где ε_{p1} — предельная интенсивность пластической деформации, определенная при одноосном растяжении образца цилиндрической формы; D_e — коэффициент снижения предельной пластической деформации.

Коэффициент снижения предельной пластической деформации рассчитывается как:

$$D_e = \frac{k_D}{\eta \cdot \left(1 + \frac{\sigma_2}{\sigma_1} + \frac{\sigma_3}{\sigma_1} \right)} \quad (2.4)$$

где; k_D — коэффициент, зависящий от материала (для малоуглеродистой стали $k_D = (1,0 - 1,2)$); $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — главные напряжения в зоне концентратора.

Зависимость коэффициента снижения предельной пластической деформации D_e от коэффициента жесткости напряженного состояния на рис. 2. D_e представлен набором

кривых построенных при постоянных значениях $\frac{\sigma_3}{\sigma_1} = 0; 0,1; 0,2 \dots 0,6$. Из построений следует, что коэффициент снижения предельной пластической деформации D_e при одном и том же значении η может принимать бесконечное количество значений, лежащих в пределах интервала, указанного на рис. 2.

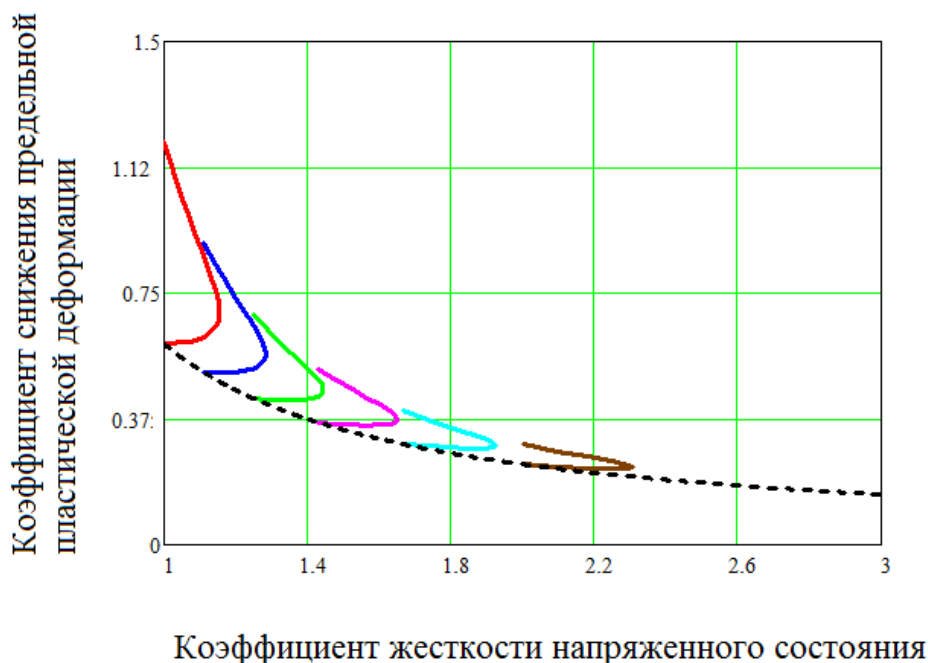


Рис. 2. Зависимость коэффициента снижения предельной пластической деформации D_e от коэффициента жесткости напряженного состояния η

Минимальное значение коэффициента снижения интенсивности пластической деформации соответствует значению $\sigma_2 = \sigma_1$, тогда согласно (2.1) и (2.4):

$$D_{e \min} = \frac{k_D}{3\eta - 1} . \quad (2.5).$$

Зависимость (2.5) обозначена на рис. 2 пунктирной линией.

В соответствии с (2.3) и (2.5) выражение для минимальной пластической деформации принимает вид:

$$\varepsilon_{p \min} = \varepsilon_{p1} D_{e \min} \quad (2.6)$$

Таким образом, зависимость (2.6) позволяет дать приближенную оценку минимального значения интенсивности пластической деформации на основе численного анализа локального напряженного состояния элемента конструкции. Это значение можно использовать при расчете конструкций для прогнозирования возможности разрушения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. РД 24.090.52-90. Подъемно-транспортные машины. Материалы для сварных металлических конструкций. М.:ВНИИПТМАШ, 1990.

2. Federation Europeenne de la manutention. Section I: FEM 1.001. Rules for the design of hoisting appliances. 3rd Edition, 10.1998
3. ISO 20332. Cranes - Proof of competence of steel structures. First edition 2008-12-15.
4. Плотников Д.Г., Соколов С.А. Анализ пластических свойств сварных соединений/ Неделя науки СПбГПУ материалы научно-практической конференции с международным участием. - Санкт-Петербург, 2014. С. 278-280
5. Махутов Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность; - М.: Машиностроение, 1981. - 272 с.

Сведения об авторах

Плотников Дмитрий Георгиевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: аспирант
Электронная почта dg-plotnikov@mail.ru

Соколов Сергей Алексеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
Рабочий адрес: 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: sokolov-sa@rambler.ru

УДК 539.421

И.Н. Зайцев, К.П. Манжула

РАЗВИТИЕ ТРЕЩИНЫ В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ С НЕПРОВАРОМ ПРИ ДЕЙСТВИИ СДВИГА

Аннотация. В работе представлены результаты моделирования роста трещины при действии сдвиговых нагрузок, в области упругопластических деформаций. На каждом шаге нагружения исследовано напряжённо-деформированное состояние в вершине трещины, определены параметры механики разрушения, значения коэффициентов интенсивности напряжений (КИН), J-интеграла, угла роста трещины.

Ключевые слова: трещина, коэффициент интенсивности напряжений, продольный сдвиг, траектория трещины, непровар.

В металлоконструкциях различных машин часто встречаются сварные соединения с непроварами, испытывающие сложное циклическое нагружение. Моделирование направления роста трещин с учетом конструктивно-силовых факторов, исследование критериальных характеристик их распространения представляет известные сложности [1, 2]. В настоящее время проведено достаточное количество исследований трещин нормального отрыва в соединениях с непроваром [3], однако трещины поперечного сдвига слабо изучены.

В ходе работы с помощью программного комплекса ANSYS MULTIPHYSICS строилась конечно-элементная модель сварного крестообразного соединения с трещино-подобным непроваром (рис. 1). В окрестности вершины трещины строилось два слоя сингулярных элементов, на берегах трещины моделировалось контактное взаимодействие с использованием специальных конечных элементов типа TARGET169, CONTA172 и коэффициентом трения скольжения $\mu=0.15$. В качестве материала выбрана сталь 09Г2С, упругопластические свойства материала заданы степенной диаграммой деформирования.

Механические свойства металла шва принимались такими же, как и у основного металла. Рост трещины моделировался дискретными шагами, размером 1,0 мм. На каждом шаге моделирования конечно-элементная сетка перестраивалась, определялись коэффициенты интенсивности напряжений K_I и K_{II} с помощью команды KCALC и траектория роста трещины в направлении площадок, на которых касательные напряжения равнялись нулю. Также определялся эквивалентный коэффициент интенсивности K_{eq} напряжений, как корень квадратный из суммы квадратов катетов K_I и K_{II} .

В процессе работы для каждого приращения трещины определялись параметры НДС в вершине трещины (рис. 2), значения коэффициентов интенсивности напряжений методом аппроксимации перемещений берегов трещины [4], значения инвариантного J-интеграла, размер зоны пластической деформации, направление роста трещины (табл. 1, табл. 2)

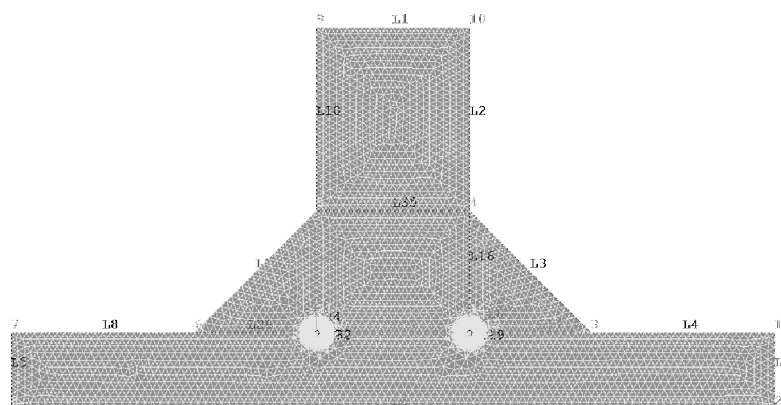


Рис. 1. Конечно-элементная модель исследуемого сварного крестового соединения с непроваром

На рис. 2 представлено распределение полных касательных деформаций на первом шаге нагружения.

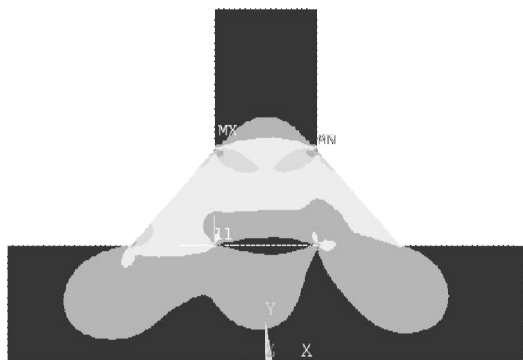


Рис. 2. Поля XY- касательных полных деформаций, на первом шаге нагружения

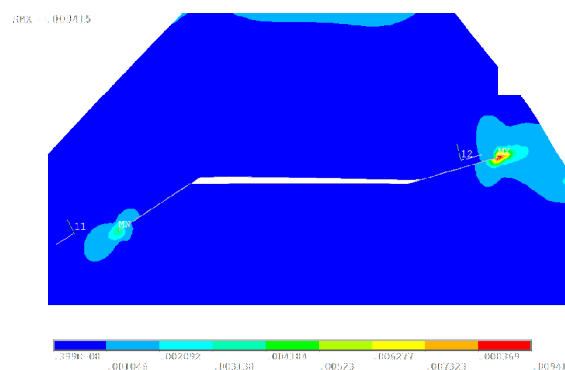


Рис. 3. Распределение интенсивности полных деформаций на 7шаге нагружения.

На рис. 3 представлено поле интенсивности полных деформаций. Как видно, в правой вершине значения интенсивностей полных деформаций выше и равны 0.0094, а в левой вершине - всего 0.0031.

В таблицу 1 занесены значения определяемых параметров для левой вершины трещины. В таблице 2 - результаты для правой вершины.

Табл. 1. Сводная таблица результатов исследования для левой вершины трещины

Длина трещины, мм	K_I , $\text{МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$	K_{II} , $\text{МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$	K_{eq} , $\text{МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$	J-интеграл	Угол наклона трещины к горизонту, град
10	3.577	3.724	5.164	101.822	210.06
11	3.026	4.732	5.616	91.819	209.98
12	3.157	5.029	5.938	111.295	209.00
13	3.398	5.534	6.494	129.283	210.08
15	3.896	6.458	7.543	166.352	210.10
17	4.375	7.487	8.672	210.342	210.06
18	4.679	8.12	9.372	238.763	210.05

Табл. 2. Сводная таблица результатов исследования для правой вершины трещины

Длина трещины, мм	K_I , $\text{МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$	K_{II} , $\text{МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$	K_{eq} , $\text{МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$	J-интеграл	Угол наклона трещины к горизонту, град
10	0.106	4.784	4.785	78.297	15.03
11	1.346	5.531	5.692	103.837	14.95
12	1.529	6.031	6.222	131.830	14.9
13	1.755	6.883	7.104	163.429	15.05
15	2.392	9.280	9.583	257.426	15.03
17	3.353	12.921	13.322	416.864	14.9
18	4.151	15.824	16.353	551.701	15.01

На рисунках 4-5 представлены графики зависимостей КИН и J-интеграла, в зависимости от длины трещины.

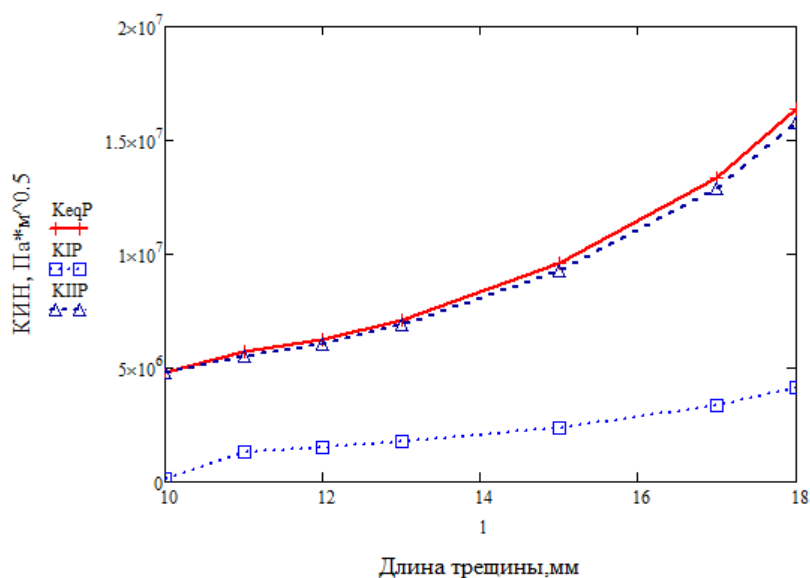


Рис. 4. График зависимости КИН в правой вершине, от длины трещины

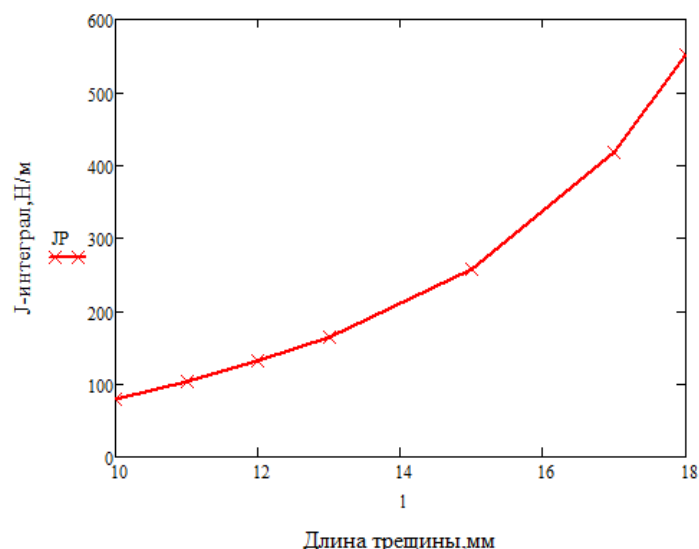


Рис. 5. График зависимости J-интеграла в правой вершине, от длины трещины

Результаты исследований показывают неоднородность условий для страгивания и развития трещины у левой и правой вершин. Так, если условия страгивания предпочтительнее у левой вершины, то при прорастании трещины на 1 мм развитие ее от правой вершины становится более предпочтительным. На это указывают значения КИН и J интеграла.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пестриков В.М., Морозов Е.М. Механика разрушения твердых тел: курс лекций. СПб.: Профессия, 2002.- 320 с.
2. Матвиенко Ю.Г., Бубнов М.А., Нестеренко Г.И. Осреднение напряжений в поиске траектории трещины. Вестник научно-технического развития № 12 (52), 2011.
3. Шлепетинский А.Ю., Манжула К.П. Определение коэффициентов интенсивности напряжений в сварных соединениях металлоконструкций строительных машин с острым непроваром/ Вестник ПНИПУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2012. - №1. – С. 160 – 167.
4. Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. Изд. стереотип. М.: ЛЕНАНД, 2014.
5. Release 10.0 Documentation for ANSYS // [Электронная библиотека HELP] /Ansys, Inc.,2005.- URL:<http://www.ansys.com>

Сведения об авторах

Зайцев Иван Николаевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: ivan.zajtsev2012@yandex.ru.

Манжула Константин Павлович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., проф.

Должность: заведующий кафедрой ТТС, ИММиТ.

Электронная почта: manshula@mail.ru

СРАВНЕНИЕ ПОРТАЛОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Приведён обзор конструкций порталов порталных кранов, рассмотрены вопросы их проектирования. Разработаны оптимальные конструкции порталов двух типов для порталного крана с грузовым моментом 1280 кН·м. Анализ напряженно-деформированного состояния выполнен методом конечных элементов. Проведен сравнительный анализ полученных конструкций по условиям металлоемкости, жесткости и технологичности.

Ключевые слова: кран, портал, метод конечных элементов.

Основной опорной металлоконструкцией порталных кранов является портал. Как и ко всем металлоконструкциям, к ним предъявляются требования прочности, устойчивости (общей и местной), жёсткости, технологичности, сопротивлению усталости. На сегодняшний день существует довольно много видов конструкций порталов. Такое разнообразие обусловлено различными требованиями к кранам и порталам, применением различных технологий и опытом конструкторских и проектных организаций. Тенденцией мирового краностроения является сокращение четырёхстоечных порталов и увеличение двухстоечных и рамно-башенных [1].

Обзор последних моделей порталных кранов фирм ЗАО «СММ» и ОАО «Технорос» показал, что наибольшее распространение получили порталы двух типов: рамно-раскосный и рамно-башенный. Такие названия порталы получили из классификации по способу образования конструкции. Рамно-раскосный формируется из стержневых элементов, соединённых сваркой или фланцами с болтовыми соединениями. Рамно-башенный состоит из преимущественно листовых сварных элементов, образующих цилиндрическую “башню”, к которой крепится поворотная часть порталного крана, и четырехопорной рамы. Актуальность работы состоит в комплексном сравнительном анализе конструкций, выполненном с применением метода конечных элементов, что существенно повышает надежность расчета по сравнению с аналитическим, использованным в работах [2, 3]. Такие расчёты занимали много времени, были менее точными и, при наличии статической неопределимости конструкции, весьма громоздкими.

Целью работы является получение массовых, технологических и жесткостных характеристик порталов на основе полученных результатов расчёта методом конечных элементов. Порталы проектируются под конкретный порталный кран грузоподъемностью 32 т на вылете 40 м в грейферном режиме и 80 т на вылете 16 м в крюковом режиме.

Задача работы заключалась в создании конечно-элементных моделей порталов, определении нагрузок на портале с учетом погрешности основания, выборе оптимальных сечений из расчётов на прочность и местную устойчивость. Для выбора материала использован ГОСТ 32578-2013 [6]. Нагрузки, действующие на портал со стороны поворотной части, вычислены в соответствии с требованиями ГОСТ 32579-2013 [7]. Для этого была составлена таблица нагрузок. Для расчета параметров поля напряжений разработаны конечно-элементные модели порталов в пакете программ MSC.visualNASTRANforWindows, состоящей из программы интерактивного создания и сопровождения расчётной модели FEMAP и программу анализа MSC/NASTRAN. Для рамно-раскосного портала применялись одномерные конечные элементы (LineElements), которые используются для моделирования ферменных конструкций, балок, стержней и др. [4] (рис.1). Для рамно-башенного применялись двумерные элементы (Plateelement), используемые при моделировании

мембран, оболочек и пластин [4] (рис. 2). Граничные условия (Constraints) сформированы в соответствии с рекомендациями [5], где рассмотрены принципы моделирования условий опирания четырехопорных конструкций на рельсовый путь. Для получения оптимальной конструкции свойства и размеры элементов корректировались исходя из полученных распределений напряжений и перемещений.

В результате работы были созданы модели рамно-раскосного и рамно-башенного порталов, удовлетворяющие требованиям прочности, общей устойчивости конструкции и местной устойчивости элементов. Как видно из сводной таблицы (табл. 1) масса рамно-башенного портала в 1,44 раза больше рамно-раскосного. Вертикальная жесткость рамно-башенного портала в 6-7 раз больше, что приведет к большей чувствительности к неточностям пути. Однако существенно меньше угловая жесткость. Это приведет к значительным перемещениям конца хобота на больших вылетах. Технологичность рамно-башенного портала выше, так как при его изготовлении можно использовать более производительную автоматическую сварку. Кроме того в нем применена меньшая номенклатура проката. Рамно-раскосный портал состоит из большего числа элементов, что затрудняет его сборку.

С учетом отмеченных достоинств и недостатков рассмотренных конструкций каждый изготовитель может осуществить рациональный выбор конструкции.

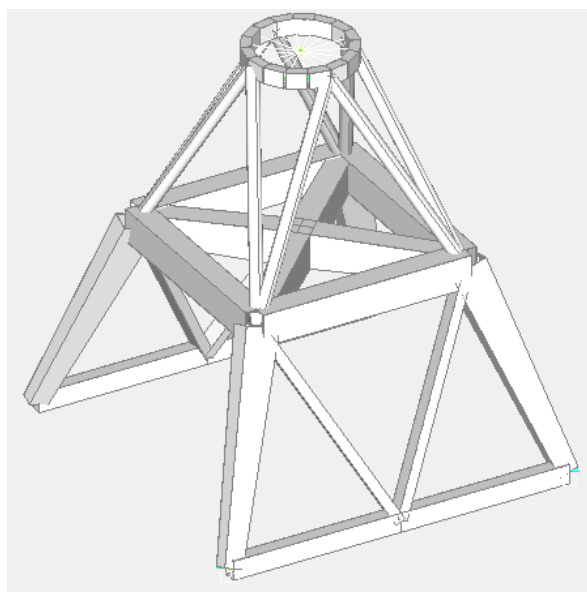


Рис. 1. Модель рамно-раскосного портала

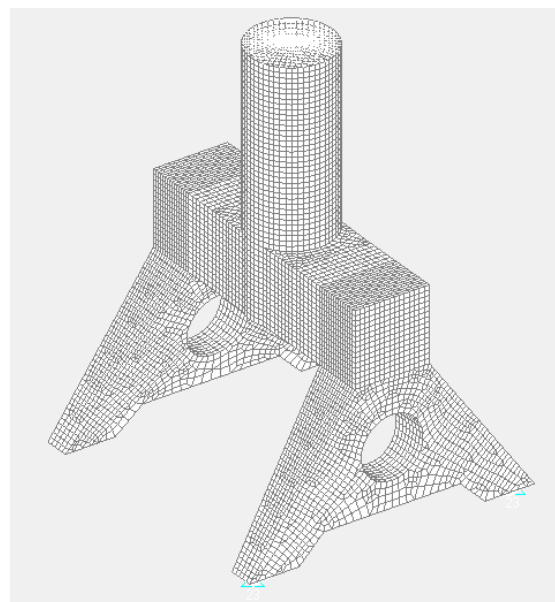


Рис. 2. Модель рамно-башенного портала

Табл. 1. Сравнение порталов

	Рамно-раскосный	Рамно-башенный
Масса, т	45	65
Вертикальная просадка, мм	39	6
Угловое смещение относительно вертикальной оси, град	0,038	0,141
Технологичность сборки	Много фланцевых соединений, много стержневых элементов	Листовая конструкция.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бортяков Д.Е. Специальные грузоподъемные машины. Портальные, судовые и плавучие краны: учеб. пособие / Д.Е. Бортяков, А.Н. Орлов; под ред. проф. К.Д. Никитина. – СПб.: Политехника, 2009. – 160 с.
2. Нгуен Ким Кхань. Исследование оптимальных металлических конструкций рамных порталов порталных кранов: дис. канд. техн. наук. ЛПИ, Л., 1984, 237 с.
3. Недоводеев В.Я., Серлин Л.Г. Расчет двухстоечного портала крана на колонне как пространственной статически неопределимой системы // Металлические конструкции кранов. Исследование конвейеров/ЛПИ. Л., 1980. С. 120— 150. Деп. в ЦНИИТЭИтяжмаше. 28.05.80, № 577.
4. Рычков С.П. MSC.visualNASTRANforWindows – М.: НТПресс, 2004 – 552 с.: ил.
5. Соколов С.А. Строительная механика и металлические конструкции машин: учебник – СПб.: Политехника, 2011. – 450 с.: ил.
6. ГОСТ 32578-2013 Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Требования к материалам.
7. ГОСТ 32579-2013 Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок.

Сведения об авторах

Соколов Сергей Алексеевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: д.т.н., профессор.

Должность: профессор

Электронная почта: sokolov_sa@rambler.ru

Воропаев Алексей Николаевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: alxuyvrv@gmail.com

УДК: 621.8

С.В. Краснова

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ НАПРАВЛЯЮЩИХ КОРОБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ

Аннотация. Работа посвящена исследованию напряженного состояния направляющих коробчатого сечения, используемых для передвижения подвесных кранов, талей и грузовых тележек. В рамках данного проекта выполнен анализ известных методов расчета и проектирования направляющих коробчатого сечения, даны рекомендации по совершенствованию существующих методик вычисления параметров напряженного состояния в зоне местного давления колес. Результаты работ предназначены для использования при проектировании направляющих для интенсивно эксплуатируемых машин.

Ключевые слова: кран, балка, метод конечных элементов, местное напряжение, прочность.

Для таких машин, как подвесные краны, тали и грузовые тележки в качестве путей используются направляющие таврового или коробчатого сечения, по нижним поясам которых движутся ходовые колеса. Данное конструктивное решение отличается простотой и удобством, а также обеспечивает компактность и минимальную массу конструкции. При проектировании направляющих необходимо обеспечить прочность зоны пояса, где

действуют высокие местные напряжения от давления ходовых колес. За счет влияния локальных нагрузок напряженно-деформированное состояние направляющих имеет свои особенности и на сегодняшний день изучено недостаточно. Именно это, несмотря на перечисленные выше достоинства рассматриваемых конструкций, препятствует их использованию для машин тяжелого режима работы.

Напряженное состояние, прочность и сопротивление усталости направляющих таврового сечения были исследованы в работах [1, 4, 5]. Целью настоящего исследования является проверка существующих методов расчета направляющих коробчатого сечения и разработка рекомендаций по их совершенствованию. Для достижения поставленной цели выполнены следующие работы:

1. Осуществлена серия конечно-элементных расчетов моделей, позволяющих оценить влияние конфигурации и геометрических параметров направляющей на ее напряженное состояние.
2. Проанализированы существующие методики расчета направляющих коробчатого сечения на прочность и их результаты сопоставлены с данными численных экспериментов.
3. Разработаны предложения по совершенствованию методик расчета направляющих коробчатого сечения.

Как показывают расчеты, наибольшие напряжения в поясе коробчатой направляющей возникают в точках 1 и 2 (рис. 1, а). Местные напряжения, действующие в этих точках, определяются как

$$\sigma_{xi} = k_{xi} \frac{F}{t_f^2}; \quad \sigma_{yi} = k_{yi} \frac{F}{t_f^2}.$$

где i - номер расчетной точки; F – нагрузка, создаваемая одним ходовым колесом; t_f – толщина пояса; k_{xi} , k_{yi} – расчетные коэффициенты, зависящие от положения пятна контакта колеса с поясом.

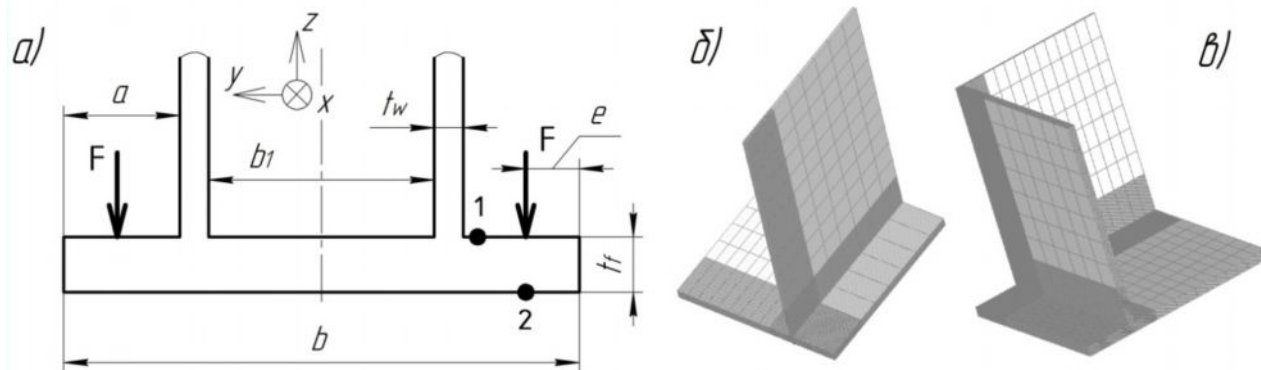


Рис. 6. Схема местного нагружения направляющей коробчатого сечения (а) и конечно-элементные модели (б, в)

Известно несколько методик расчета местных напряжений, которые отличаются формулами для определения расчетных коэффициентов k_{xi} и k_{yi} . В данной работе рассмотрены две из них [2] и [3].

Исследование напряженно-деформированного состояния направляющих коробчатого сечения было выполнено методом конечных элементов. При этом рассматривались модели с отношением толщины стенки к толщине пояса $t_w / t_f = 0,4 \div 0,8$ (при толщине пояса $t_f = 20$ мм), что соответствует реальным конструкциям балок. Положение колеса на поясе варьировалось в диапазоне $e = 5 \div 70$ мм, а ширина свеса была назначена равной $a = 100$ мм. Кроме этого, в моделях изменялось расстояние между стенками b_1 в пределах от 500 до 800 мм (рис. 1, а).

Моделирование и расчет выполнялись в системе Femap with NX Nastran с использованием элементов типа Solid (рис. 1,б). Материал модели считался абсолютно упругим. Нагрузка прикладывалась в узлах в пределах площадки 4х4 мм.

В работе также было исследовано, как изменяется напряженное состояние направляющих в местах установки диафрагм. Для этого были созданы и рассчитаны модели с указанными выше параметрами и диафрагмой толщиной $t_d = 8$ мм (рис. 1, в).

В результате анализа моделей были получены зависимости расчетных коэффициентов от отношения e/a для $t_w = 8, 12$ и 16 мм соответственно. Расчет показал, что расстояние b_l при изменении в указанном выше диапазоне не оказывает влияния на значения коэффициентов k_{xi} и k_{yi} . Полученные коэффициенты были сопоставлены со значениями, вычисленными по методикам [2] и [3]. На рис. 2 представлены графики зависимостей коэффициентов k_{y1} и k_{x2} , значения которых более существенны по сравнению с остальными, что определяет значительный вклад соответствующих местных напряжений в общее напряженное состояние направляющих.

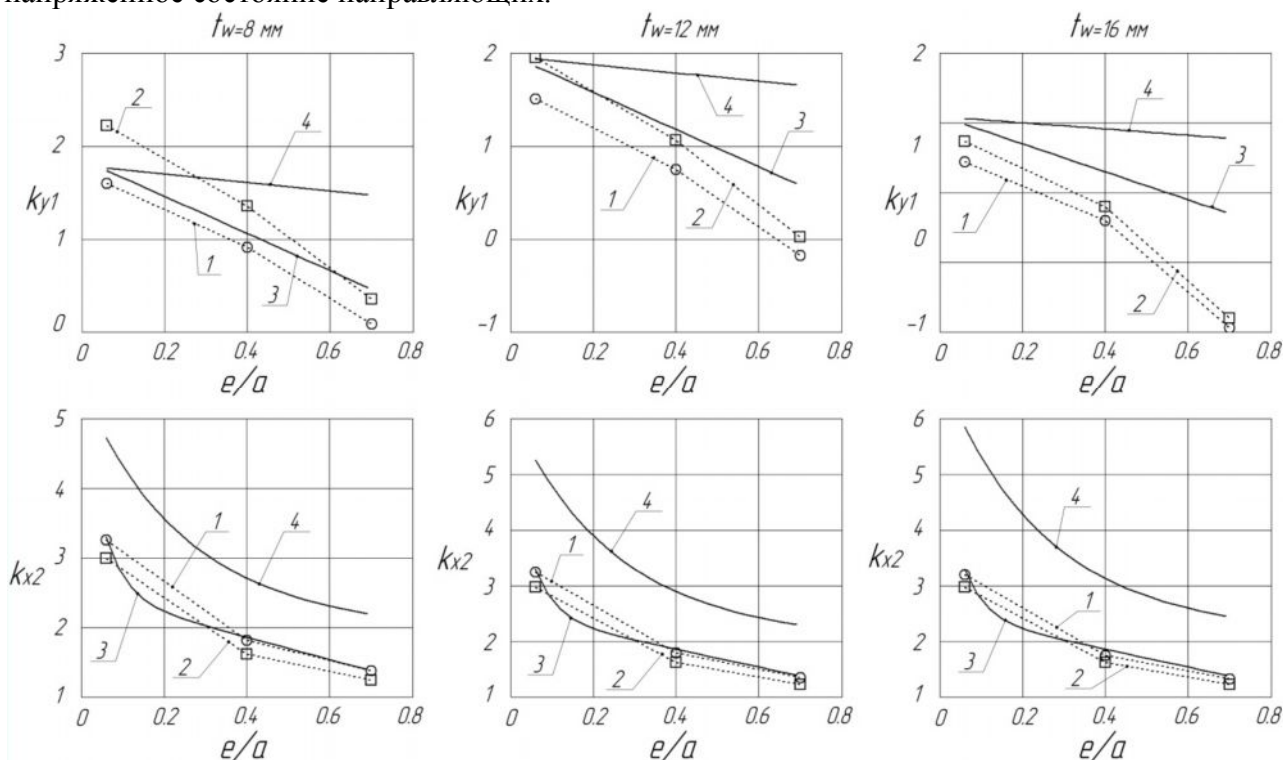


Рис. 7. Графики зависимостей расчетных коэффициентов k_{y1} и k_{x2} от отношения e/a :
1 – модель без диафрагмы, 2 – модель с диафрагмой, 3 – расчет по [3], 4 – расчет по [2]

Расчеты моделей по методикам [2] и [3] для остальных коэффициентов показали некоторое расхождение с численным экспериментом. Для улучшения сходимости результатов аналитического расчета по проекту ГОСТ с экспериментом рекомендуется скорректировать формулы для определения коэффициентов k_{x1} , k_{y1} и k_{y2} . Предлагается использовать следующие зависимости:

$$\begin{aligned} k_{x1} &= 0,4 - 0,2 \frac{t_w}{t_f} - 1,15 \frac{e}{a}; & k_{y1} &= 1,95 - 0,45 \frac{t_w}{t_f} - 2,5 \frac{e}{a}; \\ k_{y2} &= -0,25 \frac{t_w}{t_f} + 4,8 \frac{e}{a} - 4,2 \left(\frac{e}{a} \right)^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Для коэффициента k_{x2} методика [3] дает удовлетворительную сходимость с численным экспериментом, т.е. этот коэффициент может быть вычислен по формуле

$$k_{x2} = 2,5 - 1,6 \frac{e}{a} + 3 \exp(-20 \frac{e}{a}).$$

Результаты расчета по откорректированным зависимостям (1) для моделей с толщиной стенки $t_w=12$ мм, представлены на рис. 3.

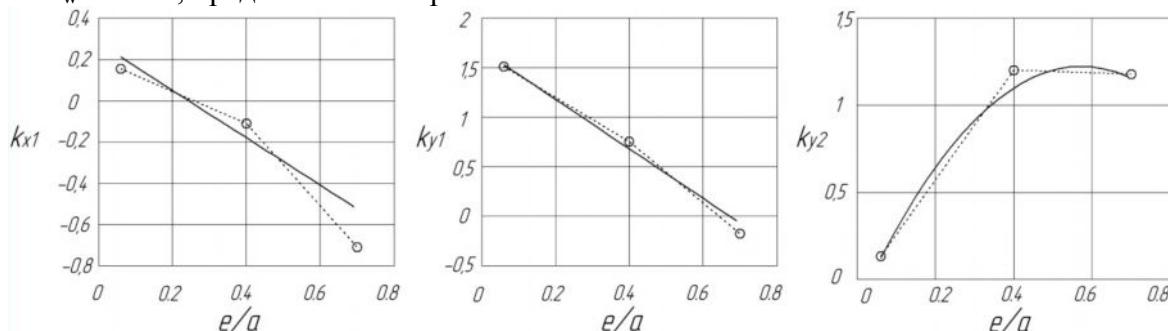


Рис. 3. Зависимость коэффициентов k_{x1} , k_{y1} и k_{y2} от отношения e/a :
○ – результаты конечно-элементного расчета; — - расчет по (1).

Конечно-элементный расчет моделей с диафрагмами показал, что их установка мало влияет на напряженно-деформированное состояние направляющих в рассматриваемых точках. Поэтому коэффициенты k_{xi} и k_{yi} в местах приварки диафрагм могут вычисляться по предложенным выше зависимостям (1).

Расчет направляющих на прочность с учетом местных напряжений σ_{xi} и σ_{yi} выполняется по методикам [1, 4]. В них используется теория прочности Мизеса-Генки, согласно которой условие прочности в главных напряжениях имеет вид

$$\sigma_{esi} = \sqrt{(\sigma_M + \sigma_{xi})^2 + \sigma_{yi}^2} - (\sigma_M + \sigma_{xi}) \sigma_{yi} \leq [\sigma].$$

Здесь σ_M – нормальные напряжения от общего изгиба балки; $[\sigma] = \sigma_T / n$ – допускаемое напряжение; σ_T – предел текучести стали; n – коэффициент запаса прочности.

Расчет направляющих коробчатого сечения на сопротивление усталости рекомендуется выполнять по [3].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Соколов С.А., Краснова С.В. «Расчет на прочность и сопротивление усталости ездовых балок с катанием по нижнему поясу». Научно-технические ведомости СПбГПУ № 1(190), 2014.
2. ISO 16881-1: 2005 Cranes. Design calculation for rail wheels and associated trolley track supporting structure. Part 1: General.
3. ГОСТ (проект): Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Подтверждение несущей способности.
4. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.
5. FEM 9.341: 1983 Contraintes locales dans une poutre.

Сведения об авторах

Краснова Светлана Викторовна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: sv.krasn_55@mail.ru

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДОРОЖНЫМИ КАТКАМИ

Аннотация. Разработана и обоснована математическая модель процесса уплотнения асфальтобетонных смесей в дорожном покрытии катками различного типа, с учетом изменения модуля деформации смеси от температуры и плотности.

Ключевые слова. Модель, асфальтобетон, уплотнение, модуль деформации, дорожные катки.

Существующие математические модели, описывающие процесс уплотнения дорожных покрытий, устраиваемых из горячих асфальтобетонных смесей, не учитывают непрерывное изменение модуля деформации этого материала от температуры и плотности [1],[2],[3],[7].

Разработана математическая модель процесса уплотнения дорожных покрытий катками различного типа, которая позволяет определить рациональные параметры силового воздействия рабочих органов катков на слой уплотняемого материала. Температурный диапазон уплотнения горячей асфальтобетонной смеси в дорожном покрытии находится в пределах $140 \div 75^\circ\text{C}$. Этот диапазон наиболее эффективный для формирования плотной, прочной и устойчивой структуры дорожного покрытия, способного в дальнейшем успешно сопротивляться внешним нагрузкам от транспорта.

В этом температурном диапазоне физико-механические свойства слоя асфальтобетонной смеси, такие как прочность и модуль деформации изменяются в широком интервале. Изменение этих параметров обусловлено как ростом плотности, так и снижением температуры смеси, её остыванием. Кроме того, физико-механические свойства уплотняемого материала существенно изменяются от гранулометрического состава асфальтобетонной смеси, типа и модификации битума. Если на начальном этапе уплотняемый материал по своим свойствам приближается к пластично-вязким телам, то в конце технологического процесса – он проявляет упруго-вязкие свойства.

В связи с этим, силовые воздействия рабочих органов катков-валцов также должны изменяться в широких пределах пропорционально росту прочности и модулю деформации уплотняемого материала.

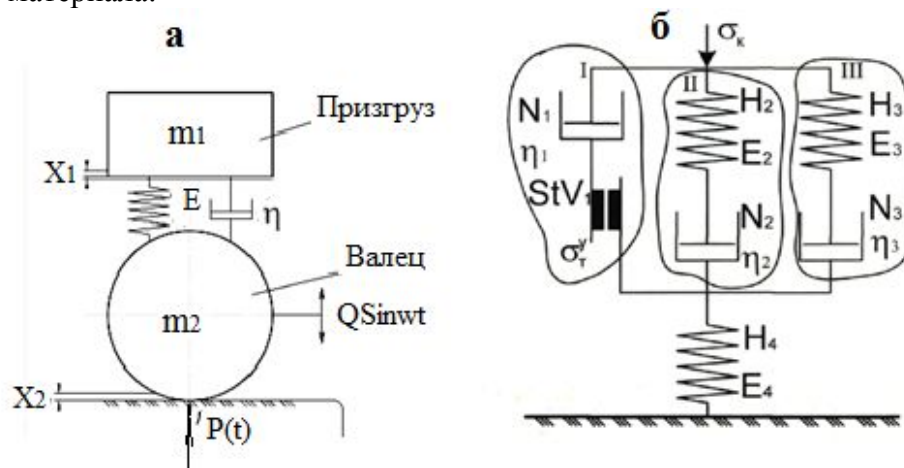


Рис. 1. Модель вибрационного катка (а) и модель уплотняемого материала (б), состоящей из трех (I,II,III) элементов, отвечающих за:

I – накопление остаточных деформаций; II – быструю релаксацию напряжений; III – медленную релаксацию напряжений. $H_4 E_4$ – элемент упруго жесткого основания.

Однако, существующие модели процесса уплотнения учитывают эти изменения дискретно. В результате чего мировая практика дорожного машиностроения выпускает широкий спектр катков различных типов и массы. Это позволяет изменять силовое давление на уплотняемый материал путем замены легкого катка на более тяжелый. На практике момент замены одного катка другим определяется квалификацией оператора. Влияние человеческого фактора на управление технологическим процессом работы звена уплотняющих машин снижает производительность и качество работ.

Для описания процесса уплотнения асфальтобетонных смесей была использована модель Пермякова В.Б. [1], [2], [4] (Рис. 1), параметры которой были преобразованы с целью возможности использования в ней модуля деформации учета его изменения в процессе формирования структуры асфальтобетона. В результате получена следующая система дифференциальных уравнений, описывающая процесс уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным дорожным катком:

$$\begin{cases} \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} = a_0 + b_0 \cdot \sin \omega t - c_0 \cdot \sigma_k(t), \\ \frac{d^2 \sigma}{dt^2} = c_1 E_0(t) \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + \frac{c_1 \cdot E_0 \cdot (n+m)}{(n \cdot \theta_2 + m \cdot \theta_3)} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} - c_2 \cdot (n\theta_2 + m\theta_3) \cdot \frac{d\sigma_k}{dt} - c_2(\sigma_k - \sigma_T) \end{cases} \quad (1)$$

где

$$a_0 = \frac{(m_1 + m_2) \cdot g}{(0,02 \cdot m_1 + m_2) \cdot h_{\text{сч}}(t)}; \quad b_0 = \frac{Q}{(0,02 \cdot m_1 + m_2) \cdot h_{\text{сч}}(t)};$$

$$c_0 = \frac{L_{AB}(t) \cdot B}{(0,02 \cdot m_1 + m_2) \cdot h_{\text{сч}}(t)}; \quad c_1 = \frac{n+m}{n \cdot m}; \quad c_2 = \frac{1}{\theta_2 \cdot \theta_3 \cdot n \cdot m};$$

Так влияние температуры (T), на изменения модуля деформации уплотняемой смеси, определено на основе принципа температурно-временной суперпозиции. Влияние плотности смеси на изменение модуля деформации определялось на основе модели Витчака 1-37А, которая получена на основании результатов многочисленных исследований свойств различных по типу и составу асфальтобетонных смесей [8], [7], [6]. Эта формула учитывает влияние на модуль деформации множество факторов, таких как количество и вязкость битума в смеси (V_b), объемное содержание воздушных пор, (V_a), частоту приложения нагрузки, зерновой состав смеси (ρ_c). В результате проведенных нами исследований, в эту зависимость был введен коэффициент, учитывающий влияние на модуль деформации плотности смеси. Таким образом, получена формула модуля деформации, учитывающая его изменения от вышеперечисленных параметров: $E_0 = f(T, \rho_c, V_b, V_a, K_y)$.

Сравнение опытных и расчетных данных значений модуля деформации от температуры при различных значениях плотности (K_y) по модернизированной формуле Витчака представлены на рис. 2.

Здесь расчеты, выполненные по модернизированной формуле Витчака (представленные пунктирной линией), сравнивались с результатами, полученными в процессе экспериментальных исследований (сплошные линии), выполненные Сергеевой Т.Н. на мелкозернистых смесях [5].

Эти исследования позволили составить алгоритм уплотнения горячих асфальтобетонных смесей, укладываемых в дорожное покрытие, а также программу для расчета рациональных параметров звена дорожных катков для всего технологического диапазона. В результате появляется возможность повысить производительность и качество работ по уплотнению дорожных покрытий.

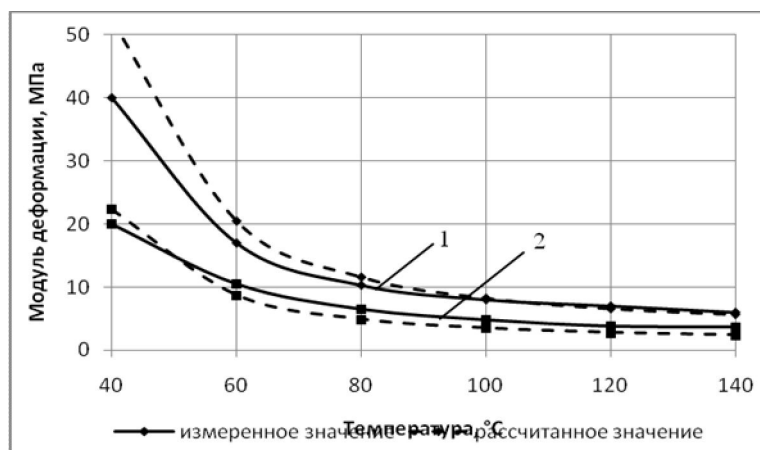


Рис. 2. Сравнение опытных и расчетных значений модуля деформации от температуры. I – $K_\gamma = 0,9$; II – $K_\gamma = 0,85$

ЛИТЕРАТУРА:

1. Серебренников В.С. Обоснование режимных параметров вибрационных катков для уплотнения асфальтобетонных смесей. Дисс. канд. техн. наук. Омск. - 2008. - 170 с.
2. Пермяков В.Б. Совершенствование теории, методов расчёта и конструкций машин для уплотнения асфальтобетонных смесей: Дисс. доктора техн. наук/ В.Б. Пермяков; Сибирский автомоб. - дорож. ин-т. — Омск, 1992.-412 с.
3. S.P.C. Marques, G.J. Creus. Computational viscoelasticity. Springer briefs in applied sciences and technology. Computationalmechanics.Springer. 2012. p.14.
4. Иванчура В.И. и др. Идентификация динамической системы процесса уплотнения асфальтобетонной смеси дорожными катками. Engineering&Technologies 5 (2011 4) стр. 559.
5. Сергеева Т.Н. Исследование взаимодействия вальца катка с асфальтобетонным слоем при его уплотнении. Дисс. канд. техн. наук. Л. - 1981. - 144 с.
6. Asphaltenes and Asphalts. Vol.1 (Серия: Development in Petroleum Science, Vol. 40 part A advisory editor G.V. Chilingarian) edited by G.V. Chilingarian, T.F. Yen. Elsevier Science B.V.Amsterdam 1994. 476p.
7. Williams, M.L., Landel, R.F. and Ferry, J.D., The Temperature Dependence of Relaxation Mechanism in Amorphous Polymers and other Glass-forming Liquids. Journal of American Chemical Society, Volume 77, pp 3701-3707, 1955.
8. Pellinen T.K., Witczak M.W. Marasteanu, M; Chehab, G; Alavi, S; Dongre, R. Stress Dependent Master Curve Construction for Dynamic (Complex) Modulus(with discussion). Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. Colorado Springs, 2002.Vol. 71 pp. 281-309.

Сведения об авторах

Кондрашов Никита Александрович
 Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
 Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
 Должность: аспирант
 Электронная почта: E-mail: nikita.kondrashov@gmx.de

Шестопалов Александр Андреевич,
 Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
 Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
 Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
 Должность: профессор
 Электронная почта: Shestop-37@yandex.ru

УДК: 51-74

Ю.К. Обманова, М.И. Седлер

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ

Аннотация. Работа посвящена внедрению процесса селективной сборки, обеспечивающей высокую точность собираемого механизма. На примере сборки вала и втулки разработана математическая модель и методика подбора пар. Разработанная методика оптимизирует процесс сборки с необходимыми параметрами и минимизирует количество несобранных деталей. На основе методики разработан алгоритм подбора пар и автоматизированный процесс селективной сборки, обеспечивающий идентификацию деталей, регистрацию результатов измерений в базе данных и подбор пар.

Ключевые слова: Селективная сборка, случайная величина, закон нормального распределения, незавершенное производство.

Селективная сборка – метод сборки механизмов, позволяющий получить высокую точность сборочного размера, при котором осуществляют подбор попарно работающих деталей [5].

Актуальность данной работы обусловлена тем, что существует множество механизмов, требующих сборки с максимальной точностью, а процесс подбора пар сложный и трудоемкий.

Применимость селективной сборки ограничивается массовым длительным производством, так как при серийном и, тем более, мелкосерийном производстве получится большой процент несобранных деталей [2].

На всех этапах изготовления деталей неизбежны погрешности; поэтому достижение абсолютной точности невозможно [2]. Следовательно, результаты измерения параметров каждой отдельной детали - случайные величины. Рассеяние значений случайной величины подчиняется закону нормального распределения вероятностей [4] (рис. 1).

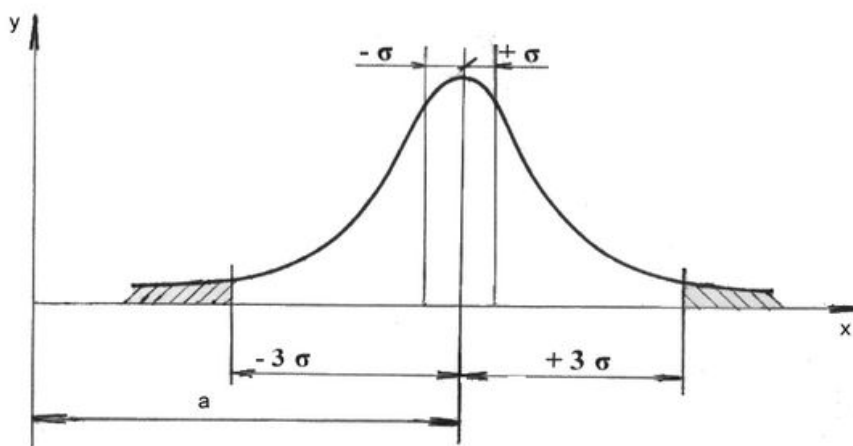


Рис. 1. Кривая плотности вероятности нормального распределения

Одной из основных проблем селективной сборки является наличие незавершенного производства (избыток одних и нехватка других деталей в группах) [5]. Однако, очевидно, что с увеличением размера партии деталей, будет расти количество подобранных пар.

К недостаткам производства большой партии деталей относятся:

- длительный период времени изготовления;
- необходимость наличия складов для хранения произведенных деталей.

Задача работы состоит в разработке «численного метода» селективной сборки, при котором процент несобранных деталей будет минимален.

В качестве примера рассмотрена сборка вала и втулки по посадке с гарантированным зазором Ø32 H7/e7 (рис. 2).

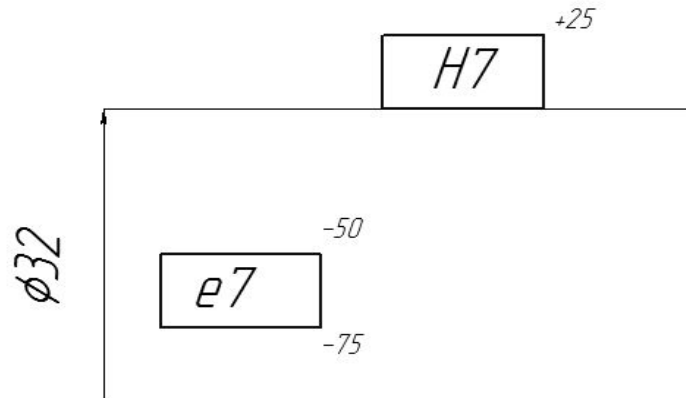


Рис. 2. Соединение по посадке H7/e7

Как видно из рис. 2, максимально возможный зазор в соединении $\Delta_{\max}=0,1$ мкм, а минимально – $\Delta_{\min}=0,05$ мкм.

В качестве требования к точности изделия был выбран требуемый зазор $\Delta_{\text{тр}}$, наиболее приближенный к среднему значению, с отклонением $\pm 2\%$.

При изготовлении партий валов и втулок с заданной точностью были получены два массива выборочных данных, для которых требовалось рассчитать, сколько пар деталей будут наилучшим образом подходить друг другу [6].

Для оптимизации процесса сборки была решена задача разбивки массивов выборочных данных на интервалы равной величины [7].

Поскольку средние значения массивов различны, в качестве исходных данных для группировки выбраны отклонения значений массивов от их средних значений $X - X_{\text{ср}}$, а в качестве центра рассеяния данных массивов разница средних значений массивов:

$$\Delta_{\text{ср}} = X_{\text{ср втулки}} - X_{\text{ср вала}} \quad (1)$$

В ходе исследований было установлено, что оптимальной длиной интервала является величина:

$$\Delta = \left| \Delta_{\text{ср}} - (\Delta_{\text{тр}} + 2\%) \right| \quad (2)$$

Сборка деталей с наилучшим сочетанием размеров будет производиться из деталей одной группы.

Главным недостатком селективной сборки является то, что до 30% деталей будут оставаться без применения. Однако чем больше будет размер партии, тем меньшее невостребованных деталей останется (рис. 3).

Для достижения эффективности функционирования данного процесса необходимо обеспечить прослеживаемость деталей и регистрацию результатов замеров в базе данных [3].

Прослеживаемость предполагает маркировку каждой детали с помощью бирок, ярлыков или клеймения, которые будут содержать в себе два числа: первое – номер группы, второе – номер детали в группе [1]. Эта операция должна выполняться на участке изготовления деталей.

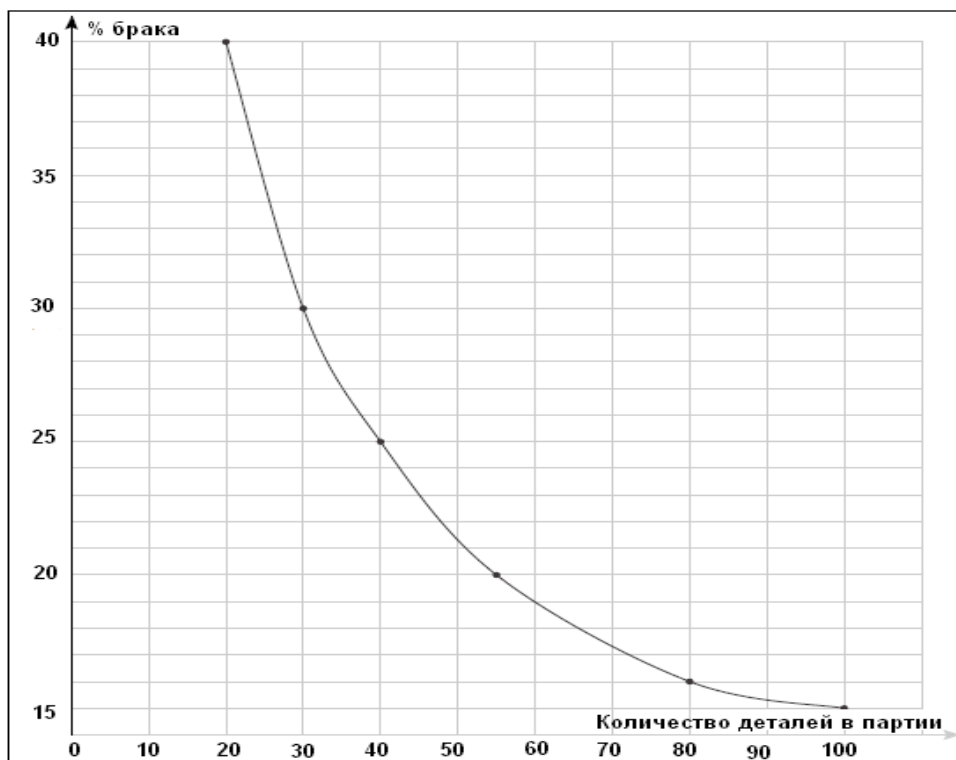


Рис. 3. Зависимость процента брака от количества деталей в партии

На основе методики разработан алгоритм подбора пар (рис. 4).

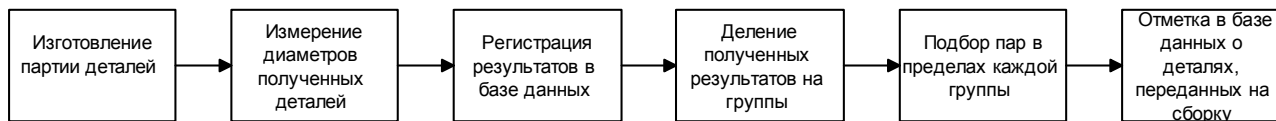


Рис. 4. Алгоритм подбора пар

Для регистрации данных требуется 100% контроль деталей по соединяемому параметру перед сборкой. Поэтому регистрация результатов измерений в базе данных будет совмещена с операцией контроля. Для контроля будут использоваться приборы с цифровым выходом, данные с которого будут поступать в порт компьютера и передаваться в базу данных.

Процесс подбора пар является трудоемким, поэтому осуществлена его автоматизация.

Автоматизированное приложение работает следующим образом. На первом этапе на основе разработанной методики осуществляется подбор пар для передачи на сборку. Для каждой переданной на сборку детали в таблице базы данных проставляется отметка. Если для детали не подобрана ответная деталь текущей партии, ее необходимо, либо доработать до нужного размера, либо подобрать подходящую ответную деталь из оставшихся на складе деталей предыдущих партий. В противном случае, деталь либо отправляется на склад, либо признается негодной.

На основании проделанной работы можно сделать вывод, что селективная сборка является наиболее перспективной технологией для обеспечения однородной сборки с требуемой точностью, а для ее внедрения необходимо обеспечение прослеживаемости выпускаемых партий деталей и автоматизация процесса подбора пар.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 50-601-36-93. Рекомендации. Система качества. Идентификация и прослеживаемость продукции на предприятии.
2. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М.:Машиностроение, 1980. – 592 с.
3. М.Д. Любавский, М.И. Седлер. Решение проблем прослеживаемости серийного производства на ЗАО «Красный Октябрь - НЕВА». Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбГПУ. Ч. 1. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – С. 329-331.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие – 12-е изд., перераб. – М: Высшее образование, 2006. – 479 с.:ил.
5. Копп В.Я. Оценка незавершенного производства при селективной сборке/ В.Я. Копп, Н.В. Серова, П.И. Хрячиков// «Автоматика-2003»: Матер. 10-й Междунар. конф. по автомат. управлению, Севастополь, 15-19 сент., 2003 г., Т.2 – С.52-53.
6. Халафян А.А. STATISTIKA 6. Статистический анализ данных. 2-е изд., переработ. и дополн. Учебник – М.: ООО «Бином-Пресс», 2010 г. – 528с.:ил.
7. Боровиков В. Б83 STATISTIKA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.:ил.

Сведения об авторах

Обманова Юлия Константиновна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: geils@mail.ru

Седлер Мария Ильинична
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: нет
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: msedler@mail.ru

УДК: 658.62.018.4

А.Ю. Смук, М.И. Седлер

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕТЕНЗИЯМИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Аннотация: Данная статья посвящена вопросам о процессе управления претензиями на предприятии ЗАО «Таурас-Феникс». В результате изучения существующего на предприятии процесса управления претензиями, автор ставит перед собой задачу повысить качество данного процесса, путем разработки нового внутреннего стандарта предприятия, а также путем разработки автоматизированной программы. Новый улучшенный процесс управления претензиями даст предприятию возможность постоянного повышения качества продукции, рост удовлетворенности потребителей, улучшение финансового положения компании и рост положительной репутации.

Ключевые слова: предприятие, претензии, стандарт, требования стандарта, процесс управления претензиями.

Цель работы – решение проблемы повышения качества управления претензиями на машиностроительном предприятии. Работа выполнена для предприятия ЗАО «Таурас-Феникс», на котором отсутствует система мониторинга поступающих претензий. В связи с этим тема работы является актуальной.

ЗАО «Таурас-Феникс» является разработчиком и производителем фасовочно-упаковочного оборудования и технологических линий для пищевой промышленности на заказ. Свою деятельность завод начал в 1987 году и в настоящее время является ведущим российским предприятием в своей области.

Все поступающие претензии проходят через Сервисную службу, сотрудники которой регистрируют их в Подсистеме «Сервис» программы 1С: Предприятие.

На ЗАО «Таурас-Феникс» существует внутренний стандарт [1], описывающий этапы обработки претензий в Сервисной службе.

Для решения поставленной проблемы был произведен анализ существующего процесса работы с претензиями, установлены отклонения от требований стандарта [2], разработан новый процесс и автоматизированное приложение управления претензиями.

Претензия – это выражение неудовлетворенности продукцией и/или работой организации, или непосредственно процессом управления претензиями в ситуациях, где явно или неявно ожидается ответ или решение [2].

Для анализа существующего процесса рассмотрена претензия компании «Арнаут» по оборудованию «Линепак» (№ акта 2871), поступившая в Сервисную службу 11.03.2014 года. В данной претензии отражена просьба о наладке работы датчиков на фотометке. Сотрудники Сервисной службы зарегистрировали претензию в Подсистеме «Сервис».

Гарантийный срок по оборудованию, по которому поступила претензия, истек. В связи с этим Сервисная служба выставила компании «Арнаут» счет за свои услуги, после оплаты которого бригада Сервисной службы 20.03.2014 года выехала к заказчику для выполнения наладочных работ.

После подписания акта с рекомендациями о дальнейшей эксплуатации оборудования в Подсистему «Сервис» были внесены данные о выполнении работы. На этом процесс работы с претензией был завершен.

В ходе дальнейшей работы были изучены требования стандартов [2-5]. В результате проведенного анализа были выявлены следующие проблемы.

В качестве первой проблемы было установлено, что внутренний стандарт предприятия, описывающий процесс прохождения претензий [1], не полностью соответствует требованиям стандарта [2]. В политике компании указано, что контроль качества на всех стадиях производственного процесса, и, соответственно, процесса управления претензиями, обеспечен и подтвержден сертификатами ISO 9001:2008, ГОСТ Р ИСО 9001-2008. В настоящее время действующим стандартом является ГОСТ Р ИСО 9001-2011. Анализ проведен на основе действующих стандартов [2 – 5].

Для анализа документации и процесса управления претензиями Сервисной службы предприятия из стандарта [2] были выделены 26 критериев оценки. В таблице 1 отображено соответствие процесса управления претензиями на предприятии требованиям стандарта.

Таким образом, процесс управления претензиями на предприятии ЗАО «Таурас-Феникс» соответствует 13 из 26 рассмотренных пунктов стандарта.

В качестве второй проблемы было установлено, что не обеспечен мониторинг претензий. Это не позволяет компании улучшать качество производимой продукции.

Для решения вышеперечисленных проблем был разработан автоматизированный процесс. Модель нового процесса представлена на рисунке 1.

В соответствии с данной моделью, основная обработка претензий производится в отделе качества. Претензия от заказчика поступает к секретарю генерального директора, где

проверяется наличие гарантии на поставленное оборудование. Секретарь отправляет генеральному директору служебную записку. Генеральный директор принимает решение о дальнейшем рассмотрении претензии и, в соответствии с принятым решением, направляет распоряжение в отдел качества. В отделе качества оценивается актуальность претензии, ее признание, после чего выясняются причины дефектов, устанавливаются виновники этих дефектов, предлагаются варианты решения проблем. Далее отдел качества отправляет генеральному директору служебную записку на утверждение. После утверждения генеральным директором плана отдел качества подключает соответствующие отделы к работе с претензией. После окончания работ отдел качества подготавливает ответ на претензию и после его утверждения генеральным директором отправляет заказчику.

Табл. 1. Анализ соответствия процесса

Пункт стандарта	+/-	Пункт стандарта	+/-
4.2 Возможность визуального доступа	-	7.3 Прослеживаемость претензии	+
4.3 Доступность	-	7.4 Подтверждение претензии	+
4.4 Быстрое реагирование на претензию	+	7.5 Первоначальная оценка претензии	+
4.5 Объективность	+	7.6 Расследование претензий	+
4.6 Издержки	-	7.7 Ответ на претензии	+
4.7 Конфиденциальность	-	7.8 Обратная связь по принятому решению	+
4.8 Ориентация на потребителя	+	7.9 Завершение действий по управлению претензией	+
4.9 Ответственность	+	8.2 Анализ и оценка претензий	-
4.10 Постоянное улучшение	-	8.3 Удовлетворенность предъявляющих претензию процессом управления претензиями	-
5.2 Политика	-	8.4 Мониторинг процесса управления претензиями	-
6.2 Цели	-	8.5 Аудит процесса управления претензиями	-
6.4 Ресурсы	+	8.6 Анализ процесса управления претензиями со стороны высшего руководства	-
7.2 Получение претензии	+	8.7 Постоянное улучшение	-

В соответствии с новым процессом разработан внутренний стандарт предприятия «ДП №_ Управление претензиями», на основе которого осуществляется разработка автоматизированного приложения. При работе приложения в качестве входной информации используются данные таблиц Подсистемы «Сервис». Процесс формирования документов при рассмотрении претензии и отчетов по претензиям автоматизирован. Автоматизированное приложение создается в среде программирования Visual Basic [6].

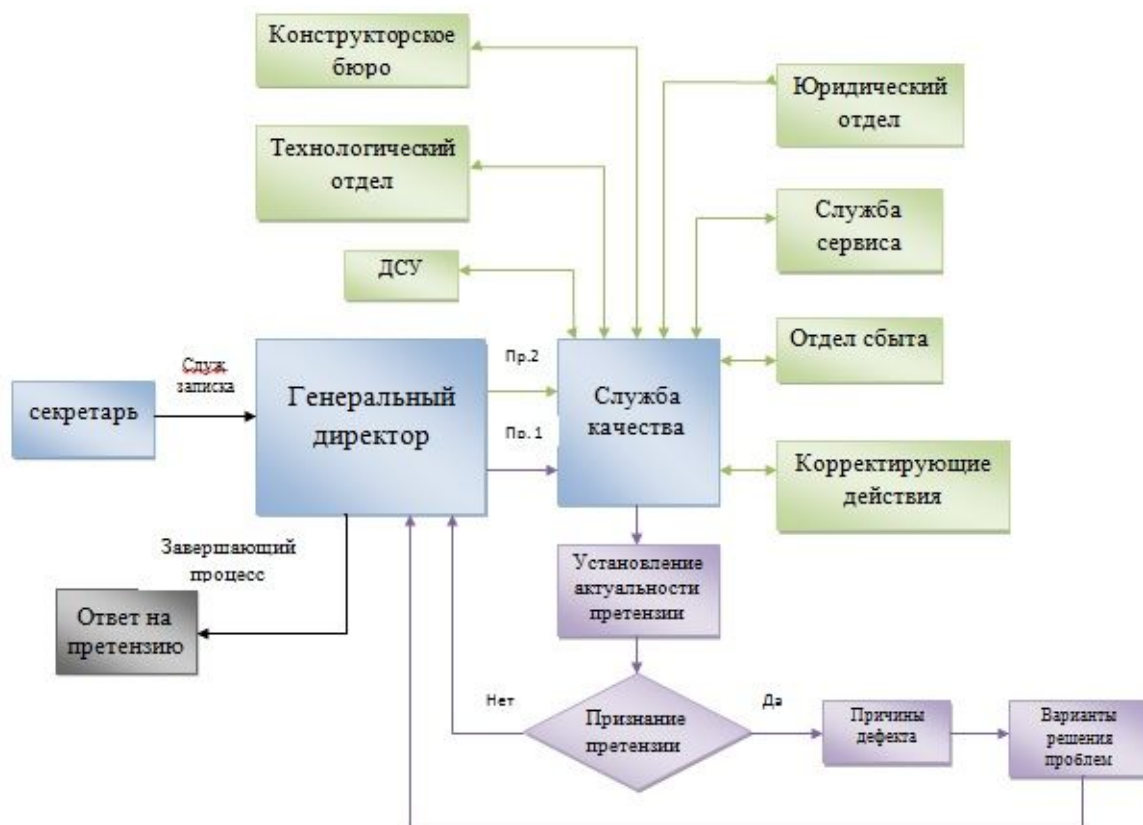


Рис. 1. Модель нового процесса

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1) В настоящий момент процессы управления претензиями на предприятии не обеспечивают повышение качества продукции ЗАО «Таурас-Феникс», что противоречит одному из главных принципов СМК «Ориентация на потребителей» [4].

2) Внедрение нового внутреннего стандарта «ДП №_ Управление претензиями» и автоматизированного приложения обеспечат ЗАО «Таурас-Феникс»:

- возможность постоянного повышения качества продукции;
- рост удовлетворенности потребителей, что, в свою очередь, положительно отразится на репутации и финансовом положении компании;
- эффективную работу по управлению претензиями.

3) Новый программный продукт может быть при незначительной доработке внедрен на любом промышленном предприятии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Документированная процедура ДП-7.2-01 Порядок прохождения запросов-претензий, поступающих в сервисную службу Версия 3.0 27.05.2011 г.
2. ГОСТ Р ИСО 10002-2007 Менеджмент организации. Удовлетворенность потребителя. Руководство по управлению претензиями.
3. ГОСТ ИСО 9000-2011 СМК Основные положения и словарь.
4. ГОСТ ИСО 9001-2011 СМК Требования.
5. ГОСТ Р ИСО 9004-2010 Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации.
6. Самоучитель Visual Basic 6.0: эффективные средства быстрой разработки приложений / А.И. Ананьев, А.Ф. Федоров. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005

Сведения об авторах

Смук Анастасия Юрьевна

Санкт-Петербургский политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: anastasia.smuk@gmail.com

Седлер Мария Ильинична

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: нет

Должность: старший преподаватель

Электронная почта: msedler@mail.ru

УДК: 658.562.42

В.С. Давыдова, В.А. Степанова

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ
ДОКУМЕНТАЦИЕЙ В ПРОЦЕССЕ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПУТЕМ
СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы повышения качества управления документацией в процессе входного контроля деталей внешних поставщиков. На сегодняшний день изучен существующий на предприятии процесс входного контроля, разработана структура таблиц базы данных, начата разработка клиент-серверного приложения для ввода и анализа данных-результатов проверки деталей. Автоматизация документооборота позволит отслеживать информацию по возникающим несоответствиям, своевременно реагировать на появление брака, предупреждать изменение условий поставок и проводить оценку внешних поставщиков.

Ключевые слова: процесс входного контроля, автоматизированное приложение, база данных, клиент-серверная система, модель процесса.

Сертификация на соответствие требованиям стандартов группы ИСО по-прежнему остается актуальной. Об этом свидетельствуют официальные данные последнего обзора: в Российской Федерации в 2013 году были получены 11764 сертификатов, подтверждающих, что деятельность организаций соответствует требованиям стандарта ИСО 9001 [1]. Этот факт означает, что всё большее число организаций стремится внедрить и поддерживать в рабочем состоянии систему менеджмента качества (СМК). Примером такой организации служит завод ЗАО «Красный Октябрь - Нева», специализирующийся на производстве мотоблоков и мотокультиваторов. Базируя свою деятельность на восьми принципах менеджмента качества, руководство завода признаёт необходимость взаимовыгодных отношений с поставщиками, повышающих способность сторон создавать ценности [2]. В связи с этим фактом на заводе была разработана и внедрена процедура входного контроля (ВК) деталей, поступающих от внешних поставщиков.

Процесс ВК на заводе осуществляется следующим образом. Сотрудник отдела технического контроля (ОТК) проверяет выборку из партии деталей, поступивших на позицию контроля, на соответствие требованиям нормативной документации. По результатам проверки вручную оформляется карта обмера и, в случае необходимости, акт на брак (АБ). Если в выборке обнаружены несоответствия, вся сопроводительная документация

передается инженеру по качеству, который совместно с конструкторско-технологическим бюро (КТБ) принимает решение о действиях с несоответствующей продукцией. В процессе ВК все данные о партии заносятся в «Электронный журнал ВК», представляющий собой таблицу MS Excel. В журнал также записывается ссылка на отсканированную версию АБ, кратко описываются вид дефекта и принятое решение. Кроме «Электронного журнала ВК» дополнительно в отдельном файле MS Excel заполняется «Ведомость несоответствующей продукции» (ВНП), которая отправляется поставщику по электронной почте. После принятия решения о действиях, планируемых в отношении несоответствующей продукции, инженер по качеству отправляет уведомление руководителям производственных подразделений о появлении новой записи в «Электронном журнале ВК».

Из-за ручного заполнения всех требуемых в процессе ВК документов и отсутствия автоматической связи между ними, возникает необходимость несколько раз вводить одну и ту же информацию, что существенно удлиняет работу с несоответствующей продукцией. Также при сложившейся системе ведения документации возникают сложности, связанные с поиском информации о партии, в которой обнаружена несоответствующая продукция, с проведением анализа, с выявлением причин несоответствия, сбором статистических данных.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью повышения качества процесса управления документацией в процессе ВК деталей внешних поставщиков.

Целью работы является разработка автоматизированного приложения учета несоответствующей продукции, поступающей от внешних поставщиков. Для достижения обозначенной цели поставлены следующие задачи: построить модель процесса ВК «как есть», разработать клиент-серверное приложение, обеспечивающее управление документацией и включающее базу данных, в таблицах которой сохраняется информация, сопровождающая все этапы ВК от поступления продукции до связи с поставщиком.

На первом этапе работы в соответствии с процедурой ВК с использованием CASE-средства BPwin была разработана DFD-модель процесса ВК, представленная на рисунке 1.

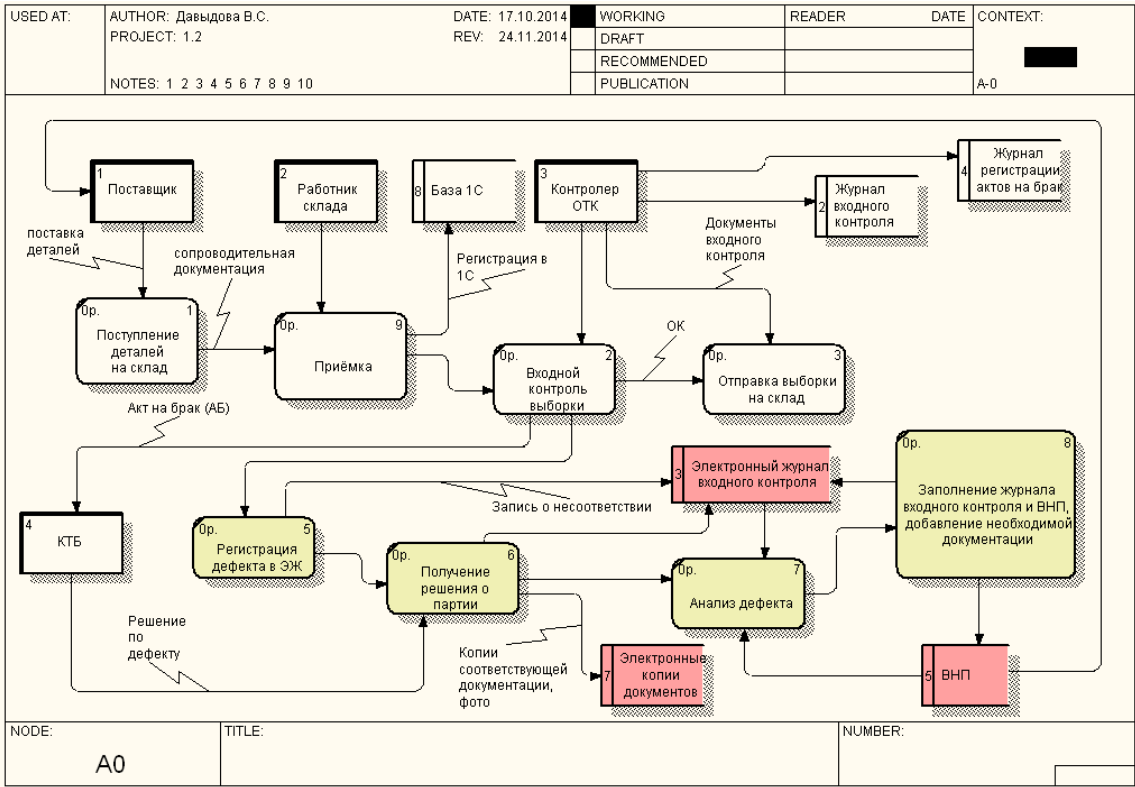


Рис. 1. DFD-модель процесса ВК

На втором этапе был проведен обзор существующих методов автоматизации документооборота. Наиболее популярными являются 1С и SAP – системы. Однако подобные системы имеют достаточно высокую стоимость из-за широкого набора функций, таких как прослеживаемость операций, планирование, расчет себестоимости производства деталей и пр. Предприятия малого и среднего бизнеса не могут позволить себе приобретение подобных систем, требующих дополнительных финансовых и временных затрат на внедрение, администрирование, обновление и пр. Поэтому целесообразна разработка собственного приложения, настроенного на существующий, на заводе процесс.

На третьем этапе работы разработаны таблицы базы данных в MS Access, необходимые для сбора информации с момента поступления партии на склад, до отправки её в дальнейшее производство или возвращения обратно поставщику. В базе данных созданы таблицы «Поставщики», «Детали», «Несоответствия», «Пользователи», «Типовые дефекты». Связь между таблицами осуществляется на основе уникальных номеров. Вся текущая информация заносится в таблицу «Несоответствия»; остальные таблицы являются справочными. База данных MS Access хранится на сетевом диске завода; доступ к ней осуществляется по паролю с предоставлением различных прав доступа [3].

Автоматизированное приложение представляет собой клиент-серверную систему, разрабатываемую в среде программирования MS Visual Basic. Связь с таблицами БД осуществляется на основе запросов, результат которых выводится в специальные формы.

Пользовательский интерфейс разрабатывается с использованием элементов Command, DataGrid, Label, TextBox, ComboBox, CheckBox и др. Для обеспечения связи программных модулей с базой данных применяется элемент управления ADODC [4].

Клиентские приложения будут установлены на компьютерах службы качества, ОТК и руководителей производственных подразделений. Форма для авторизации пользователей представлена на рисунке 2.

Рис.2. Форма для авторизации пользователей

Доступ к приложению осуществляется по паролю. Руководители производственных подразделений имеют возможность просматривать информацию в режиме чтения; редактирование и внесение данных при этом запрещено.

Сотрудник ОТК имеет возможность добавления новой записи о результатах проверки партии.

Инженер по качеству имеет расширенные права доступа [5]. Для него доступны функции редактирования записей, принятия решения по партии, формирования ВВП для поставщика, формирование сводных таблиц, отражающих статистику брака и др.

Внедрение автоматизированного приложения повысит качество управления документацией в процессе ВК, сократит временные затраты на работу с несоответствиями. Инженер по качеству сможет проводить своевременный анализ поступающей информации и оценку внешних поставщиков.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iso.gost.ru>– Загл. с экрана. - Яз.рус
2. ГОСТ ISO 9001-2011. Системы менеджмента качества. Требования.
3. Кошелев В.Е. Базы данных в Access 2007— М.: Бином - Пресс, 2008. — 592 с.;
4. Культин Н.Б. Visual basic 6.0 для студентов.— Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010 .— 416 с.
5. Степанова В.А., Седлер М.И. Повышение качества управления документацией по внутреннему аудиту ООО «НИССАН МЭНУФЭКЧУРИНГ РУС» путем автоматизации процесса. Неделя науки СПбПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ. Ч. 1. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 366 с

Сведения об авторах

Давыдова Виктория Сергеевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент 4 курса
Электронная почта: tosha1003@gmail.ru

Степанова Валентина Андреевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: нет.
Должность: ассистент
Электронная почта: stepanova.spbspu@yandex.ru

УДК: 65.011.46

Ю.В. Бочкарева, М.И. Седлер

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Аннотация. Работа посвящена вопросам учета оснастки на предприятии ЗАО «Петербургский Тракторный Завод». В настоящее время процесс учета оснастки на предприятии не автоматизирован. В связи с этим возникают трудности со своевременным обеспечением рабочих мест инструментом и приспособлениями, необходимыми для выполнения технологических операций. Для учета технологической оснастки создано автоматизированное приложение, включающее базу данных оснастки и технологических операций. Внедрение автоматизированного приложения сократит затраты времени на обеспечение рабочих мест инструментом и приспособлениями, в результате которого будет снижена себестоимость и повышено качество выпускаемой продукции.

Ключевые слова: учет оснастки, автоматизированное приложение учета оснастки, рациональный учет оснастки.

Цель работы – создать приложение, позволяющее автоматизировать процесс обеспечения рабочих мест оснасткой и ее учета, а также получения и хранения информации о технологических процессах изготовления деталей, входящих в состав продукции предприятия ЗАО «Петербургский Тракторный Завод».

На первом этапе работы была изучена существующая на предприятии система ведения маршрутных карт технологических процессов изготовления деталей и система учета технологической оснастки.

Под технологической оснасткой понимается перечень разнообразных механизмов и инструментов, предназначенных для расширения технологических возможностей оборудования. Технологическая оснастка включает в себя как основные типы режущего инструмента и станочных приспособлений, так и вспомогательные: инструмент и приспособления [2].

Маршрутная карта включает перечень и последовательность технологических операций, тип оборудования, на котором эти операции выполняются, перечень применяемой оснастки, укрупненную норму времени операций с указанием переходов и режимов обработки.

В настоящее время на ЗАО «Петербургский Тракторный Завод» нет систематизированного процесса учета оснастки; маршрутные карты составляются на бумажных носителях. Перед началом работы оператор станка или начальник участка должен проверить наличие оснастки, количество и тип которой указан в маршрутной карте технологического процесса, на рабочих местах и, в случае ее отсутствия или недостаточного количества, обратиться в ПДО. При выдаче оснастки со склада кладовщик заносит в журнал сведения о ее передаче в цех. Отсутствие системы учета оснастки на складе и на рабочих местах приводит к ее перерасходу, что в итоге сказывается на себестоимости продукции. Процесс учета оснастки не автоматизирован, что приводит к повышению подготовительного времени осуществления технологической операции и, следовательно, к повышению себестоимости продукции. В результате предприятие получает меньшую прибыль [1], [4].

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью повышения производительности, качества выпускаемой продукции и снижения ее себестоимости.

На первом этапе работы по согласованию с сотрудниками предприятия маршрутные карты переведены в электронный вид – файлы формата .xlsx. (рис. 1). Названия файлов соответствуют обозначению деталей. Файлы расположены в одной директории на сервере.

№ операции	Операция	Оборудование	Переход	Код приспособления	Приспособление	Код режущего инструмента	Режущий инструмент	Код мерительного инструмента	Мерительный инструмент	Количество
005	Отрезная	Абр-отрезной МП65	1. Установить деталь		Упор при станке					1
			2. Отрезать заготовку по поверхности		Тиски при станке					1
			3. К.Р. 10% деталей				Д300×32×32 24А-50 СТ1 В кл Б ГОСТ 21963 Круг отрезной	В8102-0096	Скоба 154h14 ОСТ 3-1997-74	1
010	Револьверная	Токарно-револьверный 1341	1. Установить деталь	ЛК 7010-4330 АДЕ 7010-4787	Цанга Вкладыш					1
			2. Обработать поверхность с	6504-0017	Державка 16-30-115 ГОСТ 19913-74	АДЕ 2100-4444	Резец 16×16 Т15К6	8113-0112	Скоба 20,5h	1
015	Сверлильная	Вертикально-сверлильный 2А125	1. Установить и снять	ЛК 7312-4057	Кондуктор					1
			2. Сверлить отверстия			2301-0094	Сверло 27 Р6М5 ГОСТ	6100-0145 8133-0941	Втулка 3/4 ГОСТ 13598-85 8133-0941 Пробка 27Н12	1 1
			3. К.Р. -Р.М. -100%					0-125	Штангенциркуль ГОСТ 166-	1

Рис. 1. Электронная маршрутная карта технологического процесса

Далее созданы таблицы базы данных с информацией о планируемых к изготовлению деталях, размерах партий, оснастке, сроках ее полезного использования, количестве на складе и на рабочих местах.

Для автоматизации процесса учета оснастки на складе и на рабочих местах в настоящее время осуществляется разработка приложения, реализующего требования стандарта MRP (Material Requirements Planning — планирование потребности в материалах). Блок-схема приложения представлена на рис. 2.

MRP - система – автоматизированная система оптимизации запасов материальных ресурсов, требуемых для обеспечения производственного процесса. MRP - система контролирует запасы на складе и саму технологию производства. Главной задачей MRP является обеспечение гарантии наличия необходимого количества требуемых материальных ресурсов в любой момент времени, наряду с возможным уменьшением постоянных запасов, а, следовательно, разгрузкой склада [6].



Рис. 2. Блок-схема работы автоматизированного приложения

При работе приложения будет рассчитываться «чистая потребность» в оснастке на планируемый период времени как разность между необходимым количеством оснастки и количеством оснастки на складе и на рабочих местах на начало периода. Это позволит планировать расход оснастки в зависимости от плана производства и установленных норм расхода. В результате внедрения приложения будет обеспечена возможность прогнозировать потенциальный расход и выявлять причины перерасхода оснастки [3], [5].

Приложение работает следующим образом: пользователь (оператор) вводит период планирования и запускает работу программы. Программа формирует список деталей с указанием плана их изготовления в заданном периоде, после чего из данных файлов технологических процессов деталей формируется объединенный список оснастки, необходимой в заданном периоде планирования с указанием количества – «полная потребность».

После этого программа формирует список наличия необходимой оснастки на складе и на рабочих местах из таблиц базы данных, производит расчет «чистой потребности» и формирует заявку на приобретение недостающей оснастки – файл формата .docx. Эти данные используются для учета, прогнозирования потенциального расхода и выявления перерасхода оснастки.

С помощью приложения можно получать информацию о потребности в оснастке для изготовления конкретной детали (рис.3). Для этого осуществляется автоматическое открытие файла технологического процесса выбранной из списка детали, формирование перечня оснастки, определение ее наличия на складе или на рабочем месте.

Для добавления информации о поступлении/выбытии оснастки на склад и передаче на рабочие места в приложении предусмотрен удобный интерфейс.

Счетчик ▾	Номер дета ▾	Номер оснаст ▾	Наименование ▾	колич ▾
1	6010.87.02.012	АДЕ 7344-4008	Сверлильное	1
2	6010.87.02.012	АДЕ 6105-475	Удлинитель	1
3	6010.87.02.012	АДЕ 7347-5452	Подставка	1
4	6010.87.02.012	2320-2556	Зенкер 9,8 Р6М5 ГОСТ 12489-71	1
5	6010.87.02.012	8133-0950	Пробка 35,5Н13 ГОСТ 14810-69	1

Рис. 3. Информация об оснастке для 1 детали

Автоматизация данного процесса позволит своевременно оснащать рабочие места оснасткой, что, в свою очередь, сократит подготовительное время технологической операции и простои производства, повысит производительность и снизит себестоимость продукции, обеспечит снижение уровня запасов и перерасход оснастки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Организация производства и менеджмент в машиностроении/ Л.И. Трусова, В.В. Богданов, В.А. Щепочкин. – Ульяновск: УлГТУ, 2009
2. Е.В. Акилов. Учет специального инструмента, специальных приспособлений, специального оборудования и специальной одежды. Актуальная бухгалтерия. – 2009. - № 4. – С. 21-37.
3. Д.А. Столяров. Учет спецоснастки и спецодежды. Промышленность: бухгалтерский учет и налогообложение. – 2013. – №9. – С. 2-7.
4. Г.В. Уварова. Снижение себестоимости: как найти дополнительные резервы. Экономика и жизнь. – 2011. – №32. – С. 3-4.
5. А.С. Петров, М.И. Седлер. Повышение качества процесса оперативно-производственного планирования при изготовлении продукции машиностроительным предприятием. Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбГПУ. Ч. 1. – 2014. – С. 309-312.
6. <http://www.grandars.ru/college/ekonomika-firmy/sistema-mrp.html>

Сведения об авторах

Бочкарева Юлия Валерьевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: yulyab11@mail.ru

Седлер Мария Ильинична
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: нет
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: msedler@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ СПЛОШНОСТИ И ТОЛЩИНЫ АНТИКОРРОЗИЙНОГО ПОКРЫТИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ТРУБ

Аннотация. Работа посвящена вопросам повышения качества контроля сплошности и толщины [1] [2] антикоррозийного покрытия внутри трубы. В настоящее время процесс контроля не автоматизирован, поэтому, получаемые при контроле результаты не обладают необходимой точностью и достоверностью. Повышение качества контроля возможно путем создания эскизного проекта установки контроля сплошности и толщины покрытия.

Ключевые слова: антикоррозийное покрытие труб, контроль качества труб, сплошность покрытия трубы, толщина покрытия прямолинейной трубы, установка контроля покрытия.

Россия является второй по добыче нефти в мире; поэтому материально техническое обеспечение процесса транспортировки является актуальной проблемой [6]. Так как нефтепродукты проявляют высокую коррозионную активность, необходима защита внутренней поверхности трубопроводов. Одним из видов антикоррозийной обработки внутренней поверхности трубопроводов является барьерная защита, то есть покрытие лакокрасочным материалом или системой лакокрасочных материалов. Исследования по выбору оптимального лакокрасочного материала необходимы для получения минимального гидравлического сопротивления трубопровода. Оно зависит от материала внутреннего покрытия и от перекачиваемой среды. Для каждого типа перекачиваемой среды существует свой оптимальный, с точки зрения гидравлического сопротивления, материал внутреннего покрытия. Методика исследования покрытия состоит в следующем: на контрольный образец (трубу) последовательно наносится покрытие, перекачивается нефтепродукт, измеряются перепад давления на концах трубы и расход нефтепродукта. В результате эксперимента определится зависимость гидравлического сопротивления от выбранного покрытия. Достоверность исследования зависит от качества покрытия внутренней поверхности трубы. Для контроля качества покрытия необходимо создание установки контроля основных показателей качества покрытия: сплошности и толщины.

Актуальность создания установки состоит в том, что она обеспечит достоверность и точность измерений по всей длине внутри трубы при контроле сплошности и толщины покрытия.

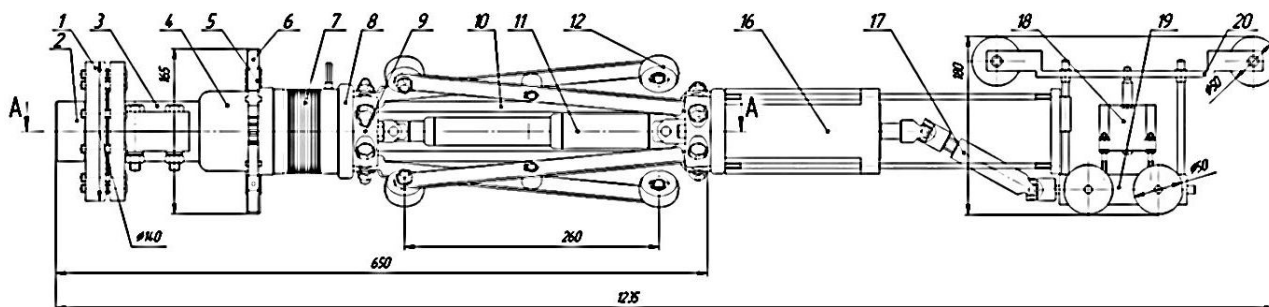
Цель работы: разработка эскизного проекта установки контроля, совмещающей контроль сплошности и контроль толщины покрытия внутри труб диаметром 200 мм.

Метод контроля сплошности: электроискровой высоковольтный (электрод: дисковый внутритрубный) [5].

Метод контроля толщины покрытия: магнитоиндукционный (датчик: Г-образный преобразовать). Диаметр контролируемой трубы 200 мм - наиболее сложный случай, так как ограничено пространство по диаметру контролируемой трубы. Установка контроля представлено на рисунках 1, 2, 3. Привод движения в трубе – внутренний [7].

Электроискровой метод контроля осуществляется элементами специальной упругой токопроводящей резины (далее элемент), зажимаемой между элементами 1 и 3. Напряжение к упругим токопроводящим элементам (на рисунке 1 не показаны) подводится контактом (позиция 15, рисунок 2), который закреплен болтовым соединением на втулке (позиция 14, рисунок 2). Материал втулки: электротехническая сталь. Высоковольтный провод соединяется с втулкой, проходя через отверстия в корпусе (позиция 4, рисунок 1). Корпус одновременно служит опорой для зубчатых реек (позиция 5, рисунок 1). Движение зубчатым

рейкам сообщается зубчатым колесом (позиция 13, рисунок 2) закрепленным на валу шагового двигателя [4] (позиция 7, рисунок 1).

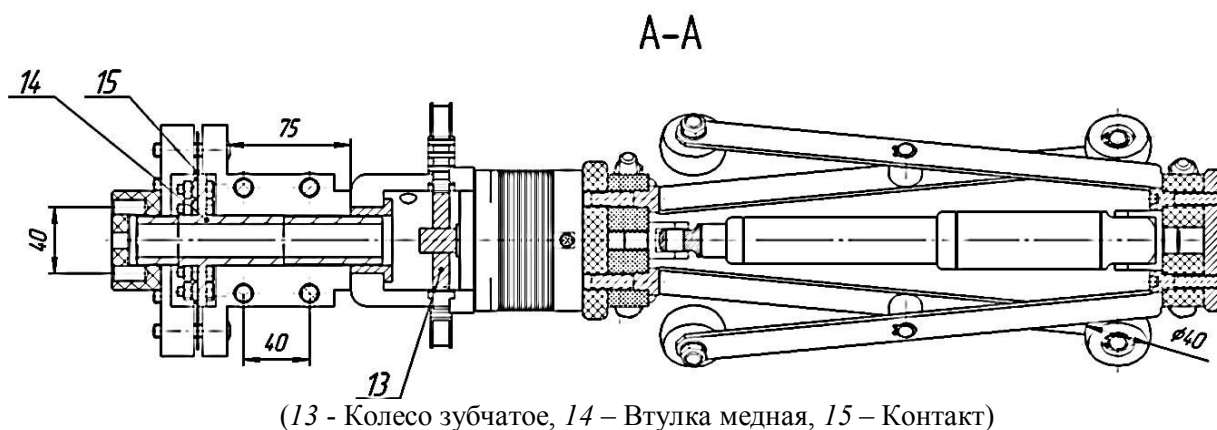


- 1 – Дисковый сегмент, 2 – Втулка упорная, 3 – Втулка крепления, 4 – Корпус, 5 – Зубчатая рейка, 6 – Хомут прорезиненный, 7 – Шаговый двигатель, 8 – Лист крепления шагового двигателя, 9 – Опора механизма центрирования, 10 – Опора осевая механизма центрирования, 11 – Пневмоцилиндр, 12 – Колесо опорное, 16 – Шаговый двигатель, 17 – Карданный вал, 18 – Актуатор на основе шагового двигателя, 19 – Конический редуктор, 20 – Пластина с упорными роликами)

Рис. 1. Установка контроля

На зубчатой рейке [8] крепится прорезиненный хомут (позиция 6, рисунок 1) для фиксации датчиков контроля толщины. Через промежуточный лист (позиция 8, рисунок 1) крепится опора механизма центрирования (позиция 9, рисунок 1).

Центрирование осуществляет расположенный под 90° механизм типа «ножницы», он приводится в действие пневмоцилиндром или электроцилиндром (позиция 11, рисунок 1). Жесткость перемещению придают две опоры осевые (позиция 10, рисунок 1). Привод движения в трубе осуществляется шаговым двигателем [4] (позиция 16, рисунок 1), через карданный вал (позиция 17, рисунок 1) соединенным с коническим редуктором (позиция 19, рисунок 1).



(13 - Колесо зубчатое, 14 – Втулка медная, 15 – Контакт)

Рис. 2. Установка контроля. Вид А-А.

Актуатор на основе шагового двигателя (позиция 18, рисунок 1) создает радиальное усилие на пластину с упорными роликами (позиция 20, рисунок 1) для увеличения силы трения приводных колес [10].

Осуществлять контроль сплошности и контроль толщины возможно, как при прямом ходе установки в трубе, так и при обратном ходе из трубы.

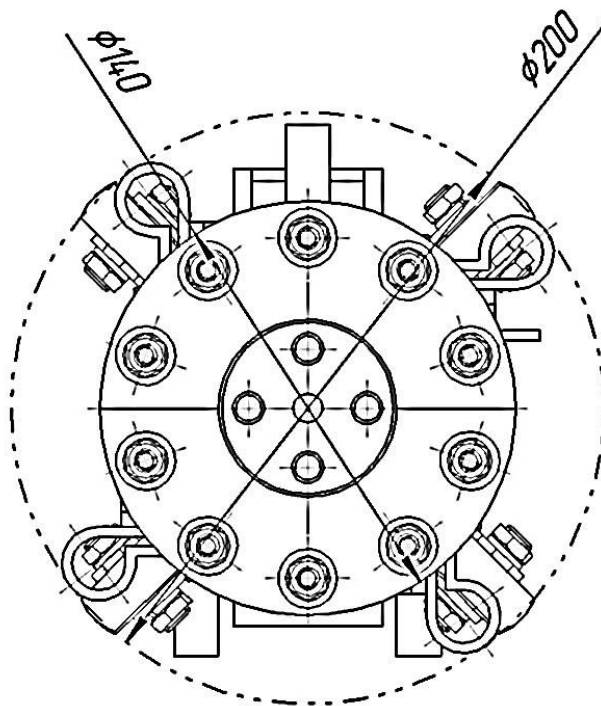


Рис. 3. Вид спереди

Таким образом, установка контроля обеспечит контроль сплошности и толщины покрытия за один технологический проход трубы диаметра 200 мм.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 51694-2000. Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия.
2. ГОСТ 31993-2013 Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия.
3. Лакокрасочные материалы и покрытия. Энциклопедия международных стандартов. – 2-е изд. Перераб. И доп. М.: Издательство «Протектор», 2008. – 752 с., ил.
4. Методы классической и современной теории автоматического управления в пяти томах. Егупов Н.Д., Пупков К.А. (Ред.) — М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.
5. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/ В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др.; Под ред. В.В. Клюева. 2-е изд., и доп. – М.: Машиностроение, 2003. 656 с., ил.
6. М.Х. Седлер, Е.А. Карабасов. Повышение качества контроля труб путем разработки установки автоматизированного ультразвукового контроля. Современное машиностроение. Наука и образование: материалы 4-й Международной научно-практической конференции. / под ред. М.М. Радкевича и А.Н. Евграфова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014, С. 988-995.
7. В.И. Маслов, М.И. Седлер, Б.М. Седлер, Павлова Е.С. Разработка и изготовление устройств для работ внутри трубопроводов. Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2008. №5. С. 90-92.
8. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Машиностроение. 2006 г. 1, 2, 3 тома.
9. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Идельчик И. Е. – 3-е изд., перераб. И доп. - М.: Машиностроение, 1992.-672с.: ил.
10. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии Мышкин Н.К., Петроковец М.И.. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 368 с.

Сведения об авторах

Домрачев Алексей Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент магистратуры
Электронная почта: dav.89@list.ru

Седлер Михаил Хаимович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: нет
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: robototech@mail.ru

УДК: 658.531.1

И.В. Копосова, М.И. Седлер

**СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ
НА ПРЕДПРИЯТИИ ОАО «НОВАЯ ЭРА»**

Аннотация. В работе рассмотрены проблемы нормирования рабочего времени сборочных операций. Произведен сбор данных на участках сборки каркаса, сборки панелей и монтажа оборудования. Результаты замеров свидетельствуют о необоснованном превышении времени на подготовительно-заготовительные операции. Для оптимизации временных затрат были обоснованы нормы времени на операцию сборки, осуществлена перепланировка участков, создано автоматизированное приложение формирования план-графика. Приложение включает базу данных, в которой содержится информация о технологических процессах сборки узлов с указанием необходимого инструмента и приспособлений. Внедрение приложения обеспечит сокращение подготовительно-заготовительные времени сборочных операций.

Ключевые слова. Нормирование, сборочные операции, план-график, автоматизированное приложение.

ОАО «Новая ЭРА» - современное производственное предприятие, специализирующееся на выпуске электrorаспределительных устройств. На сегодняшний день предприятие выпускает электротехническое оборудование для многих областей промышленности: энергетики, атомной и нефтегазовой промышленности, судостроения, горнорудной промышленности и металлургии, транспорта и химической промышленности. Предприятие выполняет широкий спектр работ, таких как: инжиниринг, производство, строительство, монтаж, пусконаладка и сервисное обслуживание. СМК на ОАО «Новая ЭРА» соответствует стандарту ISO 9001, она была внедрена на предприятие в 1988 году и действует в настоящее время. Постоянным улучшением СМК предприятия занимается отдел качества [1].

На каждом современном предприятии существует система нормирования. Она представляет собой основу правильной организации и внутреннего планирования труда. С помощью нормирования становится более рациональным использование возможностей производства, также оно упрощает внедрение новых технологий на производстве.

На ОАО «Новая ЭРА» отсутствует система нормирования, что негативно сказывается на работе отделов планирования и ПДО (производственно-диспетчерский отдел).

Предприятие оснащено высокотехнологичным оборудованием с программным управлением. Сборочные операции осуществляются вручную. Поэтому целью работы является разработка системы нормирования операций сборки. Эта тема является актуальной для предприятия, так как ОАО «Новая ЭРА» внедряет систему бережливого производства.

Для ОАО «Новая ЭРА» самой подходящей системой нормирования является нормативы времени: содержание регламентированных затрат времени на выполнение основных процессов (трудовых движений, действий), на изготовление деталей, узлов, изделий.

На начальном этапе были проведены замеры затрат времени на участках сборки каркаса, сборки панелей и монтажа оборудования (рисунок 1).

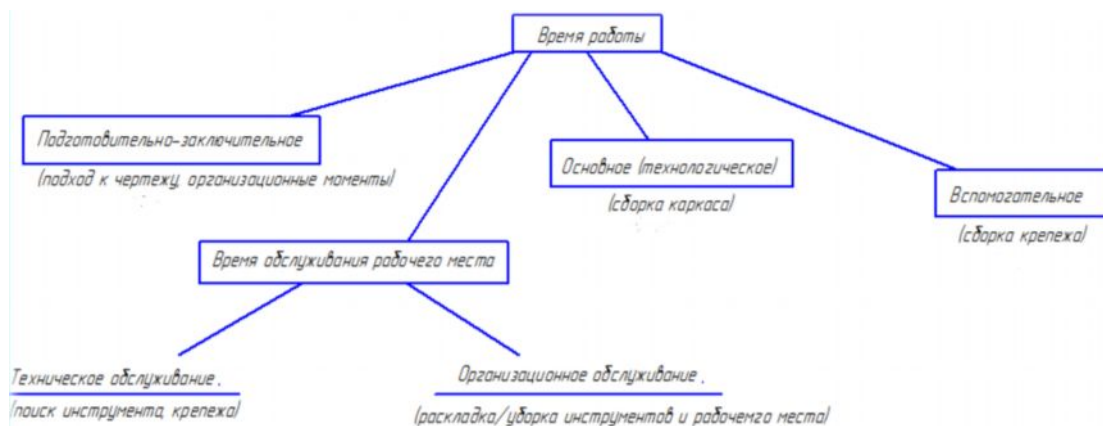


Рис. 1. Затраты времени на участках

Следующим этапом произведен анализ операций каждого рабочего места, в результате которого были выявлены существенные затраты времени на техническое обслуживание рабочих мест и перерывы, не зависящие от рабочих (вынужденные простои) [2]. Подготовительно-заключительное время – одна из основных составляющих затрат, поскольку к началу выполнения операции рабочие места не обеспечены необходимыми материалами и инструментами. Время перерывов, не зависящих от рабочих, связано с отсутствием нормирования операций. Результат анализа представлен в таблице 1.

Табл. 1. Результаты анализа

Участок, рабочий	Время работы				
	Подготови- тельно- заклучи- тельное время	Время обслуживания рабочего места		Основное время	Вспомога- тельное время
		Техническое обслуживание	Организационное обслуживание		
Сборка каркаса, Федеряев Г.А.	22 мин	5 мин	25 мин	6 час	53 мин
Сборка панели, Шаров С.А.	40 мин	2 мин	38 мин	5 час	1 час 35 мин
Монтаж оборудования, Созонов И.Ю.	20 мин	2 мин	25 мин	7 час	15 мин
Монтаж оборудования, Якимов М.А.	20 мин	2 мин	25 мин	7 час	15 мин

Далее была изучена организация процессов сборки каркаса, сборки панелей и монтажа оборудования и установлены проблемы лишних затрат времени: отсутствие необходимых стеллажей и неправильная расстановка оборудования и инструментов на рабочих местах. В результате была обоснована необходимость перепланировки участков сборки, закупки и установки стеллажей для хранения крепежных деталей, перестановки рабочих столов [3]. Новая организация участков сократит количество перемещений рабочих по участку и затрат времени на поиск необходимого инструмента.

На следующем этапе работы были обоснованы нормы времени операций сборки, рассмотрены существующие методики и произведены расчеты по формулам [4]:

Норма времени

$$H_{вр} = T_{пз} + T_{оп} + T_{орм} + T_{отл} + T_{пт},$$

где $T_{пз}$ - подготовительно-заключительное время, $T_{оп}$ - оперативное время
 $T_{оп} = T_{всп} + T_{осн}$ ($T_{всп}$ - вспомогательное время, $T_{осн}$ - основное время),

$T_{орм}$ - время обслуживания рабочего места, $T_{отл}$ - время отдыха и личное время,
 $T_{пт}$ - время на технологию и организацию производства.

$$H_{вр ск} = 22 + 6 + 53 + 5 + 25 + 90 + 360 = 561 \text{ мин} = 9 \text{ час } 35 \text{ мин},$$

$$H_{вр сп} = 40 + 2 + 38 + 5 + 95 + 90 + 360 = 630 \text{ мин} = 10 \text{ час } 30 \text{ мин}$$

$$H_{вр мо1-2} = 20 + 2 + 25 + 15 + 90 + 330 = 482 \text{ мин} = 8 \text{ час}$$

Норма выработки

$$H_{выр} = \frac{T_{см}}{H_{вр}},$$

где $T_{см}$ - время рабочей смены, $H_{вр}$ - норма времени.

$$H_{выр ск} = \frac{8}{9,58} = 0,84, H_{выр сп} = \frac{8}{10,5} = 0,76, H_{выр мо1-2} = \frac{8}{8} = 1$$

Формулы расчета норм времени и выработки использованы для построения план - графиков процессов сборки. План - график представляет собой файл MS Project, содержащий данные о собираемом узле, времени выполнения операций, перечень необходимых ресурсов (инструментов, приспособлений). План - график в виде файла MS Project включает диаграмму Ганта, наглядно отображающую затраты времени операций сборки [5].

Для автоматизации процесса формирования план графика создается автоматизированное приложение «Система нормирования сборочных операций» (Система). Данные для построения графика и расчета материального обеспечения участка автоматически загружаются в шаблон план - графика из базы данных MS Access. В таблицах базы данных содержится информация о номенклатуре выпускаемых изделий, входящих узлах и деталях с указанием их количества, времени операций, количестве рабочих, используемых инструментах и приспособлениях.

Внедрение Системы позволит сократить затраты времени на подготовительно-заготовительные операции и планировать сроки выполнения заказов. Также внедрение Системы позволит оптимизировать процесс материального обеспечения рабочих мест, предотвратит необоснованные потери времени.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ОАО «Новая ЭРА» [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.newelectro.ru/about/
2. Попова Н.В.: Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: М.: Дело и сервис, 2011. – 176 с.

3. Фабрицио Т., Тэппинг Д. 5S для офиса: как организовать эффективное рабочее: Пер с англ. - М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2008 - 214 с.
4. Касьянова Г.Ю. Нормы труда: применение в целях оптимизации: Под ред. Г.Ю. Касьяновой. – М.: АБАК, 2011. – 304 с. 2014. – 422 с.
5. Куперштейн В. Microsoft Project в делопроизводстве и управлении – СПб.: ВHV – Санкт-Петербург, 2003 – 470 с.

Сведения об авторах

Копосова Ирина Витальевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студентка 4 курса
Электронная почта: irina.koposova.93@mail.ru

Седлер Мария Ильинична
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: нет.
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: msedler@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СПОСОБОВ ПЕЧАТИ

Аннотация. Современные технологии по многим параметрам сблизили возможности основных способов печати, уменьшили количество отличительных признаков между ними. Однако офсетная, флексо, высокая, глубокая и трафаретная печать имеют свои области применения, экономически обоснованные тиражные границы и, конечно, несмотря на сокращения различий в качестве воспроизведения, свои достоинства и недостатки.

Таким образом, складывается ситуация, при которой возможно качественное улучшение свойств или придание специальных эффектов готовой печатной продукции при сочетании двух или более способов печати [2]. Целью работы является исследование особенностей применения комбинированных способов печати, анализ их достоинств и недостатков.

Ключевые слова: полиграфия, комбинированные способы печати, гибридные печатные системы, полиграфические машины, печать.

Комбинированные секционные машины разрабатывались в первую очередь для печати самоклеящейся этикетки и мелкой упаковки. Предпосылкой появления подобной техники послужил ряд факторов. Благодаря эксплуатационной гибкости, удобству производства и другим конкурентным преимуществам самоклеящаяся этикетка значительно вытеснила бумажную, что привело к ежегодному росту производства в этом сегменте. В свою очередь всемирный процесс глобализации и консолидации ведущих производителей привел к значительному росту объемов использования этикетки и упаковки [3].

Гибридные системы образуются посредством сочетания различных способов печати с печатной формой, или бесконтактных способов, или тех и других. На рисунке 1 показано, как на основе комбинации традиционных способов печати с бесконтактными технологиями можно создать гибридные печатные системы.

Свойства запечатываемых материалов при печати с помощью гибридных систем имеют особое значение. В частности, они должны соответствовать требованиям применяемых технологий в отношении печатных свойств, впитывания краски, качества печати и движения бумаги. В связи с использованием различных красок при печати могут возникать проблемы в том случае, если они наносятся последовательно различными способами, например, при помощи струйной печати на многокрасочное изображение, полученное офсетным способом. Гибридные печатные системы предусматривают модульное построение, при котором многокрасочная офсетная машина может быть использована с одно- или многокрасочной машиной для бесконтактной печати. Преимущество этого сочетания состоит в том, что возможно создать поточное производство на основе двух способов печати. Каждая из составляющих подобной комбинации может работать самостоятельно [1].

В рамках традиционных способов печати известны гибридные системы, в которых комбинируются офсетный и флексографский способы. Так, например, к листовым офсетным печатным машинам присоединяют лакировальное устройство для сплошного или выборочного нанесения лака с целью получения высококачественной многокрасочной продукции (рисунок 2). В этом случае возможна печать с флексографской формы, например, декоративными лаками или специальными красками.

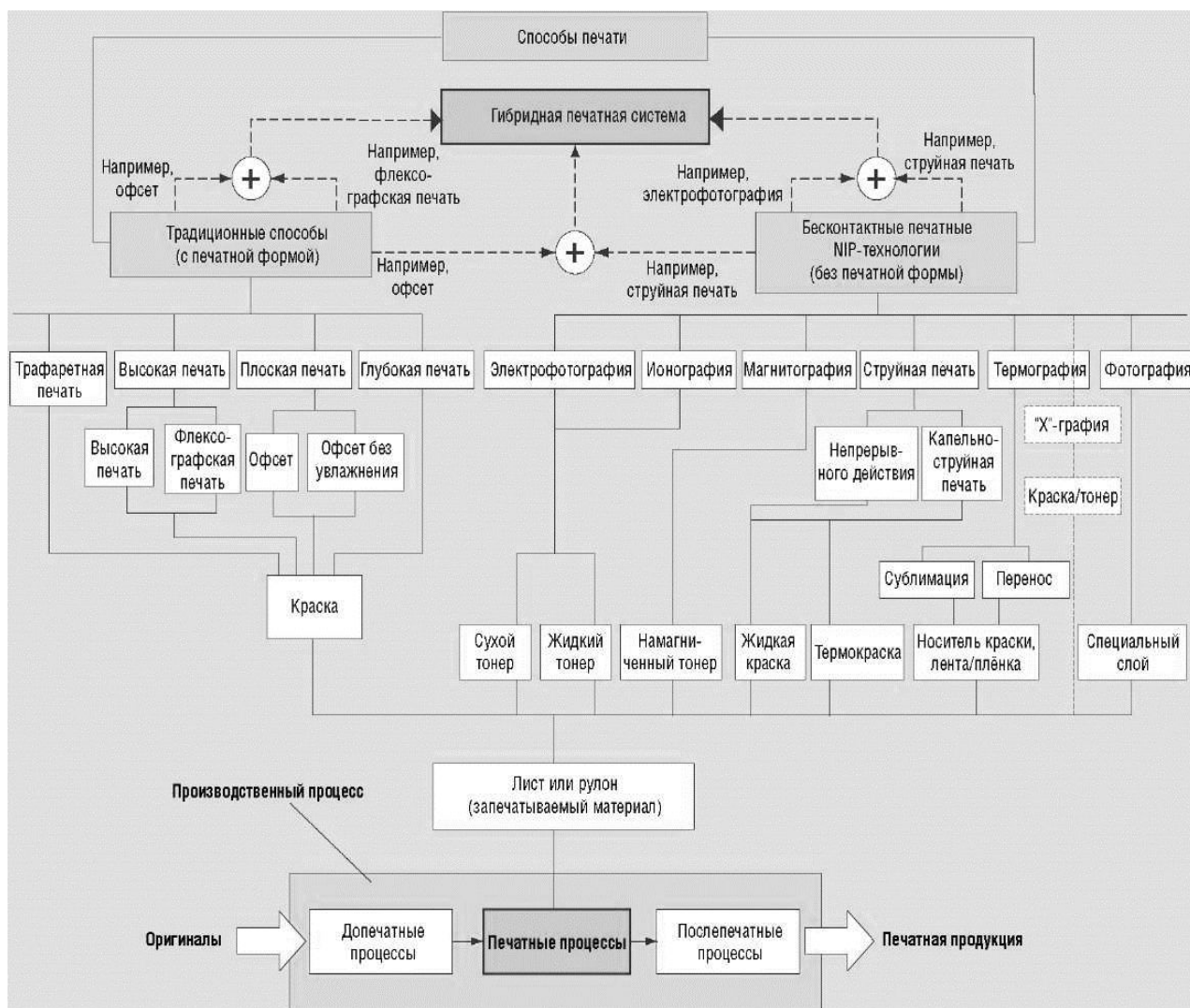


Рис. 1. Комбинация различных печатных технологий для создания гибридных печатных систем

Если многокрасочная офсетная печатная машина оборудована для печати способом офсетной печати без увлажнения (например, с терморегулированием красочного аппарата), то при наличии в секциях увлажняющих аппаратов ее можно использовать как гибридную печатную систему. Она сочетает обычную офсетную и офсетную печать без увлажнения. В данной системе может осуществляться многокрасочная печать «сухим» офсетом и одноцветная печать текста и графики обычным офсетным способом.

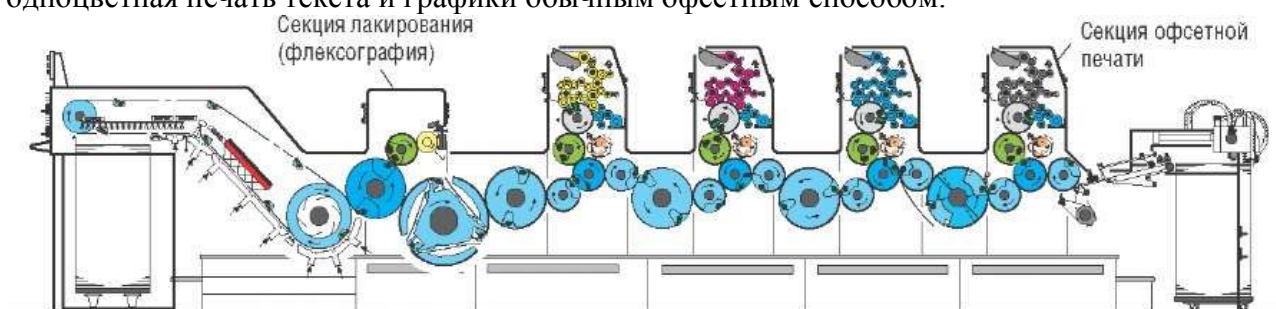


Рис. 2. Многоцветная листовая офсетная печатная машина с секцией лакирования как гибридная печатная система, объединяющая офсетную и флексографскую печать

В рамках бесконтактной печатной системы так же возможны комбинированные схемы. Так, например, применяют электрофотографию для высокоскоростной однокрасочной печати в сочетании со струйной печатью для печати цветных изображений.

Особенно интересна структура гибридной печатной системы, созданной путем комбинирования обычных способов печати с бесконтактными способами. У подобных систем оптимально сочетаются достоинства обоих способов. Так, при печати в линию с печатных форм (офсетная печать) и при наличии одной или нескольких печатных секций на основе бесконтактных технологий (например, струйной печати) становится возможным наносить персонализированную информацию на оттиске высококачественной многокрасочной печати.

Впечатывающими секциями можно персонифицировать, с одной стороны, информацию на каждом оттиске, а с другой – сегментировать общий тираж, как, например, при печати текста на различных языках или с адресами групп получателей.

На рисунке 3 видно, что гибридная печатная система предоставляет различные производственные возможности. Её диапазон изменения информации на оттисках находится между печатью с постоянным содержанием всего тиража (0% изменяемого содержания полос) и заказами с полностью изменяемым содержанием (100% изменяемого содержания полос).

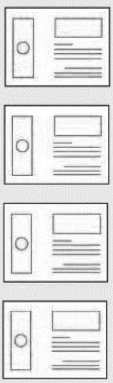
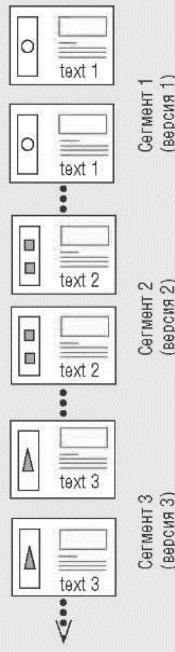
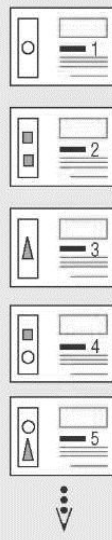
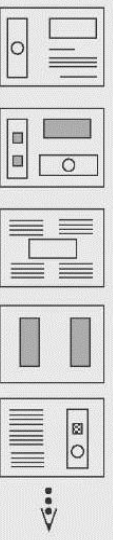
	Идентичное содержание всего тиража (неизменное изображение)	Разделение всего тиража на сегменты (версии) одинакового содержания	Содержание страницы частично персонализировано (персонализация, конкретизация)	Завершенные страницы с различным содержанием (изменяемое изображение)
Задание на печать				
Тираж	Например, 5000	Всего: 10000, например с 10 сегментами по 1000	"1"	"1" (например, "Книга по требованию заказчика")

Рис. 3. Варианты производственного использования гибридных печатных систем, предусматривающих сочетание технологий бесконтактных и традиционных способов печати (цвет листа остается неизменным для всего тиража)

Надо учитывать, что дополнительная секция для персонализации продукции не может наносить изображение на оттиск с незакрепившейся краской (например, офсетной). Поэтому после последнего офсетного печатного аппарата необходимо устанавливать промежуточную сушку.

Также в гибридных системах существует проблема согласования производственных скоростей. Самый быстрый бесконтактный способ печати обеспечивает (при однокрасочной) скорость печати в пределах от 0,3 до 0,5 м/с (электрофотография, магнитография, струйная печать). При многокрасочной печати скорость соответственно от 0,1 до 0,5 м/с (электрофотография, струйная печать). У офсетных машин скорость печати находится в пределах от 1,6 до 4,5 м/с для листовых и от 8,5 до 15 м/с для рулонных. При такой разнице в скоростях при комбинации печатных способов в линию производительность гибридной системы определяется менее быстродействующим устройством.

На рисунке 4 представлен пример установки рулонной офсетной печати с секцией высокоскоростной струйной печати, которая производит персонализированную продукцию для определенной группы клиентов. Интегрированные в линию брошюровочно-переплетные агрегаты обеспечивают изготовление сшитых брошюр.

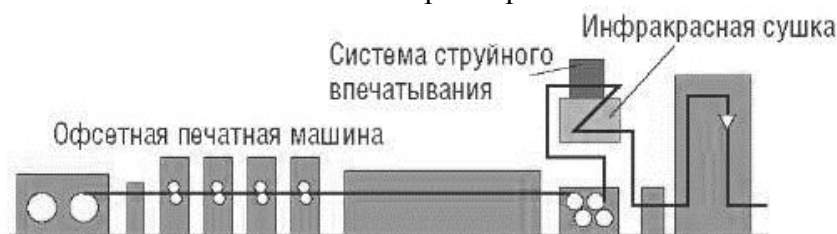


Рис. 4. Гибридная печатная система для рулонной печати, персонализация/адресная печать

Несомненными преимуществами комбинированных печатных машин является возможность выполнения практически любых требований заказчика. Эффективность использования таких машин – в технологии печатания и отделки продукции за один прогон, снижении отходов и сокращении времени выполнения заказа. Взаимозаменяемость секций различных способов печати между собой, сравнительно небольшое количество времени на подготовку к новому тиражу обеспечивают гибкость производства. Машины данного типа в большей степени автоматизированы: позволяют загружать в себя цифровые данные, способны архивировать в памяти выполненные работы, оборудованы устройствами для дистанционной диагностики и сервиса, указывают на ошибки. Некоторые области применения комбинированных способов печати приведены в таблице 1 [4].

Табл. 1. Примеры использования комбинированной печати

Способы	Продукция
Флексо+трафарет Высокая печать+трафарет	Этикетки, мелкая упаковка, карты оплаты, лоторейные билеты со стираемым слоем, RFID-этикетки
Флексо+цифровая печать	Персонализированные этикетки и упаковка, этикетки, упаковка, билеты, бланки с нумерацией
Флексо+глубокая печать Высокая+глубокая печать	Этикетки, упаковка с печатью перламутровыми, металлизированными, иридисцентными и другими специальными красками
Офсет+трафарет	Этикетки, мелкая упаковка из картона, карты оплаты, дисконтные и другие пластиковые карты, лоторейные билеты со стираемым слоем, RFID-этикетки

Наряду с этим машины требовательны к условиям эксплуатации, квалификации обслуживающего персонала, требуют достаточно большого вложения средств. Совмещение различных видов печати и отделки в едином процессе вынуждает эксплуатировать оборудование на скорости, зачастую вдвое меньшей, чем предельно допустимая для отдельно взятых секций. Разные виды печати требуют особого подхода к допечатной подготовке, а также наличия различных типов оборудования для изготовления печатных форм. Кроме того, краски для разных видов печати нужно по-разному смешивать и подбирать. Потребуется иметь на складе запас для всех используемых способов печати [3].

Таким образом, при применении комбинированных печатных комплексов необходимо учитывать современные тенденции к падению тиражей и увеличению ассортимента печатной продукции, чтобы их использование было экономически оправданным, и иметь в виду, что такие комплексы не являются универсальными и позволяют лишь расширить возможности печати.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства / Пер. с нем. – М.: МГУП, 2003.-1280 с.
2. Воронина Е. Комбинированная печать этикеток в Москве
<http://printmagazine.ru/news/1946>
3. Зеля А. Комбинированные узкорулонные машины: покупать или не покупать?
http://kursiv.ru/kursivnew/flexoplus_magazine/archive/37/32.php
4. Шапинова Н. Комбинированная печать: за и против
http://kursiv.ru/kursivnew/flexoplus_magazine/archive/37/30.php

Сведения об авторах

Ваганов Вячеслав Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: д.т.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: prvaganov_spb@mail.ru

Лютов Александр Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: a-lutov@yandex.ru

УДК: 655.022

М.В. Куров, В.В. Ваганов

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УЗКОРУЛОННОЙ ФЛЕКСОПЕЧАТИ ПО АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГЕ КРАСКАМИ FUJIFILMSERICOL

Аннотация. В данной статье рассмотрены проблемы типографии при запечатывании алюминиевой фольги флексографским способом печати, используя краски компании FujifilmSericol. Проблемы связаны с плохой адгезией краски к запечатываемому материалу, неполным высыханием и низкой кроющей способности черной краски. Прodelав тестовую печать, используя краску FujifilmSericol и алюминиевой фольгу, предоставленную

типографией, а также изучив полученные результаты, были предложены рекомендации по решению проблем и повышению качества печати.

Ключевые слова: флексография, FujifilmSericol, УФ краски, адгезия, алюминиевая фольга.

Типография Санкт-Петербурга, которая занимается производством блистерной упаковки для фармацевтической промышленности, столкнулась с проблемами при запечатывании алюминиевой фольги методом флексопечати. Закупалась краска двух производителей: SunChemical (Великобритания) и FujifilmSericol (Великобритания). Так как ни одна из красок данных производителей не удовлетворяла требованиям заказчика, то нашей целью было решить проблему при печати красками FujifilmSericol и полностью перевести типографию на краску данного производителя.

FujifilmSericol является мировым лидером в области производства и поставки инновационных красок, имея широкий спектр технологий, в том числе для трафаретной, струйной цифровой, и узкорулонной флексографской печати. Компания была образована более 50 лет назад, и начала в качестве производителя красок для трафаретной печати. В течение многих лет FujifilmSericol прочно зарекомендовала себя как ведущим в мире поставщиком красок в данном сегменте рынка. В начале 1990-х FujifilmSericol начала исследовать и затем вступила в рынок с новыми УФ красками для узкорулонной флексопечати и чернилами для цифровых струйных принтеров. В настоящее время успех в этих новых сегментах бизнеса очень значительный [1].

Типография имела следующие проблемы при печати по алюминиевой фармацевтической фольге:

- плохая адгезия краски к фольге;
- невысокая кроющая способность черного цвета;
- неполное высыхание черной краски после 2-х УФ сушек.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач, а именно:

1. провести тестовую печать, используя 2 вида черной краски: обычного и кроющего черного;
2. проверить высыхание краски во время печати;
3. проанализировать результаты печати: кроющую способность краски, наличие дефектов, таких как точечные проколы, непропечатки;
4. провести скотч-тест на проверку адгезии;
5. при необходимости произвести повторную тестовую печать, для устранения проблем при первом тесте (если такие существовали);
6. проанализировать результаты и дать рекомендации клиенту.

Тестовая печать была проведена на узкорулонной секционной вертикальной флексографской машине AtlasFlexZBS-320[2]. Используемый запечатываемый материал – фольга алюминиевая фармацевтическая толщиной 20 мкм.

Печать проводилась при следующих постоянных параметрах:

- Анилоксовый вал 400/3,98 (400 лин/см; объем ячейки $3,98 \text{ см}^3/\text{м}^2$);
- УФкраска SericolUVividFlexo JD;
- Печатная фотополимерная форма – выворотка 2,54 мм;
- Скотч 3М высокой плотности (17 серия);
- Скорость печати 20 м/мин;
- Черная краска проходила через 2 УФ сушики: УФ лампы Primarc 120 Вт/см (остальные краски проходили через 1 сушику).

В ходе первого тестового прогона было решено проверить 2 вида черной краски: SericolUVividFlexoJD 004 (черный) и UVividFlexoJD 009 (кроющий черный). Так как

заказчика интересовала высокая кроющая способность, то использование кроющего черного вместо обычного, как печаталось в типографии до этого, могло помочь решить эту проблему.

После тестовой печати мы проверили адгезию, используя скотч – тест: скотч клеится на поверхность запечатываемого материала и резко отрывается. Если слой краски отделяется вместе со скотчем, то делается вывод о плохой адгезии. Высыхания краски проверялось путем приложения тампона под давлением к печатному полотну в зоне ролевой намотки запечатанного материала: если краска полностью не высохла, то оставались следы на тампоне. Кроющая способность оценивалась на глаз, дефекты печати – под лупой [3]. Полученные результаты сведены в таблицу 1. [3]

Табл. 1. Результаты тестовой печати

Краска	Адгезия	Кроющая способность	Примечания
SericolUVividFlexoJD 004	Хорошая	Средняя	Адгезия краски к материалу хорошая, но краска полностью не высыхает и оставляет следы на обороте. Присутствуют точечные проколы. Оттенок гляцевый.
SericolUVividFlexo JD 009	Плохая	Высокая	Адгезии краски к материалу нету, зато краска высыхает и не оставляет следы на обороте. Точечные проколы незначительные. Оттенок гляцевый.

В результате проведения тестовой печати было выявлено, что краска SericolUVividFlexoJD 009 удовлетворяет заданным требованиям, а именно: имеет высокую кроющую способность и быстро высыхает; наносимое изображение хорошо пропечатывается и не имеет дефектов. Поэтому дальнейшие тестовые оттиски проводились только этой краской. Однако проблема адгезии краски к алюминиевой фольге осталась нерешенной.

Черная краска недостаточно хорошо закрепляется на запечатываемом материале из-за мелкодисперсного пигмента – сажи, которая отражает большую часть УФ лучей при сушке. Для улучшения адгезии было принято решение использовать в качестве базового слоя легко закрепляющуюся и отверждающуюся краску – белую SericolUVividFlexoJD025, бесцветную базу UVividFlexoJD381 или праймерSericolRVA 07.

После второй тестовой печати, проверки адгезии, высыхания краски и дефектов печати были получены следующие результаты, сведенные в таблицу 2.

Тестовая печать показала, что проблему адгезии можно решить двумя способами: нанесением в качестве базового слоя белой краски SericolUVividFlexoJD 025, либо – праймераSericolRVA 07. Посторонних дефектов при печати не выявилось.

В качестве базового слоя рекомендуется использовать праймер, так как состояние металлизированного слоя фольги не всегда является идеальным для печати из-за наличия жирного поверхностного слоя и образования оксидной пленки. Эти факторы негативно сказываются на печатных свойствах материала, в том числе и адгезии краски к нему. Даже используя для печати фольгу из одной партии поставки от одного поставщика, нельзя быть уверенным, что фольга будет одинаково вести себя при печати.

Табл. 2. Результаты тестовой печати

Краска	Базовый слой	Адгезия	Примечания
SericolUVividFlexo JD 009	SericolUVividFlexo JD 025	Хорошая	Краска успевает высохнуть, значительных дефектов печати не наблюдается. Оттенок матовый.
SericolUVividFlexoJD 009	SericolUVividFlexoJD381	Плохая	Краска успевает высохнуть, значительных дефектов печати не наблюдается. Оттенок глянцевый.
SericolUVividFlexo JD 009	SericolRVA 07	Очень хорошая	Краска успевает высохнуть, значительных дефектов печати не наблюдается. Оттенок глянцевый.

В целях снижения себестоимости печати необходимо снизить расход праймера, так как его цена почти в 2 раза выше, чем цена белой краски. Этого можно достигнуть путем установки анилоксного вала с объемом ячейки в 3 – 3,5 см³/м². Снижение объема ячейки приводит к снижению количества расходуемого праймера.

Для предотвращения возможности неполного высыхания краски рекомендуется использовать фотоинициатор SericolZE 833 для черной краски и ZE 824 для остальных, для компенсации износа УФ ламп. Он добавляется в краску в количестве 0,5-3% в зависимости от ресурса ламп. Количество определяется экспериментальным путем[4,5].

В результате анализа проведенных экспериментов были предложены решения проблем запечатывания алюминиевой фармацевтической фольги толщиной 20 мкм. Для улучшения адгезии следует использовать базовый слой в виде белой краски SericolUVividFlexoJD 025 или праймера SericolRVA 07. Для увеличения насыщенности черного цвета рекомендуется краска SericolUVividFlexoJD 009 с высокой кроющей способностью. В целях ускорения процесса отвердевания краски при использовании неновых УФ ламп следует использовать фотоинициатор SericolZE 824 (или ZE 833 при печати черной краской).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Официальный сайт компании FujifilmSericol [эл.: <http://www.sericol.com/>].
2. Официальный сайт компании AtlasFlex [эл.: <http://www.atlasflex.ru/zbs-manuals.php>].
3. Стефанов С.И. Полиграфия от А до Я. – М.: Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2013. – 560с.
4. Официальный сайт компании АТ Десайн [эл.: <http://www.atd.ru/>].
5. Всероссийский полиграфический форум [эл.: <http://forum.print-forum.ru/forumdisplay.php?f=66>].

Сведения об авторах

Куров Максим Владимирович
 Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
 Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
 Должность: студент
 Электронная почта: mkurov@gmail.com

Ваганов Вячеслав Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., профессор
Должность: профессор
Электронная почта: prvaganov_spbv@mail.ru

УДК 655.344.022.72

В.В. Беляев, В.В. Ваганов

ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА КОРОТКОГО КРАСОЧНОГО АППАРАТА ПЕЧАТНЫХ МАШИН ФИРМЫ HEIDELBERG

Аннотация. Особенности современно рынка заставляют производителей искать новые решение в производстве печатных машин. Использование короткого красочного аппарата позволяет занять офсетным машинам нишу малотиражной печати не доступную для них ранее. Целью работы является выявление преимуществ данных аппаратов и описание их свойств. Данная статья также приводит сравнения коротких красочных аппаратов с традиционными офсетными и цифровыми машинами по конкретным пунктам.

Ключевые слова: короткий красочный аппарат, AnicolorHeidelberg, офсет, особенности технологии.

Современные тенденции развития полиграфии отмечаются снижением тиража, сокращением сроков издания и целевой направленностью, т.е. в настоящее время пользуются спросом относительно небольшие партии полиграфической продукции, приуроченные к конкретному мероприятию для конкретного потребителя.

Вопрос качества и эксклюзивности выпускаемой продукции в условиях насыщенного рынка приобретает решающее значение в конкурентной борьбе. Поэтому современная полиграфия, учитывая общие тенденции развития, требует системных решений в управлении производственным полиграфическим процессом. Одним из таких системных решений является создание систем управления цифровым оснащением, а также передачей информации через всемирную сеть Интернет. Подобная система управления позволяет клиенту прослеживать, например изготовление календарей, на всех этапах производства. Цифровое делопроизводство позволяет производить прием заказа предприятием, проводку работы через все этапы производства, бухгалтерский учет, расчеты и архивирование. [1]

Но цифровая печать не обеспечивает достаточно высокое качество по сравнению с офсетными системами. Что является явным минусом. Проблемой же плоской печати являются большие временные и материальные затраты на приладку. Что приводит к тому, что первый продаваемый оттиск является уже 200-м или даже 300-м в данном тираже. Этот факт делал использование офсетной печати на тиражах до 500 оттисков не эффективным и не выгодным. [4]

Несколько лет назад появилось решение этой проблемы – немецкая фирма Heidelberg выпустила систему Anicolor (систему с коротким красочным аппаратом), которая позволяет изменить существующую до этого ситуацию.

Основной особенностью этой системы является её красочный аппарат. На рис. 1 приведено сравнение классического красочного аппарата и аппарата системы Anicolor.

Видно, что вместо богатого разнообразия валиков, имеющих в красочном аппарате традиционной конструкции, здесь присутствует всего два основных элемента: «анилокс» (растровый вал) и красочный накатной вал (слово «валик» не соответствует диаметру этого

предмета). Размер этих валов одинаковый и такой же, как у формного цилиндра. Кроме того, в конструкции присутствуют: система спиртового увлажнения Alcolor, камер-рапельная система для нанесения краски на анилоксовый вал и пара раскатных валиков, использующихся в том числе для смывки анилокса. [5]



Рис. 1. Сравнение конструкций традиционного красочного аппарата и красочного аппарата Anicolor

В течение нескольких лет до этого концерн КБА продвигал на рынок подобную технологию, которая, к сожалению, так и не достигла признания масс. [2] Соответственно, было не ясно: удастся ли подобной конструкции красочного аппарата от Heidelberg решить аналогичные проблемы и заслужить более широкое признание публики.

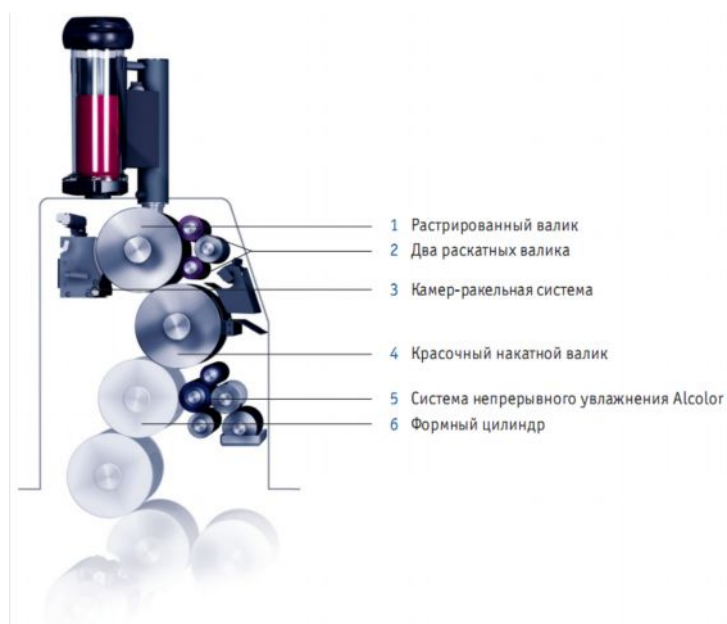


Рис. 2. Схема красочного аппарата HeidelbergAnicolor

Такая конструкция и тот факт, что диаметры анилокса и накатного вала такие же, как у основных цилиндров машины, должны обеспечивать два положительных момента: постоянство толщины красочного слоя по всему формату печати и отсутствие дефектов шаблонирования, возникающих в силу использования красочных валиков различного диаметра в красочном аппарате традиционной конструкции. По той же причине красочному аппарату Anicolor не требуется зональная регулировка подачи краски — на анилоксе и красочном вале всегда постоянный слой краски, накопления краски на участках, попадающих на пробельные элементы формы, не происходит. Единственная доступная для печатника регулировка — общая подача краски, на которую в действительности влияет температура, поддерживаемая в красочном аппарате, и, соответственно, на вязкость краски. Чем выше температура, тем больше краски переносится из ячеек анилокса на накатной вали форму. Доступный для регулировки диапазон температур составляет от 20 до 45°C. [3] Кроме того, поскольку красочный аппарат очень короткий (всего два вала), любые изменения подачи краски мгновенно сказываются на оттиске, то есть, нет необходимости прогонять листы, чтобы краска «подошла».

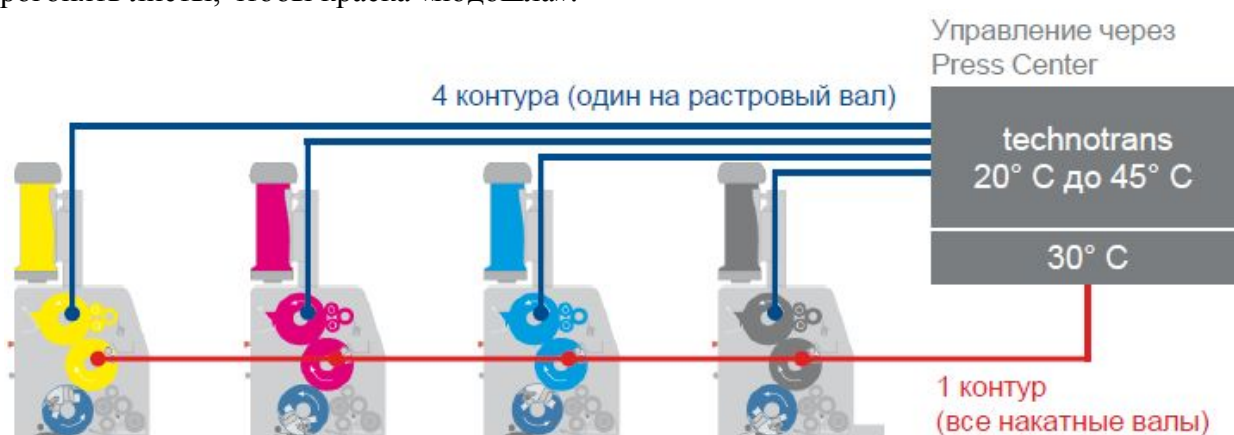


Рис. 3. Распределение температурной системы по печатным секциям

Стабильность и точность передачи краски получается благодаря следующим особенностям:

- Температура каждого растрового вала регулируется индивидуально на пульте управления;
- Одинаковая температура всех накатных валиков;
- Стабильная и равномерная подача краски на каждом листе всего тиража;
- Мгновенное изменение температуры красочного аппарата.

Отметим также, что данная система требует к себе специализированных расходных материалов, таких как печатные формы, краски, увлажняющий раствор и добавки для него, лак и офсетное резиноканевое полотно.

Отдельное внимание стоит уделить краскам. В данной технологии предусматривается использование специально разработанной серии термочувствительных красок SaphiraAnicolor. За счет своих термальных свойств данные краски дают возможность печатнику регулировать уровень подачи краски лишь изменяя температуру в резервуарах, а не прибегая к механическим регулировкам красочного аппарата как это делается традиционно. [3] Как видно на рис. 4 краски SaphiraAnicolor способны достигнуть необходимой для печати плотности лишь изменением температуры, а так же могут изменять свою плотность, не выходя за пределы максимальной температуры.

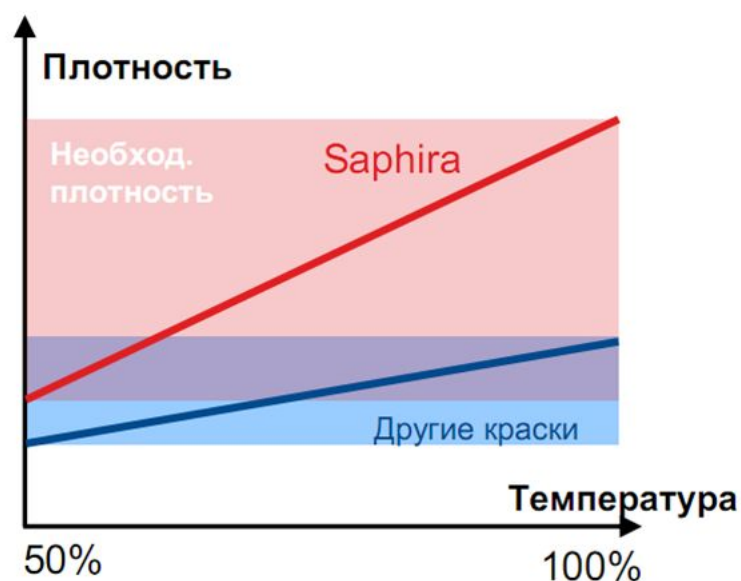


Рис. 4. Сравнение плотностных свойств традиционных красок и красок SaphiraAnicolor

В то время как другие краски лишь приближаются к своей рабочей плотности при максимальной температуре и поэтому для изменения в печатном процессе необходимо прибегать к регулировкам в красочном аппарате, что требует больше временных и материальных ресурсов.

Особенности красок SaphiraAnicolor:

- Краска Saphira быстро реагирует на темперирование;
- 3 Серии красок: S, H, HD;
- Лучшая плотность на различных материалах;
- Стандартизованный процесс печати при использовании красок SaphiraAnicolor.

Необходимо упомянуть об области применения технологии Anicolor, так как любая технология имеет свои определенные преимущества, но важно знать в каких условиях они проявятся лучше всего.

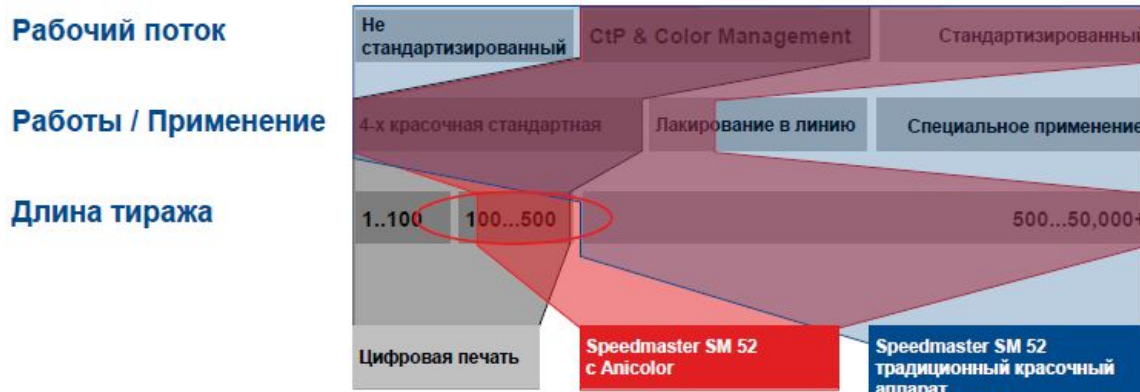


Рис. 5. Область применения технологии Anicolor

На рис. 5 видно что, данную технологию можно использовать в широком спектре условий. Но свою максимальную эффективность они демонстрирует при 4-х красочных тиражах объемом от 100 до 500 экземпляров за счет быстрой приладки по сравнению с традиционными офсетными машинами, и за счет высокого качества печати по сравнению с цифровыми машинами.

В данной статье были рассмотрены преимущества использования коротких красочных аппаратов фирмы Heidelberg, а также их сравнение с классическим офсетом и цифровыми машинами. Конечно, здесь были перечислены далеко не все особенности и подводные камни, которые проявят себя только во время внедрения и применения данной технологии. Дано отметить, что уже многие типографии и издательства отметили для себя технологию Anicolor, и внедрили её у себя, как в России, так и по всему миру, что говорит о ее несомненных и многочисленных достоинствах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гельмут Кипхан. Энциклопедия по печатным средствам информации. – М.: МГУП, 2003 – 345 с.
2. Самсонов С.И., Терентьев И.П. Publish №3 [135] март 2011 – СПб.: Изд-во Открытые системы, 2011 – 71 с.
3. HeidelbergSpeedMaster 52 Anicolor.-М.: Формулацвета, 2011 – 15 с.
4. Мюллер П. Офсетная печать: проблемы практического использования – М.: Книга, 2006 – 205 с.
5. Сайт компании Heidelberg
https://www.heidelberg.com/ru/ru/products/press/sheetfed_offset/sx_52_anicolor/product_information_9/product_information_13.jsp

Сведения об авторах

Беляев Владимир Викторович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта:

Ваганов Вячеслав Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., профессор
Должность: профессор
Электронная почта: prvaganov_spbv@mail.ru

УДК 655.1

К.П. Колтышев В.В. Ваганов

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ “WEB-TO-PRINT” И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ В РОССИИ

Аннотация. Популярность web-to-print в маркетинговых отделах компаний растет все больше и больше. С web-to-print компании сокращают расходы на создание рекламных макетов, ускоряют процессы и повышают качество готовых печатных материалов. Целью данной работы является исследование особенностей реализации технологии web-to-print. Данная статья описывает, с чем именно компании сталкиваются и какие критерии надо учитывать при выборе данной системы. Также был проведен анализ ситуации на полиграфическом рынке России в свете перспектив запуска данного сервиса. На основании результатов анализа были сделаны выводы о проблемах реализации сервиса web-to-print в России.

Ключевые слова: реализация web-to-print, w2p, сложности внедрения web-to-print, критерии выбора системы w2p.

Под технологией “Web-To-Print” понимаются все технологии создания электронной текстово-графической версии продукта, подлежащего полиграфическому воспроизведению на материальном носителе, с использованием коммуникационных возможностей интернета для связи заказчика и изготовителя продукта. Продукт, подлежащий полиграфическому воспроизведению на материальном носителе, может иметь стандартную форму (шаблон) с изменяемым содержанием или быть полностью оригинальным. Подготовку формы (шаблона), правил его заполнения, программных средств для приведения создаваемого изображения к виду, пригодному для полиграфического воспроизведения, осуществляет специализированная компания-разработчик. Взаимодействие заказчика и изготовителя печатного продукта происходит в интернет-среде [1]. Продукция, произведенная с применением процесса web-to-print включает: визитные карточки, брошюры и сувенирную продукцию, а также всевозможную печатную продукцию, полноцветную или черно-белую, отпечатанную на различных бумагах и печатных машинах. [2]

Можно назвать две самые распространённые проблемы, которые могут возникнуть при (после) реализации Web2Print: [3]

1. Неграмотный заказчик, который вечно что-то напутает. Пытается выдать за макет, набранный и отформатированный десятью разными шрифтами в Word текст, разбавленный тщательно раскрашенными в роскошной гамме RGB диаграммами и любовно отобранными из интернета фотографиями с экраным разрешением.

2. Вторая связана с деньгами. Это просто дорого. Точнее — слишком дорого, чтобы можно было себе позволить. Цена вопроса — от десятков до сотен тысяч, и не рублей. Как заплатить столько денег за то, что нельзя потрогать? Не за сверкающую стальную печатную машину, не за другие столь милые сердцу полиграфиста «игрушки», а за софт. Сама по себе идея покупки ПО уже воспринимается спокойно, более того — считается многими дополнительной гарантией безопасности бизнеса, но платить деньги, сравнимые со стоимостью серьёзного оборудования, — это многим кажется слишком радикальным. [4]

Итак, с точки зрения возможностей, web-to-print решения выглядят весьма привлекательно, но провал проекта по их внедрению обычно происходит на стратегическом уровне, когда выясняется, что выбран продукт, которые не подходит для работы с выбранной аудиторией, регионом и т.д. В каких случаях выгоднее использовать web-to-print:

1. Количество вариаций эскиза. Чем больше индивидуальных вариаций печатных материалов создается на основе одного шаблона, тем большей экономии можно достичь с модулем web-to-print. [5]

2. Многократное использование эскизов. Чем дольше и чаще используются эскизы, тем больше выгоды получает компания от web-to-print. Если дело касается однократной работы, т.е. индивидуальных и различающихся рекламных объявлений, то использование модуля web-to-print в данном случае не очень уместно.

3. Частота коммуникации. Чем выше частота коммуникаций, тем чаще компания выигрывает от простого и быстрого создания печатных материалов с web-to-print.

4. Для различных печатных материалов. Когда решение web-to-print установлено, есть смысл использовать его для всех печатных материалов компании, максимально увеличивая производительность системы. [6]

Тут стоит перейти к рассмотрению ситуации с данной технологией в России. Далее, стоит уточнить, что, ввиду вполне объективных причин, имеет смысл больше говорить не о том, каким образом лучше реализовать web-to-print в России, а скорее о том, какие сложности будут стоять на пути или, даже, почему это не предоставляется возможным. Итак, давайте рассмотрим и перечислим основные преграды, встающие перед отечественными полиграфистами, пожелавшими запустить сервис W2P, и поразмышляем, каким образом их можно преодолеть. Рассмотрим web-to-print в условиях российского рынка. Особенностью

отечественного рынка является то, что доля малых полиграфических предприятий с небольшим объемом переработки (до 2 млн. евро в год) продукции очень значительна, и отсюда, в свою очередь, вытекают многие проблемы и особенности, связанные с реализацией информационной технологии web-to-print в России. Это может показаться удивительным, но многие российские предприниматели уже изучили предложения по удешевлению процесса печати и весьма успешно внедряют на своих предприятиях технологию web-to-print. Давайте обратимся к официальной статистике. Итак, по данным компании Pixlpark, более 40% российских типографий только проявляют интерес к онлайн-печати. Еще 25% начали подготовку к внедрению «облачных» технологий и даже заключили соответствующие контракты с провайдерами, и 35% компаний успели запустить сайт и начали предлагать новые услуги на российском рынке. [7]

Попытаемся проанализировать, что сдерживает внедрение W2P конкретно в отечественных типографиях.

1. Некорректная формулировка задания, в результате чего приходится так или иначе общаться с менеджером, но под w2p понимается прежде всего возможность автоматизированного, без участия менеджера типографии, приёма заказов на печать через интернет. Ключевое словосочетание здесь — «без участия менеджера». [8]

2. Макеты. Приходится работать не с тем, что нужно типографии, а с тем, что есть у клиента. Поэтому обработка, доводка макета заказчика — обычное дело.

3. В России мало людей, умеющих обращаться с формами заказа через интернет. Web-to-print — технология интересная, но многие считают, что клиенты до неё ещё не доросли. Им проще позвонить и передать то же самое на словах. Главный довод противников введения web-to-print состоит в том, что целевой аудитории таких сервисов просто будет несподручно разбираться с веб-интерфейсом. Среднестатистический представитель малого бизнеса просто не в состоянии самостоятельно сделать дизайн визитки.

4. Стереотипы - как только появляются у типографии свободные средства, тут же покупают новую печатную машину. Полиграфисты постоянно выбирают между информационными технологиями и оборудованием.

5. Риск. Как известно, статистика знает практически все, но ей неизвестно, сколько же у нас в стране реально печатают, и, что самое главное, сколько типографий фактически берут денег за напечатанную продукцию. Следовательно, сложно сказать, какие инвестиции нужны для того, чтобы что-то изменить в отрасли. Отсюда возникает резонный вопрос: «А стоит ли рисковать?». Зачем пересматривать дорогостоящие предложения, инвестировать в будущее, которое так сложно предугадать? Ведь куда безопаснее развиваться все тем же экстенсивным путем, а то и не развиваться вообще, резонно дожидаясь наступления более благоприятного инвестиционного климата. [5]

6. Немаловажным фактором также выступает отсутствие внятных предложений дистрибуторов, и тут дело даже не в предложениях крупных корпораций, а в пиаре меньших компаний-производителей решений для web-to-print — как отечественных, так и зарубежных. [1]

7. Перед компаниями электронной коммерции, рассчитывающими на тысячи заказов и организующими централизованное массовое производство, встает вопрос доставки, который является сильным блокирующим фактором. Российские доставочные компании и почта проигрывают европейским по стоимости или срокам в разы. В цифрах это выглядит следующим образом: в Европе стоимость изготовления комплекта визиток примерно 60 рублей, стоимость доставки для крупного ритейлера: 30-40 рублей! Поэтому печатать централизованно и доставлять — выгодно. В России стоимость изготовления комплекта визиток составляет приблизительно те же 60 рублей, а вот стоимость доставки даже внутри одного города — 150-250 рублей. [3]

Подумаем немного над тем, как можно избежать некоторых вещей, перечисленных выше и о том, каким отечественным компаниям можно посоветовать уже сейчас начинать внедрять технологию W2P. Стоит уточнить, что 95% проекта web-to-print – разработка программной части, веб-сайта и его продвижения, и лишь 5% времени занимает привязка к конкретной аппаратуре. [4] Это значит, что приспособить его возможно практически к любому производству, при наличии правильной стратегии. Никто не запрещает начать с малого, экспериментировать с предложениями, постепенно переводить дружественных клиентов на новую платформу, грамотно оптимизируя ее. Конечно, большинству наших компаний будет проблематично приобретать готовые решения, но постепенно наращивать функционал некой базовой платформы для электронной коммерции – вполне подъемная задача. На наш взгляд, модель можно адаптировать для российского рынка избавившись от централизованной печати, но сохранив эффективность процессов принятия заказа. А именно, использовать Web2Print решение и опыт в электронной коммерции для привлечения клиентов и автоматизированного принятия заказов онлайн и в стандартизированной форме направлять заказ в типографию-партнер в непосредственной близости к заказчику – в его городе или даже районе. Стандартизированная форма заказа и гарантии со стороны принявшей заказ онлайн-компании (назовем ее брокером), позволят типографии-исполнителю не тратить время и ресурсы на согласование заказа, прием оплаты и ведение клиента, а значит предложить значительно лучшие цены для клиентов, пришедших по каналу Web2Print.

В чём же всё-таки может быть залог успешного W2P сервиса в России? На основании уже запущенных проектов можно сказать, что успеха добиваются те, кто старается быть максимально ориентирован на клиента — начиная от дизайна сайта, заканчивая техподдержкой.

В данной статье были рассмотрены некоторые аспекты, связанные с реализацией технологии web-to-print в типографиях и издательствах. Особое внимание было уделено проблемам, возникающим при попытке внедрения данной системы на отечественных предприятиях. Несмотря на то, что на российском рынке присутствуют хорошие web-to-print программные решения, обычная типография, создавшая или купившая такое решение, вряд ли сможет привлечь достаточное количество трафика через онлайн каналы, чтобы создать конкурентное преимущество в виде низкой цены и иметь сколько-нибудь ощутимую прибыль. Значит, добиться успеха с большей вероятностью смогут компании, имеющие хороший опыт в электронной коммерции и рассчитывающие на тысячи заказов в месяц. Конечно, выше перечислены далеко не все сложности и подводные камни, стоящие на пути новаторов, решившихся запускать сервис web-to-print в наших широтах. Заниматься этим стоит тем типографиям, которые могут себе позволить выделить огромное количество времени на разработку и интеграцию качественного продукта, и решать большое количество проблем, появляющихся в процессе работы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гельмут Кипхан. Энциклопедия по печатным средствам информации. – М.: МГУП, 3003 – 1023 с.
2. Перлов В.И. Маркетинг на предприятии в отрасли печати: учеб. пособие – М.: МГУП, 2000 - 284 с.
3. Самсонов С.И., Терентьев И.П. Publish №3 [135] март 2011 – СПб.: Изд-во Открытые системы, 2011 – 71 с.
4. Виноградов Е.Л., Ваганов В.В. Цифровые технологии оперативной полиграфии: учеб. пособие – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013 – 62 с.
5. Меняев М.Ф. Цифровые системы управления техническими процессами в полиграфии: учеб. пособие – М.: МГУП, 2006 - 126 с.
6. Ванников А.В., Уарова Р.М. Процессы и технологии цифровой печати – М.: МГУП, 2009 – 260 с.

7. Стефанов Стефан. Полиграфия и технологии печати: учеб. пособие. – М.: Книжный дом “ЛИБРИКОМ”, 2009. – 144с.
8. Ваганов В.В., Андреев С.Д., Мовчан А.В. Применение информационной технологии "WEB TO PRINT" в издательствах и типографиях вузов // Современное машиностроение. Наука и образование: Материалы Междунар. науч.-практ. конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 1094 – 1101.

Сведения об авторах

Колтышев Константин Павлович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: nazarinel1911@gmail.com

Ваганов Вячеслав Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., профессор
Должность: профессор
Электронная почта: prvaganov_spb@mail.ru

УДК 655.336

Ю.Д. Перминов, В.В. Ваганов

ОБЪЕМНАЯ ЭТИКЕТКА. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. Специфика современной продукции, а также высокая конкуренция вынуждает производителя использовать современные технологии с целью создания индивидуального и неповторимого вида упаковки своего изделия. Нанесение на упаковку специализированную этикетку позволяет создать уникальный дизайн продукта.

Ключевые слова: объемная этикетка, печать на самоклеющуюся пленку, экстраординарный носитель информации, трафаретная печать.

Самоклеющаяся объемная этикетка появилась на рынке более 10 лет назад и зарекомендовала себя как высокоэстетичный элемент дизайна изделий, а также носитель рекламы. Обычно объемная этикетка применяется там, где необходимо подчеркнуть принадлежность к какому-либо бренду, донести ненавязчиво рекламное послание до потребителя.

Объемная этикетка производится нанесением полимерного состава на самоклеющуюся этикетку, высеченную по контуру режущим плоттером.

В процессе изготовления объемных этикеток используется специальная мягкая полиуретановая или эпоксидная композиция, которая даже после высыхания обладает высокими физико-механическими свойствами, химической устойчивостью к агрессивным внешним воздействиям – бензину, спирту, маслам. Объемная этикетка обладает и ярко выраженной стойкостью к ультрафиолетовому излучению, восстанавливающими свойствами (такими как «самозатягивание» при небольших повреждениях) и сохраняет эти свойства в широком температурном диапазоне от -40 до 80°C.[1]

Благодаря особым оптическим характеристикам полимера, из которого изготовлена объемная этикетка, после отверждения получается своеобразная прозрачная линза, при помощи которой зрительно увеличивается изображение на объемной наклейке, а краски становятся более насыщенными, яркими и блестящими.



Рис. 8 Пример объемной этикетки

Область применения объемной этикетки достаточно широка:

- этикетирование торгового и бытового оборудования и инструмента;
- изготовление объемных этикеток для сервисных центров и компьютерных фирм (объемные этикетки для компьютерных системных блоков и мониторов);
- декорирование объемными этикетками автомобилей, мотоциклов, велосипедов;
- применение в рекламно-сувенирной продукции (объемные этикетки для изготовления наклеек, значков и брелоков);
- производство мебели;
- производство бижутерии (пуговицы, бусы);
- защита фотографий на памятниках.

Объемная этикетка может быть любой формы и размера. Возможно использование металлизированных подложек под золото и серебро, что придаёт объемным этикеткам благородство и внешний "гламур".

Важная особенность при изготовлении объемных этикеток заключается в том, что при производстве могут применяться различные технологии. Как правило, используется печать на самоклеящейся плёнке водными чернилами при помощи принтеров. Такие объемные наклейки или любые самоклеющиеся этикетки характеризуются отличным внешним видом, доступной ценой, их стоимость не зависит от цветности нанесения. Однако принтерная печать возможна не на всех видах самоклеящихся плёнок.

Нанесение с помощью шелкографии позволяет использовать при производстве самоклеящуюся плёнку с совершенно иной характеристикой клеящего слоя. Такая объемная этикетка обладает очень высокой укрывной способностью. Стоимость объемных этикеток с шелкографическим нанесением зависит от цветности нанесения и от тиража. Как правило, компании-производители выбирают именно такие объемные наклейки и этикетки ввиду их прочности нанесения и длительного срока службы.

Изготовление объемных этикеток различается по составу применяемых полимерных композиций. Подавляющее большинство производителей предлагают изготовить объемные наклейки с применением составов с эпоксидными смолами. Такие эпоксидные объемные этикетки имеют высочайшие показатели прозрачности и "самозатягиваемости", привлекательную стоимость. В тоже время эпоксидный полимерный слой имеет склонность при использовании в пониженных температурах (от -13 °C) к сжатию и как следствие к некоторой потере укрывной способности, а так же к некоторому помутнению полимерного объемного слоя через продолжительный срок использования в 3-4 года.

Объёмная этикетка, изготовленная с полимерным слоем из полиуретана, лишена подобных недостатков. Полиуретановые объёмные наклейки имеют более эластичную структуру, чем эпоксидные, однако главное отличие заключается в непревзойденной стойкости к воздействиям внешней среды, а также более длительный срок службы. Однако стоимость данного типа этикеток несколько выше, нежели эпоксидных этикеток.

Технология изготовления объёмных этикеток.

Объёмная этикетка изготавливается путем нанесения на обычную этикетку слоя прозрачного полимера толщиной 1,5–2,5 мм. В иностранной литературе такие этикетки называют *resinata* (залитая смолой), *cristaldrop* (хрустальная капля) и *stereolabel* (стереоэтикетка). Полимер после застывания образует своего рода линзу, которая зрительно увеличивает изображение, при этом краски на этикетке кажутся более яркими и насыщенными. Вместе с тем слой смолы предохраняет этикетку от механических повреждений, воздействия химических веществ и пр., благодаря чему она сохраняется в течение десяти и более лет. [2]



Рис. 2. Схема объёмной этикетки

Изображение для объёмных этикеток может быть отпечатано офсетным, флексографским и другими способами печати, но наиболее часто применяется трафаретная печать [1].

После высечки и удаления облоя на этикетку наносится необходимое количество вязкотекучей смолы. Растекаясь, смола заполняет всю поверхность этикетки, не заходя за ее края, что обусловлено силами поверхностного натяжения. После этого происходит полимеризация смолы.

Не всегда этикетки заливаются смолой после высечки. Иногда требуется выборочная заливка одного или нескольких ее элементов. В этих случаях используется прозрачный лак *StopInk*, который служит для ограничения площади заливки. Напечатанный этим лаком замкнутый контур способен заменить высечку, поэтому с помощью *StopInk* можно осуществлять заливку не только этикеток, но и элементов различных плоских предметов или печатной продукции.

Недавно была разработана еще одна технология, позволяющая без вырубки создать границу для растекания смолы. Эта технология основана на способности некоторых материалов, например гибкого ПВХ или искусственной кожи, образовывать такую границу после обработки их токами высокой частоты. [3]

При заливке этикетки сложной формы оператор-контролер иногда «помогает» смоле достигнуть края этикетки специальным металлическим крючком. Следует иметь в виду, что полиуретановая композиция застывает довольно быстро. При использовании ручных и полуавтоматических станков сушка производится при комнатной температуре на стеллажах в течение 18–24 ч. Поддоны с этикетками должны находиться в строго горизонтальном положении как во время движения по столу, так и в течение всего периода сушки. Автоматические линии, как правило, снабжены сушилками с инфракрасным излучением, значительно ускоряющими процесс сушки, и готовая этикетка может быть получена уже через 10 мин.

После окончания сушки листы с этикетками укладываются в стопу. Чтобы избежать прилипания, один лист от другого отделяется тонкой силиконовой бумагой. Помещение, где осуществляется заливка и сушка, должно быть светлым и идеально чистым, без пыли,

поэтому дважды в день необходима влажная уборка. Кроме того, нужно поддерживать постоянную влажность не более 50% и температуру 20–25°C.[4]

Выводы. Объемная этикетка становится все более популярной, расширяются области ее применения технология и оборудование, разрабатываются новые виды смол. Потребности российского рынка в объемной этикетке огромны. Однако большинство заказов до сих пор размещается за границей. В связи с этим может оказаться очень перспективным бизнесом создание участков заливки на базе трафаретных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Технология и дизайн маркировки: учеб. Пособие / В.И. Бобров, Л.Г. Варепов, И.В. Черная; Моск. Гос. Ун-т печати-Мгуп-376 с.
2. Объемные этикетки/ «РТ полиграфия» 01/2005
3. Технологии и оборудование для изготовления объемных этикеток / «Мир этикетки» 07/2003
4. Гельмут Кипхан. Энциклопедия по печатным средствам информации. – М.:МГУП, 2003 – 345 с.

Сведения об авторах

Перминов Юрий Дмитриевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: yurith@ya.ru

Ваганов Вячеслав Владимирович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., проф.
Должность: профессор
Электронная почта: prvaganov_spb@mail.ru

УДК 655.028

Д.С. Коршунов, И.А. Ильина

АНАЛИЗ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ФАЛЬЦЕВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПЕЧАТНОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация. Фальцевание (или фальцовка) – это операция сгибания (складывания) листа. Для выполнения фальцовки небольшими объемами используется ручной труд, а для более длинных тиражей используются фальцевальные машины (фальцовщики). Операция фальцовки обладает своими особенностями, зависящими от конкретного вида фальцуемого материала и получаемой продукции. В связи с этим возникает необходимость в грамотном выборе фальцевальной машины, учитывающей эти особенности и позволяющей получать качественный сгиб. Целью данной работы является выявление основных критериев выбора фальцевальных машин и нахождение оптимального решения для того или иного вида продукции. В данной статье приведён обзор возможностей, основных и дополнительных опций современных фальцевальных машин на примере линеек компаний Es-Te и Horizon International.

Ключевые слова: фальцовка, фальцевальные машины, фальцовщики, фолдеры.

Фолдеры компании Es-Te. Es-Te – немецкая производственная компания, существующая с 1945 года. В 1970 году открывает сборочное производство, а с 1992 года выпускает фолдеры собственной разработки, предназначенные для высокоточного сложения чертежей, планов и карт до необходимого формата. Фолдеры поставляются для репрографического оборудования Xerox, OCE, KIP и Ricoh в большинстве стран Европы и некоторых азиатских государствах. [5]

Достоинством техники Es-Te является широкий модельный ряд, включающий в себя экономичные полуавтоматические аппараты, совместимые с большинством моделей плоттеров и аналоговых копиров. Поэтому, как заявляет производитель, “обновляя парк печатающей техники через 5-7 лет, Вы можете не сомневаться – новых вложений средств в постпечатную технику не потребуется”.

Ещё одним немаловажным достоинством фолдеров компании Es-Te является чёткое и точное сложение как результат передовой технологии фальцовки с использованием роликов и ножей. Каждый фолдер сделан из высококачественных материалов, практически не подверженных износу, занимает минимум места, практически бесшумен и чрезвычайно надежен. Вместе с тем, каждый фолдер обеспечен первоклассной сервисной поддержкой на всей территории России. [2]

Всю линейку фолдеров компании Es-Te можно разделить на два типа: off-line фолдеры, в которых выбор программ фальцовки и подача документов может осуществляться только вручную оператором; и on-line фолдеры, которые управляются с помощью встроенного последовательного интерфейса напрямую с ПК при помощи дополнительного программного обеспечения, что позволяет им работать в линию с плоттерами без непосредственного участия оператора. Рассмотрим подробнее каждый из них.

К off-line фолдерам относятся модели Es-Te 2300 и Es-Te 4210. Машины идеально подходят для сложения небольших и средних объёмов документов, отличаются простотой выбора программ фальцовки, понятным дисплеем и чрезвычайной надёжностью. 8 программ фальцовки могут быть предустановлены и вызваны нажатием одной кнопки: программы 1-4 установлены на заводе для наиболее распространенных операций, программы 5-8 могут быть изменены в диапазоне значений ширины от 18 до 210 мм, с полем для подшивки от 0 до 30 мм; запрограммированные значения могут быть сохранены в памяти аппарата. Фальцовка в Es-Te 2300 производится сначала в продольном направлении, а затем в поперечном за второй проход; Es-Te 4210 снабжён дополнительной кросс-секцией, позволяющей выполнять параллельную и перпендикулярную фальцовку в один проход, при этом каждый сложенный документ выводится в специальный выходной лоток, расположенный в верхней части фолдера, с небольшим смещением относительно предыдущего штампом вверх, поэтому дополнительной сортировки со стороны оператора не требуется. Фолдер Es-Te 2300 обрабатывает документы шириной до 930 мм неограниченной длины, а Es-Te 4210 – шириной до 930 мм и длиной до 4 м (до 6 м опционально).

К on-line фолдерам относятся модели Es-Te 2400 и Es-Te 4211. Они предназначены для фальцовки малых и средних (Es-Te 2400), а также средних и высоких (Es-Te 4211) объёмов документации. Фальцовка в Es-Te 2400 и Es-Te 4211 производится аналогично Es-Te 2300 и Es-Te 4210 соответственно. Фолдеры управляются с помощью встроенного последовательного интерфейса. Программы и стиль фальцовки могут быть выбраны напрямую с компьютера, для чего на нём должно быть установлено дополнительное программное обеспечение. Выбор ширины сложения и поля для подшивки может производиться вручную нажатием клавиш или с ПК. Фолдер Es-Te 2400 обрабатывает документы шириной до 930 мм неограниченной длины, а Es-Te 4211 – шириной до 930 мм и длиной до 4 м (до 6 м опционально).

В качестве дополнительной опции к моделям Es-Te 4210 и Es-Te 4211 можно установить встроенный автоматический аппликатор наклеек HF 111, который подготавливает документ к подшивке путём приклеивания в нужную позицию на нижний лист сложения предварительно пробитой полоски из прочного пластика. [3]

Фальцевальные машины компании Horizon International. Крупнейший японский производитель брошюровочно-переплётного полиграфического оборудования компания Horizon International была создана после второй мировой войны в г. Киото, Япония. К нынешнему времени это предприятие представляет собой: центральный офис в г. Киото, основной завод в г. Бивако, завод в г. Киото, более 500 сотрудников, широкая дистрибьюторская сеть по всему миру, линия выпускаемой продукции, насчитывающая более ста различных видов оборудования. Доля рынка Horizon International в послепечатном секторе Японии составляет более 90%, на экспорт идёт более 30 % продукции, основными потребителями которой являются: Северная Америка, Европа, страны Юго-Восточной Азии. В последнее время повышается спрос на оборудование в странах Восточной Европы и СНГ. Horizon International отличается от многих других производителей послепечатного оборудования наличием уникального центра Исследований и Разработок, собственным изготовлением комплектующих деталей (компьютерные платы, провода, детали из пластика и металла), высоким качеством и надёжностью продукции.

Фальцевальное оборудование, производимое компанией, включает как мелко- и среднегабаритные фальцовщики для получения буклетов, фальцевания для прямой почтовой рассылки и прочей продукции малого формата, так и крупногабаритные фальцевальные машины производства книжно-журнальной продукции. Рассмотрим каждую из серий. [1]

В серию EF входят двухкассетная фальцевальная машина EF-35 и четырёхкассетная высокоскоростная фальцевальная машина EF-354. Машины используют систему «загрузка сверху, подача снизу», позволяющую догружать листы во время фальцевания для безостановочной работы; секция их фальцевальных валиков не нуждается в регулировке под различные типы бумаг: комбинированные резиново-стальные валики регулируются самостоятельно. Обе машины оборудуются счётчиком для отслеживания хода работы и деления продукции на партии.

В серию PF входят двухкассетные фальцовщики PF-39 и PF-40L. Уникальная система подачи машин позволяет обрабатывать широкий спектр бумаг на скоростях до 350 и 390 листов в минуту соответственно. Подача и приёмка листов находятся с одной и той же стороны машин, увеличивая эффективность работы оператора. Панель управления модели PF-40L проста и понятна. Для повышения эффективности работы, возможно программирование машины, например, настройка счётчиков и сохранение настроек работ (в памяти машины может быть сохранено до 20 различных работ, что особенно удобно для повторяющихся и сложных работ).

В серию AF входят модульные фальцевальные машины AF-406T6A и AF-566T4F. Машины легко и интуитивно понятно настраиваются благодаря интеллектуальной автоматизации и дружественному дизайну. Все секции, включая зазоры фальцевальных валиков, полностью автоматизированы и регулируются с помощью цветного сенсорного экрана. Модульная концепция построения повышает гибкость конфигурации и позволяет легко справляться как с простыми, так и со сложными шаблонами. 6 кассет на первом модуле и 4 кассеты на втором модуле модели AF-566T4F (6+6 у AF-406T6A) можно скомбинировать так, как это необходимо.

В серию AFC входят модели AFC-492, AFC-564A и AFC-566A, AFC-566FG, AFC-742K и AFC-742KP, AFC-744A и AFC-744AS, AFC-746S и AFC-746D, AFC-746F, а также AFC-762KLL. Все машины серии способны выполнять целый ряд операций от получения одиночных сгибов до 16- и 32-страничных тетрадей, перфорации и биговки.

Комбинированные фальцевальные валики – комбинация стали и мягкого полиуретана – обеспечивают великолепный захват листов и чёткое фальцевание. В машинах используется вакуумно-роторная система подачи Horizon, позволяющая быстро и надёжно подавать материалы различной плотности. Автоматическая настройка занимает всего несколько секунд, все остальные необходимые настройки указываются оператору на сенсорном дисплее, позволяя быстро и эффективно продолжить работу, все регулировки очень просты и не требуют особых навыков или тренировки. Все настройки зазоров фальцевальных валиков выполняются автоматически с помощью сенсорной панели, после вставки одного листа в детектор толщины. Для различных нужд можно подобрать один из трех типов самонаклада: плоскостапельный, паллетный или круглостапельный.

Также Horizon предлагает большое количество опций для фальцевальных машин серии AF и AFC. Клеевой узел CGU-50, с помощью которого можно производить 8-ми или 12-страничные склеенные буклеты. Кассета для фальцовки «калиткой» GFB-74, позволяющая выполнять точное и аккуратное фальцевание «калиткой» без специальных навыков. Ультразвуковой детектор USS-74, чётко определяющий двойную подачу даже при обработке материала с чёрными плашками. Устройство предварительной перфорации FP-74, позволяющее выполнять чёткую перфорацию и микроперфорацию до фальцевания, также доступно и устройство для перфорации с пропусками (FSP-74). Устройство разрезки AF-ST6, выполняющее разрезку пополам в кассетной секции для получения двойной продукции (ширина полосы разрезки регулируется от 3 до 10 мм с шагом в 1 мм). Устройство разрезки после первого ножа KT-ST6, выполняющее разрезку в секции поперечного фальца для получения двойной продукции (ширина полосы разрезки регулируется от 3 до 10 мм с шагом в 1 мм). [4]

В заключении хотелось бы уделить внимание современным тенденциям развития рынка фальцевальных машин, ведь ещё до недавнего времени очень многие предприниматели почти не обращали внимание на возможности своего оборудования выполнять большинство работ автоматически, делая основную ставку на ручные операции в целях экономии бюджета. В наше время такая позиция, конечно, не приведёт ни к чему хорошему. Даже наш неторопливый на внедрение инноваций рынок начал насыщаться высокотехнологичными решениями, и в таких условиях избыток ручных операций может привести к банкротству типографии. Но, как обычно случается в нашем мире, высокая автоматизация производства имеет и обратную сторону: появляются дополнительные трудности, которые требуют немедленного решения. Одна из таких трудностей – отсутствие квалифицированных кадров. Ведь очевидно, что высокоавтоматизированное оборудование, как минимум, требует оператора, знающего тонкости технологических процессов. Конечно, такое оборудование избавляет от массы хлопот, самостоятельно производя настройку всех систем, но при этом не избавляет от необходимости “растолковать” и правильно сформулировать текущую задачу. Тут уже на первый план выходят практические навыки оператора, и именно этот этап подготовки тиража становится решающим в “битве за эффективность”. Решений, как показала практика, в этом случае два: нанимать действительно высококвалифицированного и “дорогостоящего” оператора или иметь на производстве оборудование, которое в состоянии существенно помочь в решении даже этой проблемы. Поэтому, прежде чем приобретать дорогостоящее высокопроизводительное оборудование, необходимо тщательно оценить требуемую степень автоматизации и производительности будущего фальцевального оборудования исходя из текущей загруженности производства и тенденций к её увеличению/снижению.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Материалы сайта <http://advis.ru/>
2. Материалы сайта <http://ethsa.ch/ru/>

3. Материалы сайта <http://es-te.ru/>
4. Материалы сайта <http://www.horizon.co.jp/>
5. Материалы сайта <http://www.publish.ru/>

Сведения об авторах

Коршунов Дмитрий Сергеевич
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: duman4e@gmail.com

Ильина Ирина Аркадьевна
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: старший преподаватель
Электронная почта: polygraf@spbstu.ru

УДК: 655.022

В.В. Леонтьев, В.В. Ваганов

ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПО В ПОЛИГРАФИИ

Аннотация. В этой статье мы исследуем проблему использования программного обеспечения с открытым исходным кодом в полиграфии и возможности, которые могут предоставить эти программные продукты. Рассмотрим некоторые замены проприетарного программного обеспечения свободными программными продуктами. Также в этой статье будут рассмотрены варианты оптимизации и автоматизации производства при помощи программ с открытым исходным кодом.

Ключевые слова. СПО, полиграфия, проприетарное ПО.

Задачей данной статьи является рассмотрение следующего вопроса: существует ли выгода от перехода на свободное ПО полиграфических предприятий и возможен ли этот переход.

Главной проблемой свободного программного обеспечения (СПО) всегда была популяризация. В большинстве случаев, к сожалению, СПО не рассматривается в качестве альтернативы платному ПО, так как наибольшее распространение ПО с открытым исходным кодом получило в специализированных кругах. Второй проблемой является взаимодействие пользователя с интерфейсом СПО. Однако за последнее время интерфейс Linux шагнул далеко вперед, в плане развития и упрощения взаимодействия с системой, максимально подстроив его под нужды обычного пользователя. Теперь все программные задачи, касающиеся темы данной статьи, возможно решить при помощи графической оболочки, избежав тем самым, сложной для большинства пользователей работы с терминалом.

Целесообразность рассмотрения данной проблемы. При открытии полиграфического предприятия помимо закупки оборудования требуется покупка программного обеспечения. Комплект программного обеспечения может отличаться в зависимости от рода деятельности, но основными программами являются офисный пакет, операционная система и программы для просмотра файлов. Для дизайнеров требуются дополнительно графические редакторы векторный и растровый, для менеджеров программы для автоматизации производства. В случае дизайнера стоимость программного обеспечения может достигать 40 000 рублей, если не покупать старые версии программ, которые не имеют некоторых инструментов и могут не

поддерживать современные стандарты. В итоге получается большая сумма, которая может превышать стоимость самих компьютеров.

Таким образом, мы показали целесообразность рассмотрения вопроса о поиске альтернативного ПО для полиграфических предприятий с точки зрения экономии.

Все программы с открытым исходным кодом, рассмотренные в данной статье бесплатны. Однако не стоит забывать о возможных трудностях, которые могут возникнуть при переходе на СПО, связанных с адаптацией пользователей, привыкших работать с другим комплексом программ. Кроме того, существует ПО, работа которого может осуществляться лишь в одной определенной ОС, т.е. которое не является кроссплатформенным и не имеет аналогов. Для ряда таких программ в целях экономии денежных средств предприятия целесообразен частичный переход на использование СПО. Данную проблему возможно решить при помощи эмулятора ОС Windows – Wine, который позволяет работать в программах, не обладающих кроссплатформенностью, под рядом свободных ОС.

Программы, необходимые для работы. Первой задачей станет выбор свободной ОС. Существует несколько вариантов решения данного вопроса. Рассмотрим некоторые из них. Есть два основных семейства ОС с открытым исходным кодом – это Linux и BSD. Данные ОС являются UNIX-подобными, следовательно, обладают схожими программными решениями для спектра поставленных задач. Наибольшее распространение получили дистрибутивы на базе ядра Linux. Простейшими из этих ОС для освоения и использования будут дистрибутивы Ubuntu и Lubuntu. В рамках нашей статьи будет целесообразно рассмотреть далее примеры предоставляемых графических оболочек данных ОС и провести их краткое описание и сравнение.

Ubuntu в качестве графического взаимодействия с системой предлагает графическую оболочку Unity, которая отличается приятным современным визуальным оформлением и хорошо организованным интерфейсом, позволяющем выполнять многие задачи в оптимальном формате за минимальное время.

Lubuntu обладает графической оболочкой LXDE. Данная графическая оболочка отличается своим минимализмом, поэтому имеет низкие требования к производительности ПК, по сравнению, например, с Unity, упомянутой ранее. Однако с точки зрения функциональности абсолютно ничем не уступает другим альтернативным вариантам. Кроме того, LXDE имеет наибольшее сходство с визуальным оформлением ОС Windows, что значительно облегчит работу на первоначальном этапе знакомства с системой для обычного пользователя.

В дополнение ко всему прочему стоит отметить тот факт, что рассмотренные графические оболочки являются крайне гибкими в своей настройке, поэтому всегда могут быть оптимизированы под нужды конкретного пользователя, что трудно осуществимо в ОС Windows.

Для нормальной работы предприятия нужна поддержка основных типов файлов и их редактирования таких как: tif, pdf, doc, psd. В случае с tif, pdf и psd– эти форматы обладают определенными стандартами и могут редактироваться и открываться везде одинаково. Формат doc может не везде быть прочитан одинаково и есть проблемы с совместимостью между старым пакетом офиса Microsoft и новым. Соответственно если и открывать его при помощи альтернативных программ могут быть незначительные ошибки.

Программы для упрощения и автоматизации некоторых задач. Автоматизация производства эффективно осуществляется при помощи программы 1С:Предприятие. С недавних пор эта программа имеет специальную версию для Linux как программы-клиента, так и сервера.

Табл. 1. Аналоги некоторых проприетарных программ

Графические редакторы	
GIMP	Редактор растровой графики (аналог Photoshop). Предоставляет подавляющее большинство возможностей Photoshop включая все необходимые. Может открывать PSD файлы и все распространенные форматы растровой графики. Но для работы с CMYK требуется дополнительный модуль Separate+ или программу ImageDisk.
Krita	Графический редактор с возможностью работы с CMYK.
Inkscape	Редактор векторной графики. Сохраняет в формат SVG. Никакой CorelDraw конечно не прочтет, но можно сохранять в форматы eps, emf, pdf, которые можно практически везде прочитать.
LibreOfficeDraw	Редактор векторной графики, также поддерживающий сохранение в большинстве распространенных форматах.
Программы для верстки документов	
Psutils	Программа для сборки PDF в брошюры.
Scribus	Аналог InDesign и PageMaker. Позволяет верстать буклеты, визитки, многостраничные документы, плакаты и любую другую печатную продукцию. Может работать с CMYK без установки модулей.
LibreOfficeWriter	Аналог OfficeWord. Может сохранять и открывать множество форматов документов и сохранять. Поддерживает большинство функций MicrosoftOffice и умеет открывать doc и docx.
TeXLive	Включает в себя все компоненты издательской системы TeX. Оформление, предварительный просмотр, предпечатная подготовка. Поддерживаются многоязычные документы, математические формулы, имеются разные шрифты. Данный метапакет устанавливает набор пакетов TeXLive, который позволит выполнять все стандартные задачи, связанные с созданием электронных документов.
Программы для просмотра или печати	
Evince	Программа для просмотра многостраничных документов PDF, DJVU, DVI и другие.

Для организации принт-сервера можно использовать Samba и CUPS. Они предлагают большие возможности для создания сетевого принтера и управления им. Дополнительно при помощи Samba создать удобный и кроссплатформенный файлообмен.

Для файлообмена можно использовать, помимо рассмотренной уже программы, OwnCloud. С помощью его можно создать облачное хранилище в локальной сети.

Для установки ОС на большое количество компьютеров можно воспользоваться простым копированием жестких дисков при помощи утилиты dd и если произойдет сбой системы на каком-либо из компьютеров, то можно восстановить систему до исходного состояния.

Если есть необходимость реализации технологии WebToPrint, то свободное программное обеспечение может предоставить такую возможность ввиду открытости. Есть возможность бесплатного получения исходного кода программных продуктов с лицензией GPL и их модификация для специфических задач.

Выводы. В последнее время свободное программное обеспечение сделало большой рывок вперед. Повысилась стабильность ОС, был тщательно проработан графический интерфейс, благодаря чему стало возможным использовать некоторые дистрибутивы без профессиональной подготовки. Поэтому в ряде случаев СПО является хорошей заменой платному ПО и вместо покупки новых версий программ или создания нового рабочего места можно установить альтернативное программное обеспечение с целью экономии ресурсов.

При открытии своего нового полиграфического предприятия также будет лучше воспользоваться СПО для уменьшения первичных затрат.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://nabiraem.ru/blogs/internet/25697/>
2. http://proto.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=354&Itemid=31
3. <http://habrahabr.ru/post/168665/>
4. <http://pro-spo.ru/winbuh/4382-1spreadpriyatie-83-teper-polnoczennaya-podderzhka-linux>

Сведения об авторах

Леонтьев Владимир Васильевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент

Электронная почта: volodyaleo@gmail.com

Ваганов Вячеслав Владимирович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Ученая степень, звание: к.т.н., проф.

Должность: профессор

Электронная почта: prvaganov_spb@mail.ru

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ПЛАТФОРМЕ С ТРЕХЛЕПЕСТКОВЫМИ КОЛЁСАМИ

Аннотация. Выполнен анализ влияния формы трехлепесткового колеса на высоту преодолеваемого препятствия. Средствами компьютерного моделирования проведен анализ динамики повозки на шести трехлепестковых колёсах, получены оценки сложности преодолеваемых ею препятствий, определён режимфазовой синхронизации вращения колёс, обеспечивающий при движении по плоскостиминимальный крен и рысканье.

Ключевые слова: робот, мобильная платформа, шагающий движитель, компьютерное моделирование.

Поиск конструктивных решений, позволяющих малогабаритным мобильным робототехническим платформам преодолевать препятствия, соизмеримые с их габаритами, является одной из актуальных задач микроробототехники [1-3].

Анализ конструкций платформ мобильных роботов показывает, что применение наиболее распространенного колесного движителя становится неэффективным при движении по пересеченной местности с неровностями, превышающими доли диаметра колеса. В этих условиях использование движителей, реализующих перемещение по поверхности за счет чередования конечного числа опор (шагание), оказывается более приемлемо.

Применение независимых «ног» (опор) для перемещения робота требует решения сложной задачи управления системой более четырёх приводов. Поэтому конструктивные решения часто имеют компромиссный характер, состоящий в использовании колёс специальной формы. Такие колёса позволяют реализовать регулярную походку с минимальным числом приводов [4, 5].

Условием статического равновесия платформы является наличие не менее трех точек опоры, не расположенных на одной линии. На рисунке 1 представлено схематическое изображение видов сверху и сбоку платформы, реализующей «статически устойчивое шагание» на «трехлепестковых колёсах» [4, 5]. Объединение шести опор трехлепестковой формы в две группы (1-5-3 и 4-2-6) с одинаковой ориентацией колёс обеспечивает статическое равновесие устройству.

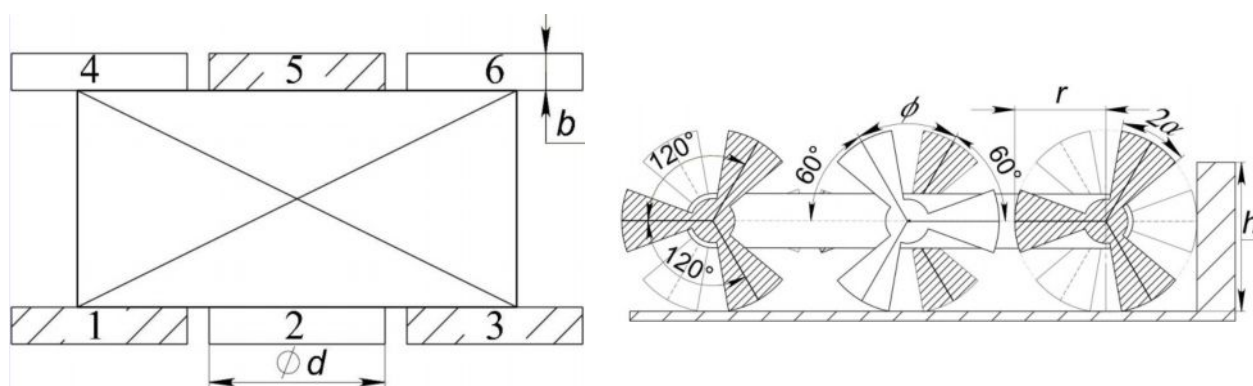


Рис. 9. Схема платформы: вид сверху и вид сбоку

Использование лепестковых колес повышает возможности платформы по преодолению препятствий, так как для лепесткового колеса точка контакта с препятствием находится на высоте большей радиуса, а реакция в этой точке определяется параметром углового размера сектора лепестка α .

С учетом обозначений рисунка 1 зависимость безразмерной максимальной высоты зацепления за уступ препятствия трехлепесткового колеса (h/r) от α определяется формулой:

$$h/r = \begin{cases} 2 \sin(60^\circ) \cos(\alpha), & \alpha \leq 30^\circ \\ 1 + \sin(60^\circ - \alpha), & 30^\circ < \alpha \leq 60^\circ \end{cases} \quad (1)$$

Из графика на рисунке 2 видно, что максимальная высота преодолеваемого препятствия соответствует минимальному углу $\alpha = 0^\circ$, когда опоры принимают вид спиц. При $\alpha = 60^\circ$ колесо принимает форму диска.

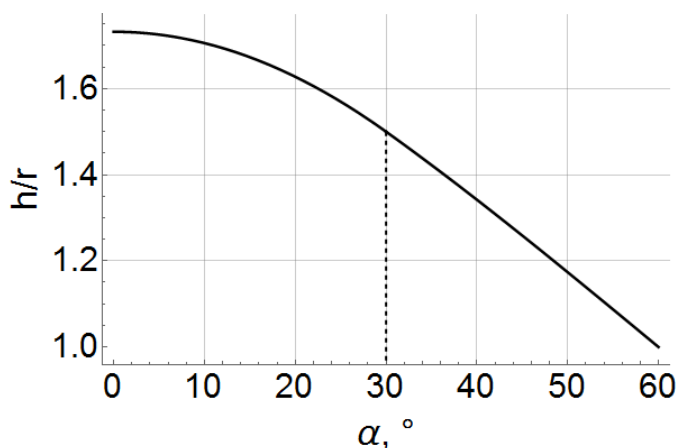


Рис. 10. Зависимость высоты зацепления от угла лепестковой опоры

При движении платформы на лепестковых колёсах центр масс (ЦМ) совершает вертикальные колебания. Размах вертикальных колебаний ЦМ зависит от значений угла лепестковой опоры α и фазового смещения ϕ между группами опор. При значениях $\alpha \leq 30^\circ$ и фазовом смещении $\phi = 60^\circ$ безразмерный размах рассчитывается по формуле:

$$\Delta y / r = \cos(30^\circ - \alpha). \quad (2)$$

На рисунке 3 приведена зависимость $\Delta y / r$ от геометрического параметра колеса – угла α .

Для шестиколёсной платформы в среде *SolidWorksMotion* проведено компьютерное моделирование динамики движения по плоскости. На рисунке 4 приведены графики семейства кривых, отображающие зависимость размаха вертикальных колебаний ЦМ модели от безразмерного времени.

Результаты получены для частоты вращения колёс $f = 1 \Gamma \zeta$. Сравнение графиков на рисунках 3 и 4 показывает, что значения размаха колебаний ЦМ, полученные в компьютерном эксперименте, совпадают с рассчитанными значениями по формуле (2).

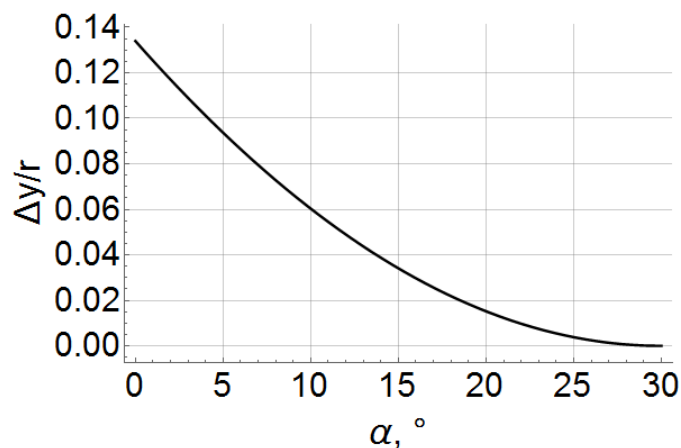


Рис. 11. Зависимость величины размаха от угла лепестковой опоры

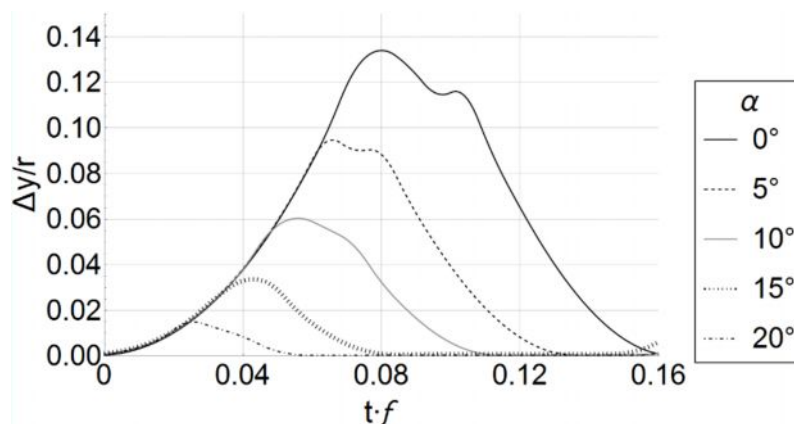


Рис. 12. Зависимости размаха ЦМ модели при различных параметрах α

Компьютерный анализ динамики модели на полигоне, в состав которого входит габаритное препятствие, подтвердил повышенную проходимость платформы на базе колес дискретной формы в сравнении с платформой на обычных колесах (рис. 5).

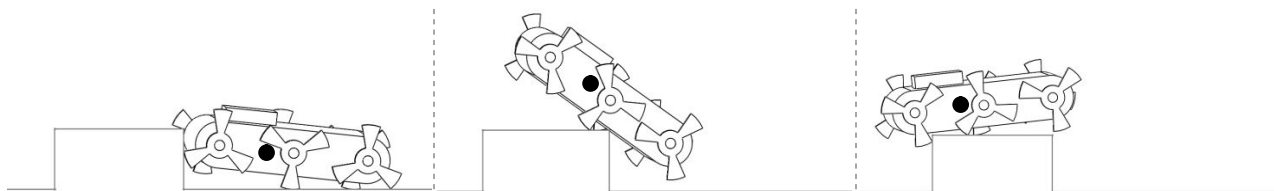


Рис. 5. Преодоление габаритного препятствия моделью на базе шести трехлепестковых колес (черная точка – положение ЦМ)

Смещение центра масс платформы относительно осредненной пары колес в сторону направления движения приводит к увеличению высоты преодолеваемого препятствия, что объясняется появлением полезного опрокидывающего момента относительно угловой точки препятствия.

В рамках проведенного исследования проанализирована форма трехлепесткового колеса, применение которого увеличивает проходимость мобильной платформы, незначительно снижая равномерность движения по плоской поверхности. Построена компьютерная модель мобильной платформы на шести трехлепестковых колесах, позволяющая получать необходимую для проектирования и изготовления макетного образца информацию и предсказывать его поведение при движении в сложнотруктурированной среде.

ЛИТЕРАТУРА:

1. J.M. Morrey, R.E. Ritzmann. Highly mobile and robust small quadruped robots/ IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Vol. 1, pp. 82-87, 2003.
2. K.C. Galloway, G.C. Haynes, B.D. Ihan. X-RHex: a highly mobile hexapedal robot for sensorimotor tasks/ University of Pennsylvania Technical Report, 2010.
3. Bittle J., Cullen C. Mini-Whegs Leg Design / EMAE283 Undergraduate research project. Cleveland, Ohio: CaseWesternReserveUniversity.
4. D. Zarrouk, A. Pullin, N.J. Kohut. STAR - Sprawl Tuned Autonomous Robot / Proceedings of the ICRA 2013, Germany, Karlsruhe, May 06-10, 2013.
5. А.О. Панов. Разработка мобильной скоростной миниатюрной мехатронной системы с нестандартной формой движителя / Выпускная работа бакалавра, СПбГПУ, Институт металлургии, машиностроения и транспорта, кафедра «Мехатроники и роботостроения» (при ЦНИИ РТК), СПб, 2014

Сведения об авторах

Панов Александр Олегович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент

Электронная почта: a.panov@rtc.ru

Иванов Александр Александрович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21

Ученая степень, звание: к.т.н., доцент

Должность: профессор

Электронная почта: al_ivanov@rtc.ru

УДК: 62.526

В.С. Павлов, С.Г. Чупров

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ПЛАТФОРМЫ НА СООСНЫХ КОЛЕСАХ MECANUM

Аннотация. Рассматривается реализация системы стабилизации бокового хода автономной платформы на соосных колёсах Mecanum. Сформулированы задачи, возникающие при синтезе такой системы и предлагается её структурная схема. Система стабилизации состоит из двух вложенных контуров управления по обратной связи. Проведено компьютерное моделирование платформы и системы управления. Показано, что предложенная система управления эффективно решает задачу стабилизации платформы, значительно снижая её колебательность.

Ключевые слова: система стабилизации; мобильная самобалансирующая платформа; ПИД-регулирование.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к самобалансирующим платформам [1-3]. Этот интерес вызван их компактностью, высоким уровнем манёвренности, а также развитием микроэлектромеханических систем микропроцессорной техники. Повысить манёвренность таких платформ можно применением роликонесущих колёс Mecanum.

В рамках работ проводимых на кафедре «Мехатроники и роботостроения» был разработан макет автономной платформы на соосных колёсах Mecanum [4, 5], далее просто

платформы. Однако, при испытаниях данного прототипа был обнаружен ряд недостатков, одним из которых являются колебания при движении платформы по ровной поверхности в направлении перпендикулярном оси вращения колёс. Разработке системы стабилизации платформы при таком движении и посвящена настоящая работа. Один из способов решения данной проблемы описан в работе [6]. Работа [5] посвящена разработке аналогичной системы стабилизации автономной платформы на соосных колёсах Mecanum.

Рассмотрим установившийся режим движения платформы, при котором движение происходит прямолинейно, перпендикулярно оси колёс, с постоянной скоростью по ровной сухой поверхности без проскальзывания. Далее будем называть этот режим боковым ходом. Для упрощения математической модели платформы будем полагать, что силы трения, действующие на колёса платформы идентичны по величине и направлению. Упрощенный

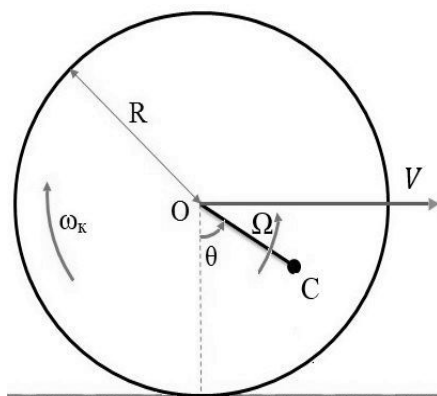


Рис. 1. Упрощенный рисунок платформы

рисунок платформы, находящейся в рассматриваемом режиме, изображён на рис. 1.

где, O – точка на оси вращения колёс, являющаяся центром вращения колёс и центра тяжести платформы;

C – точка, в которой размещён центр тяжести платформы;

R – радиус колёс;

ω_k – измеряемая угловая скорость вращения колёс платформы;

V – измеряемая скорость перемещения платформы;

Ω – измеряемая угловая скорость рамы вокруг собственной оси.

Задача стабилизации сводится к:

– Определению угла отклонения центра тяжести платформы от вертикали, обеспечивающего движение с необходимой скоростью бокового хода (задача скорости);

– определению, моментов развиваемых двигателями платформы, обеспечивающих поддержание такого угла (задача угла).

Была синтезирована двухконтурная систему управления. Вложенный контур этой системы управления решает задачу угла, а внешний контур – задачу скорости. Для решения этих задач применяется пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) регулирование. Соответствующая система управления представлена на рис. 2.

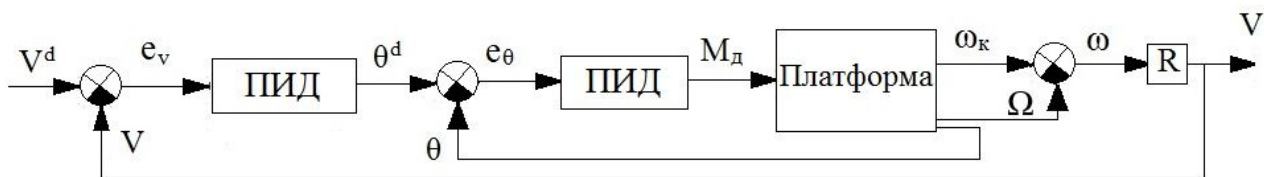


Рис. 2. Система управления для стабилизации движения автономной платформы на соосных колёсах Mecanum

На рис. 2 обозначены:

– V^d , θ^d – желаемое значение скорости бокового хода и желаемоеугла отклонения центра тяжести платформы от вертикали, вокруг оси колёс;

– M_d , ω – момент развиваемый двигателями и скорость вращения колес относительно поверхности земли.

Для проверки работоспособности предложенной системы управления было проведённое компьютерное моделирование в программе MSCAdams с использованием приложения Simulink, входящего в состав программного пакета Matlab.

Испытания виртуальной модели платформы проводились на полигоне, имеющем прямой горизонтальный участок поверхности с дальнейшим переходом в наклонную плоскость с 4° наклоном относительно горизонтальной плоскости. В ходе моделирования было проведено два компьютерных эксперимента, в первом испытывалось движение виртуальной модели платформы без использования системы управления, во втором с её использованием. В обоих случаях желаемая скорость платформы задавалась равной 0,1 м/с.

Рис. 3 отображает скорость движения платформы при проведении экспериментов. Участку времени от 0,00 до 3,00 соответствует движение платформы по горизонтальной плоскости, оставшееся время движения соответствует подъёму на уклон. Без системы стабилизации (рис 3, а) на протяжении всего движения наблюдаются колебания скорости около значения 0,1 м/с, что соответствует маякту платформы. С использованием системы стабилизации (рис 3, б) колебания величины скорости платформы заметно снизились. Время перерегулирования скорости составляет 1,5 с. Отсюда можно заключить, что предложенная система управления работоспособна.

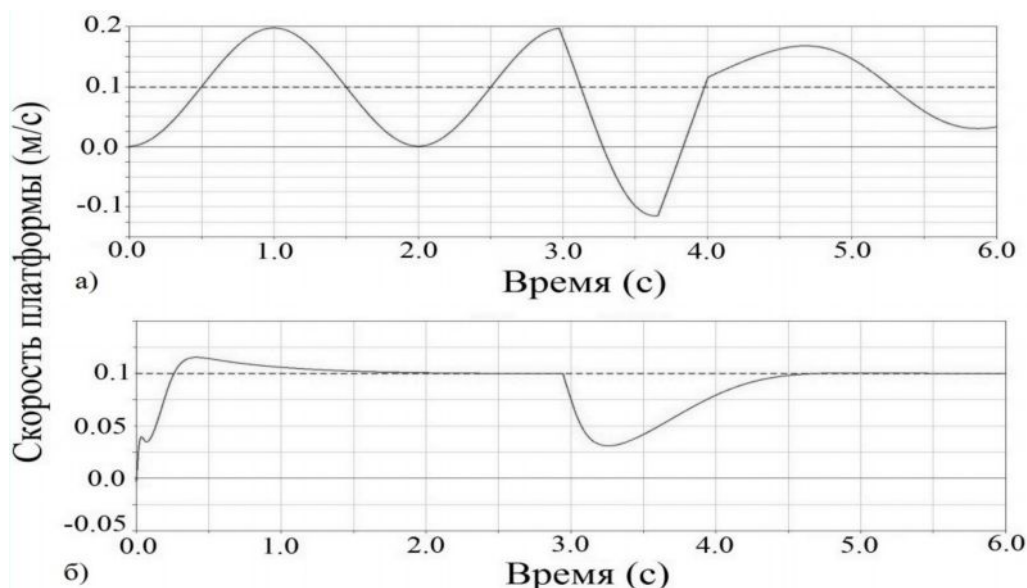


Рис. 3. Зависимость скорости движения платформы от Времени

- а) без использования системы стабилизации;
- б) с использованием системы стабилизации)

В результате проведённой работы была создана компьютерная модель автономной платформы на соосных колёсах Mecanum в среде MSCAdams, а также модель системы управления этой платформы в приложении Simulink, входящего в состав программного пакета Matlab. Проведено компьютерное моделирование, которое, во-первых подтвердило достоверность компьютерной модели платформы, и во-вторых подтвердило эффективность предложенной системы управления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Platform Segway Robotic Mobility / Hoa G. Nguyen, John Morrell, Katherine Mullens etc. // Proc. of SPIE Vol. 5609.2004– P. 207–220.

2. The mono-wheel robot with dynamic stabilization / Patryk Cieslak, Tomasz Buratowski, Tadeusz Uhl, Mariusz Giergiel. // Robotics and Autonomous Systems 59, 2011. – P. 611–619.
3. T.B. Lauwers, G.A. Kantor, and R.L. Hollis. A Dynamically Stable Single-Wheeled Mobile Robot with Inverse Mouse-Ball Drive // Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation Orlando, Florida - May 2006
4. А.А. Иванов. Динамика повозки на соосных роликонесущих колёсах // Международная научно—техническая мультikonференция. Актуальные проблемы информационно—компьютерных технологий, мехатроники и робототехники, ИКТМР—2009, Дивноморск, 2009 г.
5. В.С. Павлов. Разработка системы стабилизации движения мобильной платформы на соосных колёсах Mecanum // Выпускная работа бакалавра, СПбГПУ, институт металлургии машиностроения и транспорта, кафедра «Мехатроники и роботостроения» (при ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, 2014 г.
6. Modeling, simulation and control of an electric diwheel/ Christopher Dyer, Kane Fulton, Jonathon Harvey, Evan Schumann // Proceedings of the 2011 Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA 2011), Melbourne, Australia.

Сведения об авторах

Павлов Виталий Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент

Электронная почта: exception11@yandex.ru

Чупров Сергей Геннадьевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: ассистент

Электронная почта: s.chuprov@rtc.ru

УДК: 681.5.004.94

Д.В. Горлатов

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ КОЛЕБАНИЙ ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА С ПОМОЩЬЮ РЕАЛИЗУЕМОГО НА КОМПЬЮТЕРЕ АЛГОРИТМА

Аннотация. В данной работе рассматривается алгоритм управления кратной синхронизацией роторов вибрационного грохота, разработанный для применения в многороторных вибромашинах. Алгоритм позволяет варьировать амплитуду и форму колебаний в разных точках вибрирующего корпуса, обеспечивая при этом устойчивую синхронизацию. Неоднородность колебаний улучшает качество и производительность работы грохота в различных условиях и с разными материалами в режимах грохочения и вибротранспортирования.

Ключевые слова: вибрационный грохот, алгоритм управления, синхронизация роторов.

Вибрационные машины широко применяются во многих отраслях промышленности. Вибрационные грохоты с двумя дебалансными вибровозбудителями (неуравновешенными роторами) составляют значительный класс таких машин. Грохоты выполняют операции вибротранспортирования, разделения и просеивания материалов, имеющих различные физические свойства. Для улучшения качества этих процессов необходимо задавать неодинаковые амплитуды и формы колебаний в разных точках рабочего органа, учитывая возможные режимы работы при проектировании установки, либо внося изменения в

конструкцию механизма при модернизации. В работе [1] показано, как, задавая массы и эксцентриситеты дебалансов, а также координаты осей вибровозбудителей и разность фаз их вращения, можно производить изменения в поле колебаний виброустановки. Однако изменение кинематики при модернизации вибрационных машин является сложным и дорогостоящим процессом. Разработка специальных алгоритмов управления, реализуемых с помощью компьютера, позволяет решить эту проблему более простым и удобным способом.

Для исследования алгоритмов управляемой синхронизации был создан вибрационный стенд СВ-2, подробно описанный в работе [2]. В данной статье предлагается алгоритм управления синхронизацией для виброустановки, имеющей два неуравновешенных ротора с варьируемыми массой и эксцентриситетом, параметры которой соответствуют параметрам вибростенда СВ-2. Математическая модель установки детально изложена в работе [3]. Расчет управляющих моментов M_1 и M_2 производится по схеме, изученной в [4], в предположении, что массо-инерционные параметры роторов различаются:

$$\begin{cases} M_1 = -\gamma_1 \left\{ (1 - \alpha_1)(H - H^*)\dot{\varphi}_1 + \alpha_1 / J_1 [(\dot{\varphi}_1 \pm \dot{\varphi}_2) + (\varphi_1 \pm \varphi_2 + \Delta\varphi_{1\text{зад}})] \right\}, \\ M_2 = -\gamma_2 \left\{ (1 - \alpha_2)(H - H^*)\dot{\varphi}_2 \pm \alpha_2 / J_2 [(\dot{\varphi}_1 \pm \dot{\varphi}_2) \pm (\varphi_1 \pm \varphi_2 + \Delta\varphi_{2\text{зад}})] \right\}, \end{cases} \quad (1)$$

где $H = T + \Pi$ – полная механическая энергия системы; H^* – желаемое значение H , рассчитываемое, исходя из заданного номинального режима работы механической системы; $\Delta\varphi_{i\text{зад}}$ – задаваемый сдвиг фаз дебалансов, влияющий на установившееся значение приведенного сдвига фаз $\Delta\varphi(\infty) = \varphi_1 - \varphi_2$, как следствие, на параметры траекторий различных точек платформы; $\gamma_i > 0$, $\alpha_i > 0$.

На рис. 1 приведены результаты моделирования для грохота с различными по массе роторами при управлении с помощью алгоритма (1). Результаты получены при $H^* = 500$ Дж, $m_1 = 1,5$ кг, $m_2 = 2,5$ кг, $\Delta\varphi_{1\text{зад}} = -1$ рад; $\Delta\varphi_{2\text{зад}} = 5$ рад. Графики разности фаз и угловых скоростей роторов показывают наличие устойчивой синхронизации ($\varphi_1 - \varphi_2 \rightarrow 0$ и $\omega_1 = \omega_2$).

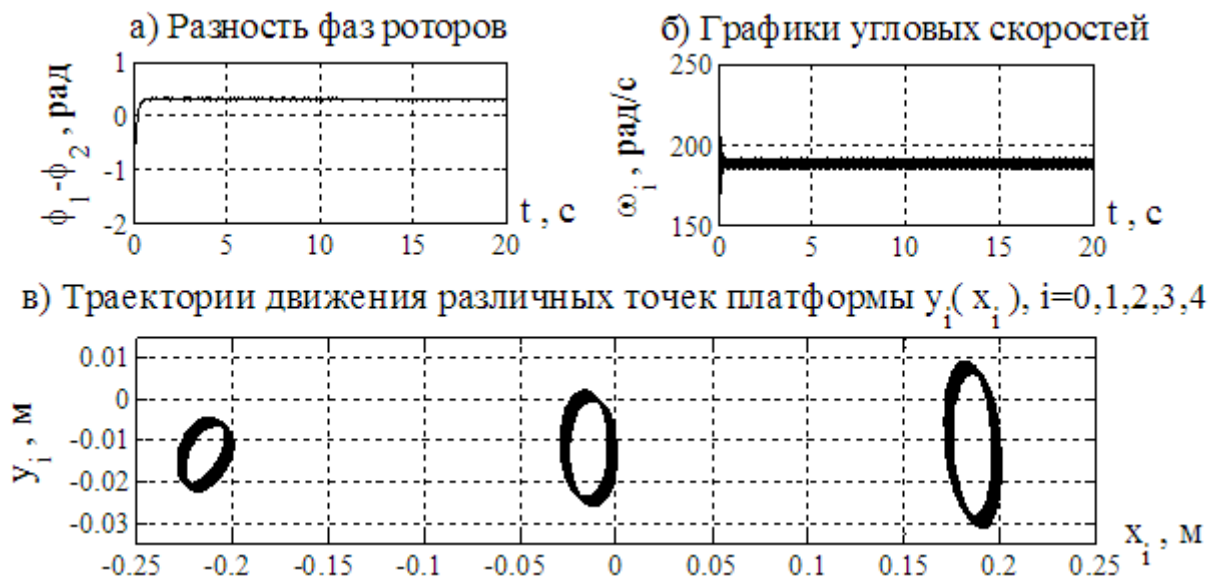


Рис. 1. Результаты моделирования при использовании алгоритма управления

Траектории сняты для трех точек платформы (короба, корпуса) вибрационного грохота, где левый график – колебания загрузочного конца, на который подается сыпучий материал,

средний график – траектория центра масс короба, правый график – колебания разгрузочного конца, где происходит сброс материала. Траектории представляют собой эллипсы и демонстрируют хорошую эффективность работы вибромашины. Для горизонтального грохота, такого как рассматриваемый в данной работе, подача сыпучего материала из бункера на загрузочный конец платформы происходит быстрее при наклоне большой полуоси эллипса вправо, что и имеет место в нашем случае. При перемещении сыпучего материала к разгрузочному концу в сторону ротора с большей массой m_2 указанная полуось эллипса принимает все более вертикальное положение, а амплитуда вертикальных колебаний возрастает. Это приводит к более интенсивному грохочению и позволяет уменьшить заторы при выгрузке сыпучего материала.

Таким образом, можно заключить, что разработанный алгоритм обеспечивает хорошую производительность вибрационного грохота при сохранении устойчивости синхронизации, положительно влияющей на срок службы пружинных вибровозбудителей и предотвращающей их преждевременный износ и выход из строя. Стоит отметить, что подобная динамика платформы грохота может быть получена с помощью аппаратных средств, а именно, за счет использования трех независимо вращающихся роторов, два из которых – парные(одинаковые), а третий – произвольный [5]. Такой подход требует сложных вычислений для определения оптимального расположения роторов. Применение алгоритма управления синхронизацией с регулированием сдвига фаз роторов (1) существенно упрощает проектирование вибромашины и синтез системы управления для нее. Использование же в конструкции двух роторов вместо трех (при той же эффективности) более экономично и облегчает модернизацию уже существующих и действующих грохотов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Фирсова А.Д. Вибрационные поля, генерируемые дебалансными вибровозбудителями // Сборник докладов 5-ой Международной конференции «Проблемы колебаний» (ICOVP-2001). М.: ИМаш, 2002. –С. 487-491.
2. Управление мехатронными вибрационными установками / Под ред. И.И. Блехмана и А.Л. Фрадкова. СПб.: Наука, 2001. – 278 с.
3. Фрадков А.Л., Томчина О.П., Галицкая В.А., Горлатов Д.В. Интегро-дифференцирующие алгоритмы скоростного градиента в задачах кратной синхронизации вибрационных установок // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 1. –С. 30-37.
4. Галицкая В.А., Томчина О.П. Пропорционально-интегральный энергоскоростной алгоритм управления кратной синхронизацией роторов вибрационной установки // Информатика и системы управления. 2012. №3 (28).
5. Rumyantsev S., Tarasov D. Numerical Simulation of Nonlinear Dynamics of Vibration Transport Machines in Case of Three Independently Rotating Vibration Exciters // Recent Advances in Applied Mathematics: Proceedings of the American Conference on Applied Mathematics (AMERICAN-MATH'10). Harvard University, Cambridge, USA, January 27-29, 2010. P. 191-194.

Сведения об авторе

Горлатов Дмитрий Владимирович
 Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
 Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
 Должность: – аспирант
 Электронная почта: gorlatovdv@zavod-vtuz.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ СО СТРУКТУРНОЙ АДАПТАЦИЕЙ ДЛЯ СОГЛАСОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НЕСКОЛЬКИХ СТЕПЕНЕЙ ПОДВИЖНОСТИ РОБОТА

Аннотация. В работе рассматривается возможность реализации подхода к управлению робототехническими системами на основе данных об архитектуре биологических нейронных структур управлением движением. Рассмотрен пример создания нейросетевого регулятора как упрощенной модели нейронной сети спинального уровня управления мышечным сокращением. Представлена структура иерархического регулятора, способного запоминать и воспроизводить состояния объекта управления.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронные сети, биоподобная модель нейрона, управление роботами, система управления

Введение. В настоящее время все больше внимания уделяется решению проблем построения систем управления динамическими объектами и систем обработки информации на основе нейронных сетей. Ведущая роль в решении подобных задач принадлежит нейрокибернетике, что обусловлено некоторыми достоинствами нейронных сетей [1]:

- необходимым условием применения традиционных методов оптимального и адаптивного управления является наличие большого объема априорной информации об объекте управления, например, данных математического моделирования. Благодаря способности нейронных сетей к самообучению, для нейроконтроллеров такой объем информации не требуется. В связи с этим можно полагать, что нейроконтроллеры пригодны для управления в условиях существенных неопределенностей;

- благодаря реализуемой в нейронной сети архитектуре параллельной обработки, повреждение отдельных элементов технических средств сети не может существенно влиять на работу сети в целом.

Большинство нейрорегуляторов, существующих на сегодняшний день, основаны на применении модели формального нейрона [2], однако такая модель имеет сильную формализацию и примитивизацию функций, что делает её далекой от моделирования реальной работы нейронов. Помимо формальной модели нейрона разработано большое число моделей, описывающих нейрон с точки зрения химии протекающих процессов [3].

Постановка задачи. В работе решается задача согласованного управления несколькими подвижными элементами робототехнической системы с помощью нейросетевых регуляторов. В качестве объекта управления использована модель двухзвенного манипулятора. Каждый регулятор должен обеспечивать поддержание заданного положения звена в пространстве в своей системе координат. Согласованная работа регуляторов положения звена обеспечивается с помощью схожего по структуре регулятора, находящегося на более высоком уровне управления.

На рис.1 показано место нейронной сети позиционирования в системе управления манипулятором.

Структура используемого нейросетевого регулятора приведена в [4]. Регулятор основан на биоподобной импульсной модели нейрона [5,6]

Способом реализации механизма согласованного управления являлась разработка нейронной сети, входом которой является информация о текущем положении каждого звена, определяемая активностью нейронов второго слоя нейронных сетей позиционирования отдельных подвижных элементов, а выходные сигналы поступали на нейроны третьего слоя соответствующих НС позиционирования [7].

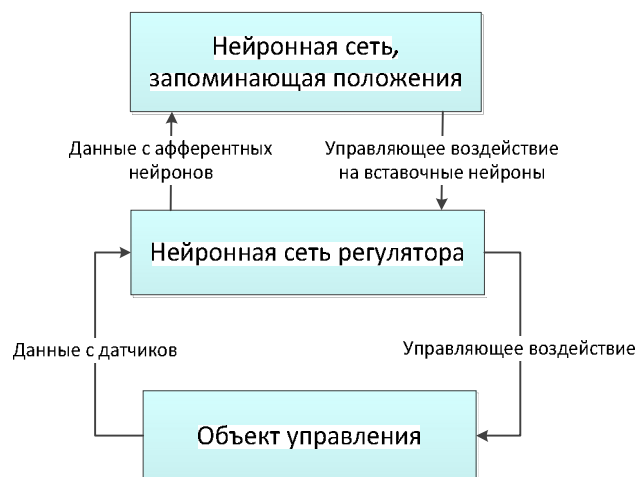


Рис. 1. Структурная схема системы управления с нейросетью позиционирования

Такая нейронная сеть согласованного управления имеет структуру, аналогичную структуре нейросетей позиционирования. Таким образом, при управлении несколькими звеньями манипулятора она сможет запоминать взаимное расположение этих звеньев. Схема для такого случая приведена на рис. 2.

В случае применения нейросети позиционирования для нескольких объектов управления, структура нейронной сети останется прежней, только на входной слой будут поступать сигналы с выходов второго слоя более низких уровней управления, а сигналы с выходного слоя такой сети будут поступать на входы третьего слоя более низких слоёв управления.



Рис. 2. Схема использования нейронной сети позиционирования для управления несколькими объектами

Экспериментальное исследование. С помощью библиотеки Neuro Modeler SDK [8] было проведено экспериментальное исследование системы управления звеном манипулятора с нейросетью позиционирования, а также исследование системы управления несколькими звеньями с нейросетью согласованного позиционирования (рис. 2).

В ходе исследований, нейросети позиционирования были обучены нескольким разным положениям звеньев манипулятора. После обучения нейронные сети позиционирования успешно приводили систему в одно из запомненных состояний, соответствующее паттерну стимуляции.

Нейросеть согласованного позиционирования была обучена нескольким состояниям с разным взаимным расположением звеньев манипулятора. После обучения, нейросеть согласованного позиционирования также успешно воспроизводила запомненные состояния, в зависимости от паттерна стимуляции.

Заключение. Исследования показали способность нейронной сети позиционирования запоминать и воспроизводить положения исполнительской системы робота. Также исследования подтвердили возможность использования аналогичной схемы для реализации более высокого уровня управления в задаче управления несколькими звеньями.

В дальнейшем планируется решать задачи комплексного управления несколькими объектами для решения задач движения по траектории.

В перспективе, расширение такого рода структуры может представлять некоторое подобие низших систем управления движением в теле человека.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сигеру О. Нейроуправление и его приложения / перев. Н.В. Бантин : ИПРЖР, 2000.
2. McCulloch W.S. Pitts W.A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // Bulletin of Mathematical Biophysics. - 1943. - Vol. 5. - pp. 115-133.
3. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. — Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.
4. Бахшиев А.В. Применение моделей нейронных структур управления мышечным сокращением в задачах управления манипулятором // Нейроинформатика, её приложения и анализ данных: Материалы XIX Всероссийского семинара, 1-3 октября 2011 г. /Под ред. А.Н. Горбаня, Е.М. Миркеса; отв. за вып. Г.М. Садовская; Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2011. – 11-16 с.
5. Бахшиев А.В. Модель нейрона со структурной адаптацией дендритного аппарата для моделирования естественных нейронных сетей управления движением // Нейроинформатика, её приложения и анализ данных: - материалы XVIII Всеросс. семинара, 27-29 сентября 2013г. / под ред. А.Н. Горбаня, Е.М. Миркеса; ИВМ СО РАН. Отв. за вып. Г.М. Садовская –Красноярск; 2013– 36-43 с.
6. Бахшиев А.В. Нейрон с произвольной структурой дендрита, математические модели биологических прототипов / А.В. Бахшиев, С.П. Романов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, №3, 2009. – 71-80 с.
7. Ф.В. Гунделах, А.В. Бахшиев. Иерархическая нейронная сеть согласованного управления элементами исполнительской системы робота // Нейроинформатика, её приложения и анализ данных: - материалы XVIII Всеросс. семинара, 26-28 сентября 2014г. / под ред. А.Н. Горбаня, Е.М. Миркеса; ИВМ СО РАН. Отв. за вып. Г.М. Садовская – Красноярск; 2014.
8. Бахшиев А.В. Библиотека средств разработки моделей нейронных сетей со сложной и динамически меняющейся архитектурой – NMSDK // Нейроинформатика, её приложения и анализ данных: - материалы XVIII Всеросс. семинара, 8-10 октября 2010г. / под ред. А.Н. Горбаня, Е.М. Миркеса; ИВМ СО РАН. Отв. за вып. Г.М. Садовская – Красноярск; 2010, с.26-30.

Сведения об авторах

Гунделах Филипп Викторович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: f.gundelakh@rtc.ru

Бахшиев Александр Валерьевич

ЦНИИ робототехники и технической кибернетики

Рабочий адрес: 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр. 21

Должность: вед. программист

Электронная почта: alexab@rtc.ru

ПАССИВНО РЕКОНФИГУРИРУЕМЫЕ КОЛЕСА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА И СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ИХ РАСКРЫТИЯ ПРИ ПРЕОДОЛЕНИИ УСТУПА

Аннотация. Предложены конструкция пассивно-реконфигурируемых колёс малогабаритного мобильного робота и структура обеспечивающей автоматическое преодоление уступов системы управления их вращением. Приведены результаты виртуальных физических экспериментов.

Ключевые слова: мобильные роботы, колеса переменного диаметра, управление движением в среде с препятствиями.

Повозка с парой независимых активных колёс и пассивной третьей опорой широко используется в конструкциях малогабаритных мобильных роботов. Используя эту кинематическую схему роботы-разведчики ReconScout [1] обладают хорошей манёвренностью и достаточно просты в управлении. Высота преодолеваемых роботом [1] препятствий не превышает четверти диаметра колеса с низким протектором и достигает трех четвертей диаметра колеса с высоким звездчатым протектором. Использование реконфигурируемых колес позволяет подобному двухколесному устройству преодолевать препятствие, высота которого превышает исходный диаметр колеса. При этом для преодоления уступа роботом на двух реконфигурируемых колёсах требуется синхронизировать процесс их раскрытия. Необходимость улучшения конструкции таких колёс и разработки системы управления их движением определяет актуальность задач, решаемых в работе.

Описываемые в литературе прототипы можно условно разделить на две группы – устройства с активно реконфигурируемыми при помощи актуаторов колесами [2-4] и устройства с пассивно реконфигурируемыми под действием сил реакций внешних связей колесами [5, 6]. При описании устройств с пассивно реконфигурируемыми колёсами подробно рассмотрены вопросы анализа, разработки и испытания механизма трансформации колеса при заезде на уступ, при этом вопросы автоматизации управления устройством с пассивно трансформируемыми колёсами в литературе не рассматривались.

В развитии идей, изложенных в работе [5], нами был разработан прототип реконфигурируемого колёса для мобильного двухколесного робота. На рисунке 1 приведено изображение виртуальной модели реконфигурируемого колеса. Диск 1 неподвижно крепится к колесу устройства посредством трех зубцов 2, 3, 4. Иницирующая нога 5 может вращаться вокруг оси 6. Движение от ноги передается посредством водила 7 к пассивной ноге 8, 9. Водило закреплено на оси 10. Пассивная нога состоит из двух частей – держателя и сдвигающейся части. Сдвигающаяся часть подпружинена (пружина крепится между штырями 11 и 12). Стопор 13 необходим для предотвращения складывания пассивной ноги при движении по горизонтальной поверхности. К иницирующей ноге, диску и сдвигающей части пассивной ноги крепятся протекторы 14, 15, 16.

Пассивные лепестки имеют форму, способствующую плавному движению устройства по опорной поверхности. Иницирующий лепесток имеет выступ, обеспечивающий контакт без проскальзывания с опорной поверхностью при преодолении уступа.

Платформа мобильного робота состоит из корпуса, жесткого хвоста и двух колес. Каждое колесо состоит из двух частей: протектора и реконфигурируемого колеса.

Виртуальное и макетное моделирование показало, что устройство, оснащенное реконфигурируемыми колесами предложенной конструкции с исходным диаметром 100 мм способно преодолевать препятствия, высота которых составляет до 150 мм.

При выполнении операции заезда на уступ, высота которого превышает радиус сложенного колеса, необходима синхронизации положения колес, так как при отставании вращения одного колеса относительно другого происходит несинхронное раскрытие и зацепление колес за уступ, что ведет к дальнейшему боковому опрокидыванию устройства.

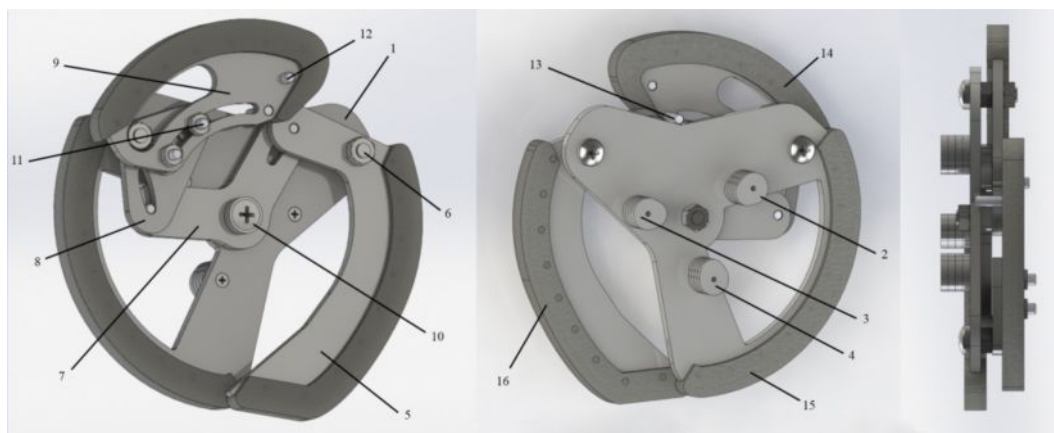


Рис. 1. Виртуальная модель реконфигурируемого колеса

Для решения задачи синхронизации положения колёс при заезде на уступ предлагается алгоритм управления вращением колёс в зависимости от бокового крена устройства. Виртуальное и физическое моделирование показало, что при раскрытии в процессе заезда на уступ только одного из колёс корпус получает боковой наклон. Для устранения крена первое колесо на «высокой» стороне необходимо затормозить, второе колесо на «низкой» стороне продолжать вращать, тогда после достижения упорным выступом необходимого положения срабатывает механизм раскрытия второго колеса и выравнивает крен. Для реализации такого алгоритма в системе управления вращением необходимо предусмотреть датчик вертикали, вычислитель и блок формирования сигналов. Упрощенная структура системы управления приведено на рисунке 2.



Рис. 2. Упрощенная структура системы управления устройством

Алгоритм управления реализуется с помощью функций переключения с использованием функции сглаженного скачка:

$$step(x, x_0, h_0, x_1, h_1) = \begin{cases} h_0, & x \leq x_0 \\ h_0 - (h_0 - h_1) \left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \right)^2 \left(3 - 2 \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \right), & x_0 < x < x_1 \\ h_1, & x_1 \leq x \end{cases} \quad (1)$$

Ниже приведены выражения, в соответствии с которыми происходит расчет скорости вращения правого (формулы (2), (3), (4)) колеса (выражения для расчета скорости вращения левого колеса зеркально отражены):

$$step(\theta, \theta_0, w_1, \theta_0 + \Delta\theta, w_1 k_1) - step(\theta, \theta_{1,0}, \theta_1 + \Delta\theta, w_1 k_1 - w_1), \quad (2)$$

$$k_1 = step\left(\frac{\varphi}{\varphi_m}, -1, 1, 1, 0\right) + step\left(\frac{\varphi}{\varphi_m}, 0, 1, 1, 1.4\right) - 1, \quad (3)$$

$$w_1 = step(\theta, \theta_2, w_{01}, \theta_2 + \Delta\theta, w_0) + step(\theta, \theta_2, w_0, \theta_2 + \Delta\theta, w_{01}) - w_0, \quad (4)$$

где w_{01} и w_{02} – задаваемые оператором скорости вращения соответственно левого и правого колес, w_0 – скорость, с которой начинают вращаться колеса при активации режима преодоления уступа, θ – угол тангажа устройства, θ_0 и θ_1 границы регулирования синхронизации, θ_2 и θ_2 параметры точек перехода w_{01} и w_{02} к скорости w_0 , $\Delta\theta$ – параметр сглаживания, φ – угол крена устройства, φ_m – угол крена, при котором w_0 обращается в 0.

Устройство, оснащенное реконфигурируемыми колесами способно осуществлять перемещение по бытовым ступеням. Предложенный алгоритм синхронизации движения колёс при преодолении уступа апробирован на виртуальной модели, продемонстрирована его работоспособность. При движении по горизонтальным поверхностям маневренные и скоростные характеристики робота с реконфигурируемыми колёсами соответствуют характеристикам устройств с низкопротекторными монолитными колёсами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://www.reconrobotics.com/> - дата обращения 04.11.2014
2. Dae-Yong Lee, Je-Sung Koh, Ji-Suk Kim, Seung-Won Kim, Kyu-Jin Cho Deformable-wheel Robot based on Soft Material // International Journal of Precision, Engineering and Manufacturing Vol. 14, No. 8, pp, 1439-1445, August 2013.
3. Dae-Young Lee, Gwang-Pil Jung, Min-Kim Sin, Sung-Hoon Ahn, Kyu-Jin Cho Deformable Wheel Robot Based on Origami Structure // IEEE/ICRA, Karlsruhe, Germany, May 6-10, 2013.
4. Dae-Yong Lee, Ji-Sum Kim, Sa-Reum Kim, Jae-Jun Park, Sa-Reum Kim, Kyu-Jin Cho Fabrication of Origami Wheel using Pattern Embbeded Fabric and its Application to a Deformable Mobile Robot // IEEE/ICRA, Hong Kong Convention and Exhibition Center, May 31 – June 7, 2017, Hong Kong, China.
5. Yoo-Seok Kim, Student Member, IEEE, Gwang-Pil Jung, Student Member, IEEE, Haan Kim, Kyu-Jin Cho, Member, IEEE and Chong-Nam Chu, Wheel transformer: A miniaturized terrain adaptive robot with passively transformed wheels, 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Karlsruhe, Germany, May 6-10, 2013.

6. Samuel M. Felton, Dae-Young Lee, Kyu-Jin Cho, Robert J. Wood Passive, Origami-Inspired, Continuously Variable Transmission // IEEE/ICRA, Hong Kong Convention and Exhibition Center, May 31 – June, 2014, Hong Kong, China.

Сведения об авторах

Харузин Сергей Вадимович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Должность: студент
Электронная почта: skharuzin@yandex.ru

Иванов Александр Александрович
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Ученая степень, звание: к.т.н., доцент
Должность: профессор
Электронная почта: al_ivanov@rtc.ru

УДК: 621.865

Е.А. Саломатина, Р.А. Чижевский

РАЗРАБОТКА ШАРНИРА МАНИПУЛЯТОРА С ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

Аннотация. Цель: требуется разработать и исследовать конструкцию шарнирного манипулятора с переменной жесткостью, выходным моментом 150 Нм и скоростью вращения не менее 50 об/мин.

Задача: сделать сравнительный анализ шарнира, разработанного IRMDLR, и проектируемого шарнира с переменной жесткостью.

Ключевые слова. IRMDLR, BAVS, манипулятор, переменная жесткость.

Манипулятор с точки зрения механики и теории механизмов - сложный пространственный управляемый механизм с несколькими степенями свободы, содержащий жесткие и упругие звенья, передачи и приводы. [1]

Недавние исследования в области робототехники привели к развитию технологии переменной жесткости шарнира и созданию биологически мотивированной руки робота. Использование приводов с переменной жесткостью обеспечивает ряд преимуществ. Например, возможность аккумулирования механической энергии в шарнирах манипулятора. [2]

Накопленная в шарнирах механическая энергия может быть использована для решения динамических задач, таких как бросание мяча или во время ходьбы. Принцип, называемый концепцией двунаправленной противодействующей переменной жесткости, был использован для разработки предплечья и запястья руки робота. [3]

В институте робототехники и мехатроники германского центра авиации и космонавтики был разработан шарнир манипулятор, основанный на концепции переменной жесткости.

Шарнир, разработанный IRMDLR, установлен в манипулятор, который имеет форму и размеры человеческой руки, с пятью пальцами. При разработке в первую очередь решались вопросы надежности системы. Суставы обычных манипуляторов жесткие и имеют ограниченное число степеней свободы. Основное отличие разработанной "руки" от других манипуляторов в том, что она может контролировать свою жесткость. Ключевым элементом

в разработке шарнира является пружинный механизм, который позволяет накапливать и высвобождать энергию в шарнирах манипулятора, обеспечивает ему больше упругости. Эта возможность является ключевым фактором для получения необходимой прочности и для имитации кинематических, динамических и силовых свойств человеческой руки. [4]

Шарнир, разработанный IRMDLR, предплечья робота – это механическое устройство, использующее симметрично расположенные двигатели, волновые и конические зубчатые передачи, кулачковые механизмы и пружину для реализации желаемой зависимости жесткости шарнира от его вращающего момента.

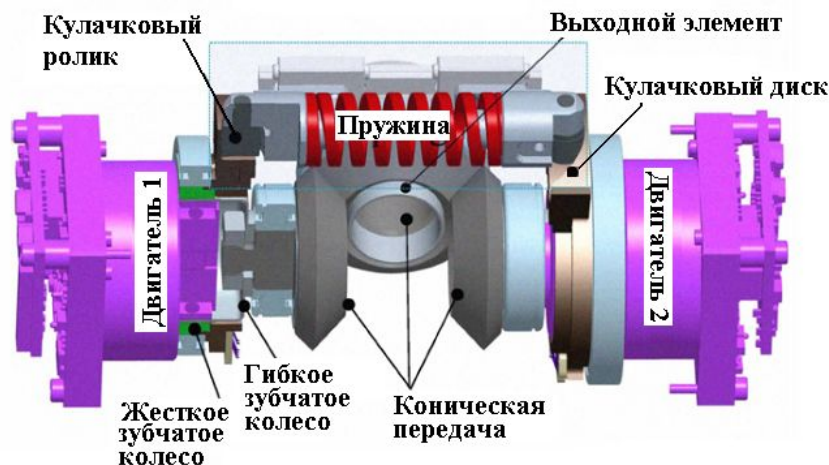


Рис. 1. Шарнир, разработанный IRMDLR, в предплечье робота

Шарниры двунаправленной противодействующей переменной жесткости (BAVS) лучше всего удовлетворяют требованиям:

- предплечье: основная задача для шарнира, вращающегося в предплечье, заключается в передаче к предплечью кабелей питания и коммуникационной шины, при этом обеспечивая диапазон вращения 180°;
- имитация кинематических, динамических и силовых свойств человеческой руки требует изменения вращающего момента шарниров;
- необходимость низкого коэффициента трения и низкая инерция механической конструкции, чтобы достичь высоких динамических возможностей. [5]

Одним из основных элементов устройства являются волновые передачи, основанные на принципе передачи вращательного движения за счет бегущей волновой деформации одного из зубчатых колес.

Сравнительный анализ шарнира, разработанного IRMDLR, и проектируемого шарнира манипулятора с переменной жесткостью

Для проведения сравнительного анализа шарнира, разработанного IRMDLR, и проектируемого шарнира манипулятора с переменной жесткостью ввела сравнительный коэффициент, характеризующий удельную мощность на единицу массы:

$$k = M \times V / m, \quad (1)$$

где M – выходной момент шарнира, Нм;

V – угловая скорость вращения выходного вала шарнира, об/мин;

m – масса шарнира, кг.

Для шарнира аналога (привода DLR) сравнительный коэффициент:

$$k = 8 \text{ Нм} \times 160 \text{ об/мин} / 0,96 \text{ кг} = 1333 \text{ Нм} \cdot \text{об} \cdot \text{кг/мин} \quad (2)$$

Для проектируемого шарнира манипулятора с переменной жесткостью сравнительный коэффициент:

$$k = 150 \text{ Нм} \times 50 \text{ об/мин} / 4,421 \text{ кг} = 1696,45 \text{ Нм} \cdot \text{об} \cdot \text{кг/мин} \quad (3)$$

По вычисленным данным можно сделать вывод, что проектируемый шарнир манипулятор является быстродействующим, более мощным и более эффективным, в отличие от шарнира, разработанного IRMDLR.

Вес проектируемого шарнира манипулятора с переменной жесткостью $m = 4,421 \text{ кг}$ определила суммированием масс, входящих в него деталей. Массы стандартных деталей определены ГОСТами, массы волновых редукторов и электродвигателей определены заводскими паспортными данными. Массы нестандартных деталей (корпус, конические колеса, стаканы, и т.д.) рассчитывались с учетом их объема и плотности материала. В качестве материала для изготовления корпуса шарнира, стаканов и гильз использовался алюминиевый деформируемый сплав АМг6.

ЛИТЕРАТУРА:

1. M. Grebenstein, A. Albu-Schaffer, T. Bahls, M. Chalon, O. Eiberger, W. Friedl, R. Gruber, U. Hagn, R. Haslinger, H. Hoppner, S. Jorg, M. Nickl, A. Nothhelfer, F. Petit, J. Reill, N. Seitz, T. Wimbock, S. Wolf, T. Wusthoff, and G. Hirzinger, "The dlr hand arm system," in Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2011.
2. J.W. Hurst, J.E. Chestnutt, and A.A. Rizzi, "An actuator with physically variable stiffness for highly dynamic legged locomotion," in Proc. IEEE Int. Conf Robotics and Automation ICRA'04, vol. 5, 2004, pp. 4662-4667.
3. B.-S. Kim and J.-B. Song, "Hybrid dual actuator unit: A design of a variable stiffness actuator based on an adjustable moment arm mechanism," in Proc. IEEE Int Robotics and Automation (ICRA) Conf, 2010, pp. 1655-1660.
4. S. Haddadin, A. Albu-Schaffer, O. Eiberger, and G. Hirzinger, "New insights concerning intrinsic joint elasticity for safety," in Proc. IEEE/RSJ Int Intelligent Robots and Systems (IROS) Conf, 2010, pp. 2181-2187.
5. F. Petit, M. Chalon, W. Friedl, M. Grebenstein, A.A. Schaeffer, and G. Hirzinger, "Bidirectional antagonistic variable stiffness actuation: Analysis, design & implementation," in Proc. IEEE Int Robotics and Automation (ICRA) Conf, 2010, pp. 4189-4196.

Сведения об авторах

Саломатина Елена Александровна

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент магистратуры

Электронная почта: ya.alisa7797@yandex.ru

Чижевский Роман Александрович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: начальник отдела ЦНИИ РТК

Электронная почта: mobrob21@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА «ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА» ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ В КАДРЕ

Аннотация. Методики обнаружения и сопровождения отдельных объектов в сценариях видеонаблюдения на данный момент созданы и хорошо проработаны. В статье рассматривается модификация оптического потока, учитывающая траекторию движения особой точки и ее направление. Может использоваться для наблюдения и контроля больших скоплений объектов (толпа людей, поток автомашин) с целью поиска аномалий, которые могут означать возникновение опасной ситуации.

Ключевые слова: оптический поток, траектория, направление движения, скопление объектов, видеонаблюдение.

Актуальность проблемы. На сегодняшний день существует достаточное количество систем для видеонаблюдения и анализа видеопотока с целью поиска отдельных объектов. Большая часть таких систем основывается на анализе разницы текущего кадра с фоном, по максимумам которой можно определить области движения на кадре. В частности, на данный момент существуют разработки подобных систем даже для камер с возможностью поворота, они работают сходным образом, но используют несколько более сложные алгоритмы работы с фоном [1, 2].

Обзор литературы. Основа метода оптических потоков представлена в статье [3] Лукаса и Канаде, где описывается методика поиска положения особых точек на следующем кадре, а также статье Дж. Ши и К. Томаси [4], описывающих алгоритм выбора и оценки качества особых точек с точки зрения сопровождения. Этот подход неоднократно рассматривался различными учеными с целью улучшить те или иные характеристики метода. В частности, в статьях описываются различные подходы к формированию и обработке оптического потока [5] и способы повышения производительности расчета оптических потоков с использованием возможностей видеокарты персонального компьютера [6].

Цели и задачи работы. В работе представлена еще одна модификация, которая использует стандартный метод, но модифицирует получаемые данные. Работа всех алгоритмов высокого уровня, способных проводить анализ ситуации основывается на данных, возвращаемых оптическим потоком. Для каждой из точек алгоритм возвращает положение, направление движения, скорость и степень достоверности, т.е. насколько вероятно то, что точка действительно находится в указанном положении и движется с указанной скоростью.

Реализация. Алгоритм работает по следующему принципу (см. рис. 1). Основу его составляет стандартный оптический поток.

На первом шаге алгоритма (на первом кадре видеопоследовательности) происходит инициализация алгоритма, т.е. определение положений все особых точек, найденных на изображении в соответствии с алгоритмом Дж. Ши и К. Томаси [4]. Для этого используется стандартная функция из библиотеки OpenCV на последующих кадрах обработка происходит в два этапа. Сначала происходит обновление положения особых точек, в соответствии с алгоритмом Лукаса-Канаде [3], т.е. происходит вычисление стандартного оптического потока также средствами библиотеки OpenCV [7]. После этого производится повторный поиск особых точек и добавление их к списку.



Рис. 1. Схема алгоритма

С целью получения достоверной информации о направлении и скорости движения точек сохраняется история изменения положения для каждой точки. Таким образом, на каждом шаге при расчете скорости анализируется не только ее текущее положение и мгновенная скорость, но также и история изменения этих параметров.

Результаты. На рисунке ниже (см. Рис. 2) показаны результаты работы метода. Центры окружностей соответствуют положениям обнаруженных особенностей, радиусы отображают их возраст (длину траектории) и достоверность.



Рис. 2. Пример работы метода

Заключение. Описанные выше изменения позволили существенно повысить качество определения параметров для каждой точки. Точность определения этих данных особенно важна для анализа ситуации в толпе при виде с камеры, расположенной достаточно высоко, когда люди представлены всего одной, максимум двумя точками. Это делает алгоритм более устойчивым к выбросам.

Данное решение может быть использовано для различных целей, среди которых:

- анализ пассажирских и транспортных потоков;
- определение нестандартного поведения в толпе (движение против толпы, хулиганские действия и пр.);
- обнаружение дорожно-транспортных происшествий и т.п.;
- поиск препятствий на пути мобильного робота.

Для каждого из предложенных выше применений должен быть разработан свой алгоритм высокого уровня.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Системы видеонаблюдения [электронный ресурс] // Вокорд. Системы видеонаблюдения, распознавания лиц, фотофиксации нарушений ПДД, аудиорегистрации. URL: <http://www.vocord.ru/press-center/reviews/sistemy-videonablyudeniya/> (Дата обращения – 16.11.2014)
2. Kang, S. Real-time video tracking using PTZ cameras/S. Kang, J.-K. Paik, A. Koschan, B.R. Abidi, M.A. Abidi // Proceedings of the SPIE. – 2003. – pp. 103-111.
3. Lukas, B. An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision/B.D. Lukas, T. Kanade // Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '81). – 1983. – pp. 674-679.
4. Shi, J. Good Features to Track/J. Shi, C. Tomasi // Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 1994. – pp. 593-600.
5. Reyes, A. Optical Flow Estimation using Phase Only-Correlation/A. Reyes, A. Alba, E. Arce-Santana // 3rd Iberoamerican Conference on Electronics Engineering and Computer Science, CIECC 2013. – 2013. – pp. 103-110.
6. Aziz, M. Accelerated Optical Flow Function Algorithm Using Compute Unified Device Architecture/Mohd Zafran bin Abdul Aziz, Petrus Simon Anak Ibai, Syed Farid Syed Adnan, Mohd Saufy, Rohmad, Ahmad Khushairy Bin Makhtar, M.A.A Ghani // International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012). – 2012. – pp. 1343-1352.
7. Motion Analysis and Object Tracking [электронный ресурс] // OpenCV 2.4.9.0 documentation. URL: http://docs.opencv.org/modules/video/doc/motion_analysis_and_object_tracking.html (Дата обращения - 05.11.2014)

Сведения об авторах

Фомин Иван Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр. 21

Должность: студент, инж. 2к

Электронная почта: Aivan_2008@mail.ru

Бахшиев Александр Валерьевич

Центральный научно-исследовательский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК)

Рабочий адрес: 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр. 21

Ученая степень, звание: нет

Должность: ведущий программист

Электронная почта: alexab@rtc.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Аннотация. В статье рассматривается задача обнаружения объектов на основе преобразования Хафа и его экспериментальное исследование. В качестве объекта исследования взят стыковочный узел международной космической станции (МКС). Приведен разработанный алгоритм поиска стыковочного узла с использованием встроенных функций среды разработки MATLAB и приложения ImageProcessingToolbox. Описаны достоинства, недостатки алгоритма, а также направление дальнейшего исследования.

Ключевые слова: обнаружение объектов, преобразование Хафа, стыковочный узел МКС.

На сегодняшний день существуют различные методы обнаружения объектов на цифровом изображении: TLD (Tracking-Learning-Detection) - алгоритм обнаружения и сопровождения объектов [1], метод Виолы - Джонса [2] и другие. Однако методы обнаружения объектов, имеющие высокие показатели надежности и устойчивости, требуют значительных временных и машинных ресурсов для обучения на новых объектах.

Результатом работы алгоритма обнаружения объектов считается формирование геометрического описания области на изображении, относящихся к искомому объекту. Несмотря на достигнутые успехи в решении отдельных задач, проблема все еще остается актуальной. Конкретные алгоритмы существенно зависят как от цели обнаружения малоразмерных объектов, так и от ограничений на содержание сцены [3].

Задачей и целью работы является разработка метода обнаружения стыковочного узла международной космической станции (МКС) на основе преобразования Хафа и его экспериментальное исследование.

Идея преобразования Хафа состоит в поиске кривых, которые проходят через достаточное количество точек интереса. Семейство кривых на плоскости задается параметрическим уравнением:

$$F(a_1, a_1, \dots, a_n, x, y) = 0, \quad (1)$$

где $F(\cdot)$ – некоторая функция;

$a_1, a_2, \dots, a_n$ – параметры семейства кривых;

(x, y) – координаты на плоскости.

Параметры семейства кривых образуют фазовое пространство, каждая точка которого (конкретные значения параметров $a_1, a_2, \dots, a_n$) соответствует некоторой кривой. Ввиду дискретности машинного представления и входных данных (изображения), требуется перевести непрерывное фазовое пространство в дискретное пространство. Каждой ячейке фазового пространства можно поставить в соответствие число (счетчик), указывающее количество точек интереса на изображении, принадлежащих хотя бы одной из кривых, соответствующих данной ячейке. Анализ счетчиков ячеек позволяет найти на изображении кривые, на которых лежит наибольшее количество точек интереса.

В данной работе будет применено преобразование Хафа для поиска окружностей. Геометрическое место точек окружности можно представить в виде формулы:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = R^2, \quad (2)$$

где (a, b) – координаты центра окружности;

(x, y) – координаты точки на окружности;

R – ее радиус.

Формула, задающая семейство окружностей, имеет вид:

$$F(a, b, R, x, y) = (x - a)^2 + (y - b)^2 - R^2 \quad (3)$$

В данной работе, для более точного обнаружения, стыковочный узел будет описываться окружностью заданного радиуса, задаваемого в пикселях.

Разработанная компьютерная модель включает в себя модуль поиска кругов с использованием встроенных функций среды разработки MATLAB и приложения ImageProcessingToolbox, который подробно описан в [5]. На рис. 1 представлена блок-схема основных этапов алгоритма.

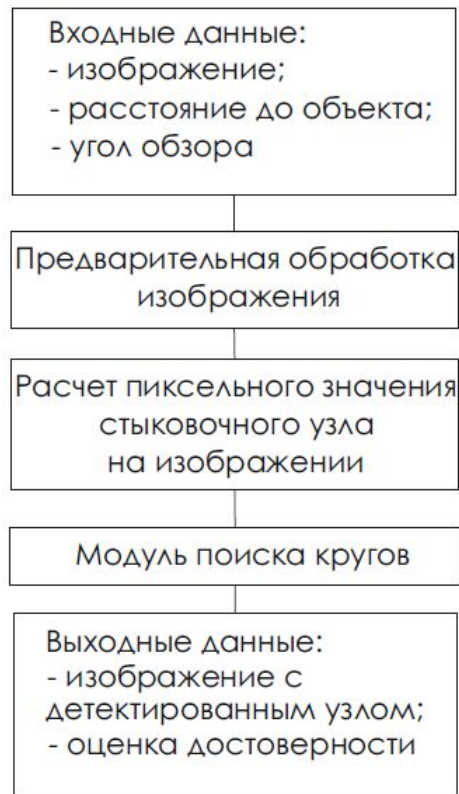


Рис. 1. Структура алгоритма обнаружения стыковочного узла на основе преобразования Хафа

Исходными данными являются последовательность кадров процесса стыковки, заданные расстояния до объекта и угол обзора камеры. Поскольку для работы алгоритма необходимо задание радиуса искомого объекта в пикселях, идет расчет пиксельного размера стыковочного узла на изображении на основе заданных значений расстояний и угла обзора.

Кроме этого, необходимо выполнить предварительную обработку изображения. В данной работе было применено преобразование в полутоновое изображение для лучшего обнаружения стыковочного узла.

Далее выполняется детектирование кругов. Для лучшего обнаружения стыковочного узла поиск кругов применялся несколько раз для разных радиусов, соответствующих различным конструктивным элементам стыковочного узла.

В таблице 1 приведены результаты работы алгоритма на трех разных роликах процесса стыковки. Оценка надежности рассчитывалась как отношение результата обнаружения на i -ом кадре (объект обнаружен или нет) к общему числу кадров в данной последовательности.

Табл. 1. Результаты работы алгоритма на трех роликах

№ Ролика	Оценка надежности
1	0,7118
2	0,7433
3	0,6921

Достоинством метода обнаружения объектов на основе преобразования Хафа является высокая пиксельная точность обнаружения стыковочного узла. Прежде всего, это объясняется тем, что в прямоугольную рамку, которая используется, к примеру, в четырехкаскадном детекторе [1], попадают лишние объекты, в то время как метод Хафа точно описывает стыковочный узел.

Недостатком метода является необходимость тонкой настройки параметров функции поиска кругов на последовательности кадров. Для точного определения стыковочного узла необходима определенная подборка таких параметров, как коэффициент чувствительности (Sensitivity), коэффициент детектора краев (EdgeThreshold), для каждой видеопоследовательности.

В связи с этим, направлением дальнейших исследований является разработка алгоритма настройки параметров для модуля обнаружения объектов на основе преобразования Хафа и обучение этого алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Georg Nebehay. Robust Object Tracking Based on Tracking-Learning-Detection // Vienna Science and Technology Fund, 2012. – 2 p.
2. Viola, Jones. Robust Real-time Object Detection. – IJCV, 2001. – 7 p.
3. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 15 с.
4. Duda R.O., Hart P.E. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures // Comm. ACM, Vol. 15, 1972. – pp. 11–12.
5. [Электронный ресурс]: Image Processing Toolbox: <http://www.mathworks.com/products/image/>. (Дата обращения: 03.11.2014).

Сведения об авторах

Ганин Петр Андреевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рабочий адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Должность: студент 5-го курса

Электронная почта: p.ganin@rtc.ru

Бахшиев Александр Валерьевич

ЦНИИ Робототехники и Технической Кибернетики

Рабочий адрес: 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д.21

Должность: ведущий программист

Электронная почта: alexab@rtc.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОТЯЖЁННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Аннотация. В данной статье автор описывает проведённую работу по исследованию способов обнаружения протяжённых объектов на изображениях. Кратко описываются существующие методы обработки изображений и распознавания образов, используемые в проведённой работе. Приводится алгоритм их совместного использования, задачей которого является обнаружение на изображениях трубопровод. Статья содержит результаты, полученные в результате работы приведённого алгоритма.

Ключевые слова. Техническое зрение, компьютерное зрение, протяжённый объект, C++, OpenCV.

Описание распознаваемого объекта.

В качестве изображений для экспериментов были выбраны гидролокационные изображения с автономного необитаемого подводного аппарата, в связи актуальностью разработок в данной области [1]. Гидролокационное изображение представляет собой двумерную матрицу, каждая ячейка содержит 16-битное значение высоты рельефа подводного дна в координатах, соответствующим расположению ячейки в матрице. На рисунке 1 приведено гидролокационное изображение с примечаниями.

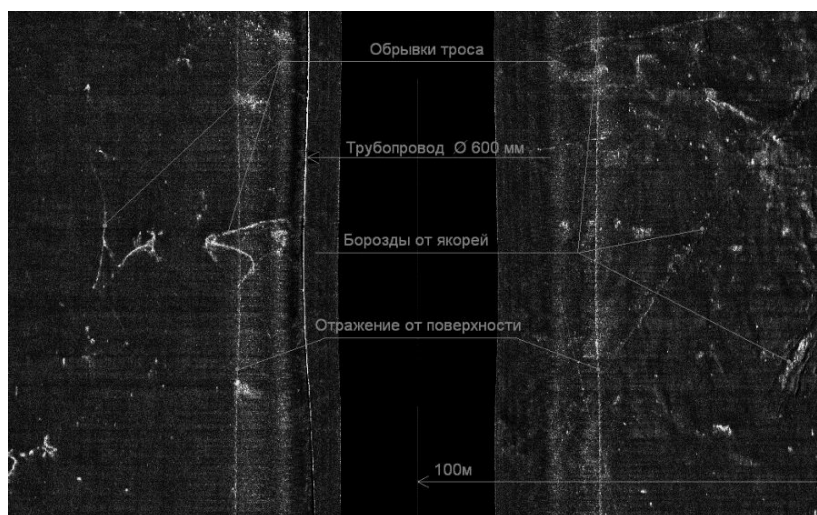


Рис. 1. Пример гидролокационного изображения с АНПА

Как видно на рисунке 1 гидролокационное изображение содержит множество объектов. Распознать необходимо объект типа «трубопровод», которое обладает характерными особенностями, такими как ярко выраженным максимумом яркости толщиной несколько пикселей, а также минимумом яркости, расположенному сбоку от максимума, и достаточно высокой протяжённостью границ (см. рисунок 2).

Алгоритм реализовывался на языке программирования C++ с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV[2].

Согласно описанию объект типа «трубопровод» имеет несколько характерных признаков: выраженные протяжённые прямолинейные границы, сечение трубопровода представляет собой совокупность минимума и максимума. Некоторые другие объекты, такие как «отражение от поверхности» имеют схожие характеристики с искомым объектом, такие

как выраженный максимум яркости и прямолинейные протяжённые границы, в связи с чем, для уменьшения ложных срабатываний следует использовать весь набор характерных признаков.

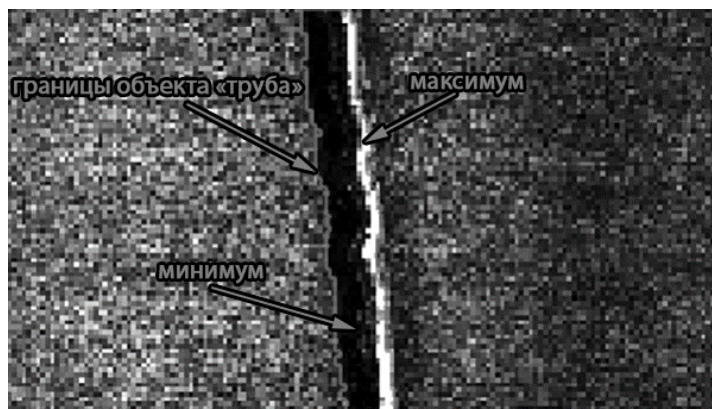


Рис. 2. Фрагмент изображения объекта «трубопровод»

Описание алгоритма распознавания объекта типа «трубопровод»

Для выделения искомого объекта по максимуму яркости и выраженности границ максимума используется оператор Кенни[3].

Далее необходимо найти наиболее протяжённые и прямолинейные границы. Для поиска прямых линий используется алгоритм вероятностного поиска линий Хафа [4].

Объект «трубопровод» представляет собой совокупность параллельных линий. Чтобы определить совокупность каких прямых линий представляет собой объект «трубопровод» используется аккумулятор для накопления голосов линий, данный метод схож с обобщёнными преобразованиями Хафа [5]. Ячейка аккумулятора включает в себя накопленное значение голосов и метки о том, какие линии проголосовали в данную ячейку. Каждая найденная линия голосует совокупностью точек с одинаковым весом (по умолчанию равному 1) в аккумулятор, совокупность точек голосования представляют собой две линии, параллельные исходной линии и расположенные по обе стороны от неё на определённом расстоянии. Точки, в которых линии голосования накладываются, имеют значение, превосходящее значение веса в несколько раз, а следовательно в эти точки проголосовали параллельные друг другу линии. Рисунок 3 и 4 наглядно демонстрируют данный алгоритм.

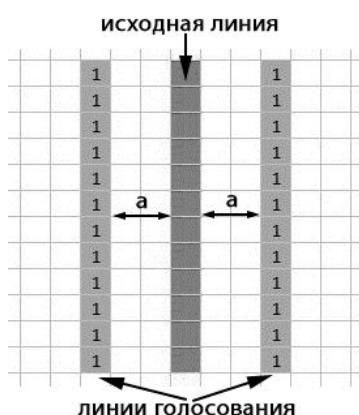


Рис. 3. Линии голосования



Рис. 4. Пример двух голосующих линий

На рисунке 5 представлен фрагмент визуализированного аккумулятора, получившегося в результате работы разрабатываемой программы. Пиксели со значением яркости 60 представляют собой наложение линий голосования.

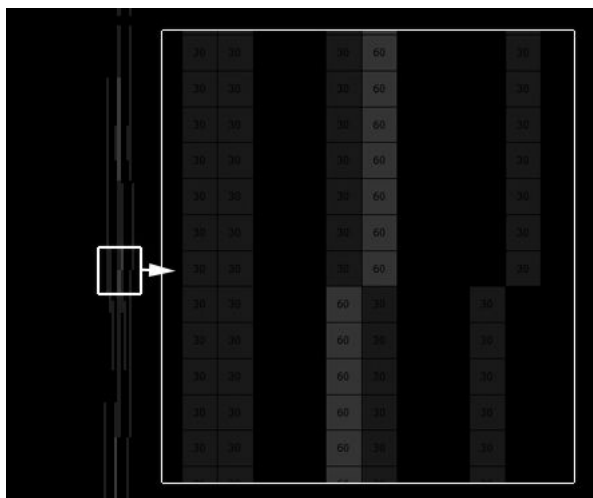


Рис. 5. Фрагмент аккумулятора

Для выделения ячеек аккумулятора с высокими значениями используется пороговая фильтрация. Далее в каждый участок оставшихся ячеек с ненулевым значением вписывается линия, после чего происходит соединение концов ближайших относительно друг друга линий. Данный подход позволяет получить координаты центров сечений трубопровода, при необходимости можно определить конкретные границы искомого объекта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Павин А.М. Идентификация подводных протяженных объектов на акустических снимках гидролокатора бокового обзора / Приборы. 2009. №12;
2. OpenCV-About. URL: <http://opencv.org/about.html> (дата обращения: 23.11.2014);
3. Wikipedia. Canny edge detector.
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Canny_edge_detector (дата обращения: 23.11.2014);
4. Преобразование Хафа // Компьютерная графика и мультимедиа. URL: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/36> (дата обращения: 23.11.2014);
5. Wikipedia. Generalised Hough transform.
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Generalised_Hough_transform (дата обращения: 23.11.2014).

Сведения об авторах

Мороз Юрий Сергеевич
ЦНИИ Робототехники и Технической Кибернетики
Рабочий адрес: 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр. 21
Должность: программист 2 категории
Электронная почта: crazysiberianscientist@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ОТДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	3
Секция «Автоматы»	3
<i>Шабанов Д.В., Павелчук К.Е., Федотов А.М.</i> Оценка качества работы регуляторов двухприводного мобильного робота с лазерной навигацией. Задача движения в точку	3
<i>Кузьменко Д.Н., Лазарев Е.А., Маленков М.И.</i> Выбор концепции и предварительное моделирование движения самоходного шасси планетохода с адаптивной подвеской мотор-колес	6
<i>Жавнер В.Л., Никитина К.В.</i> Система управления манипулятором	10
<i>Зиен Хоанг Фи, Смирнов А.Б.</i> Двухкоординатный столик с пьезоприводом.....	13
<i>Зиен Хоанг Фи, Егорова Э.Ю., Смирнов А.Б.</i> Исследование биморфных пьезоактюаторов двухкоординатного столика	17
<i>Попов А.Н., Кузнецова В.В., Никитина Ю.В.</i> Пневматический ударный стенд	21
Секция «Станкостроение»	25
<i>Панкратов Ю.М., Ворфаламеева Я.Ю.</i> Проектирование обкатных инструментов способом сопряжения	25
<i>Панкратов Ю.М., Ворфаламеева Я.Ю.</i> Проектирование дисковых инструментов с использованием одномерной оптимизации станочных наладок	28
<i>Петков П.П., Веденина А.И.</i> Модернизация привода главного движения радиально-сверлильного станка модели 2К52-1	31
<i>Сенькин Е.Н., Данилова Е.И.</i> Алгоритм решения краевой задачи сливного стружкообразования и его численная реализация.....	33
<i>Сенькин Е.Н., Голубев А.Г.</i> Постановка и граничные условия численного метода решения краевой задачи сливного стружкообразования	36
<i>Бундур М.С., Пелевин Н.А., Прокопенко В.А.</i> Разработка алгоритма расчета параметров гидростатического подшипника при не концентричном положении шпинделя для схем управления «насос-карман» и «дроссель-насос-карман».....	40
<i>Котовс И.А., Пересадыко Ю.В.</i> Гидравлический следящий привод высокой точности.....	44
Секция «Компьютерные технологии в машиностроении»	47
<i>Ошурев А.М., Югов И.Д.</i> Разработка интерактивного электронного технического руководства по обслуживанию крана судна	47
<i>Решетников В.И.</i> Использование магнитной левитации в транспорте	50

<i>Бажин В.Ю., Назарова М.Н., Родин С.С.</i> Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования компрессорных станций газопроводов	55
<i>Юдкина Н.А., Филиппов С.В., Колосько А.Г., Попов Е.О.</i> Автоматизация установки для исследования термического и полевого воздействия на углеродные наноструктурированные материалы	57
<i>Мячина Л.А.</i> Визуализация движения моделируемых динамических систем	60
Секция «Машиноведение и основы конструирования»	64
<i>Петров А.К., Фадин Ю.А.</i> Контролируемое шлифование при механической обработке волокнистых композитов	64
<i>Шейнфиш В.В., Елисеев В.В.</i> Применение математического моделирования для решения проблем разрыва цепи мотокультиваторов	67
<i>Чувакова М.К., Ашейчик А.А.</i> Исследование динамического модуля и модуля внутреннего трения эластомеров.....	70
<i>Оборин Е.А., Елисеев В.В.</i> Соотношение упругости для лопаток турбин как закрученных стержней	74
<i>Москалец А.А., Елисеев В.В.</i> Расчет колебаний турбинных лопаток вариационным методом	78
<i>Шейнфиш В.В., Заборский Е.В.</i> Стенд для исследования трибологических характеристик резьб	81
<i>Безенкин Н.В., Скотникова М.А.</i> Влияние степени и дробности предварительной пластической деформации на физико-механические свойства медных поковок стенок кристаллизаторов.....	85
<i>Номинас С.В., Тарасенко Е.А.</i> Динамическое исследование устройств ударного типа для брикетирования промышленных отходов	88
<i>Носов В.В., Зеленский Н.А.</i> Акустико-эмиссионные исследования дефектов прочного корпуса подводного аппарата	90
<i>Номинас С.В., Носов В.В.</i> Оценка состояния сосудов давления по результатам акустического контроля.....	95
<i>Комарникова Н.Н., Носов В.В.</i> Методы контроля состояния подшипников качения	97
<i>Eliseev V.V., Bahrami M.R.</i> Saw-tooth oscillations of electrical transmission line conductor as the result of moving inspection robot on it	101
<i>Додашвили Т.А., Резников С.С.</i> Моделирование образования следов на пуле во время выстрела	105
<i>Фомичевский Е.А., Седакова Е.Б.</i> Исследование возможности применения эмпирического закона изнашивания для прогнозирования износа полимерных композитов.....	108
<i>Иванова Г.В., Скотникова М.А.</i> Локализация пластической деформации в ГПУ – кристаллах при вдавливании	111
<i>Мазурин В.Л.</i> Экспериментальное определение коэффициента трения скольжения и интенсивности изнашивания полиуретана по абразивной поверхности	115

Секция «Машины и технология обработки металлов давлением»	119
<i>Курятников А.А., Лоськов К.О., Мамутов В.С.</i> Расчет напряженного состояния режущей кромки матрицы при импульсной штамповке полиуретаном	119
<i>Зайцев А.М., Кузнецов П.А.</i> Разработка технологии и устройства для раскатки осесимметричных спеченных равноплотных изделий	122
<i>Арсентьева К.С., Мамутов В.С.</i> Формуемость тонколистовых низкоуглеродистых металлов при импульсных и статических нагрузках	125
<i>Кононов И.Ю., Гимранова Л.Р., Кузнецов П.А.</i> Компьютерное моделирование и анализ комбинированного последовательного выдавливания ступенчатых полостей в спеченных заготовках	128
<i>Кононов И.Ю., Аксёнов Л.Б.</i> Моделирование процессов горячей объёмной штамповки на основе применения 3D - принтера	133
<i>Кедо Д.Л., Мартынов К.В., Гоциридзе А.В.</i> Исследование процесса прессования профилей из сплавов на основе меди в условиях ОАО «Завод «Красный Выборжец»	136
<i>Востров В.Н., Кононов П.В., Сунь Да</i> Компьютерное моделирование процесса раскатки фланцев	140
<i>Кононов П.В., Кудымец А.В.</i> Компьютерное моделирование кинематики течения металла в процессе раскатки фланцев	143
 Секция «Инженерная графика и дизайн»	146
<i>Автюшенко А.Л., Иванов В.М.</i> Разработка и адаптация технологий конвертации двухмерного изображения в трехмерную сцену	146
<i>Руденко А.О., Мещеряков С.В.</i> Сравнительный анализ программных средств балансировки ресурсов высоконагруженных приложений	149
<i>Суханова А.С., Лаптев В.В.</i> Вопросы визуального восприятия графических паттернов структуры данных	152
<i>Павлова Д.М., Янчус В.Э.</i> Инструментальные средства исследования воздействия цвета и цветовых контрастов в кинокадре	155
<i>Ермолова Т.К., Митрофанов А.А.</i> Вопросы графического представления информации в электронных мониторинговых системах.....	159
<i>Миндорина А.И.</i> Ивановский агитационный орнамент	162
<i>Никифоров Н.В.</i> Методы психологического воздействия на игрока в компьютерных играх	165
<i>Беляева М.В., Диодорова Т.И.</i> Временная типографика как новый вид дизайна. Становление терминологии	169
<i>Шишкина А.И., Диодорова Т.И.</i> Онлайн плакат как метод обучения	172
<i>Клыгач А.С., Орлов П.А.</i> Исследование особенностей привлечения внимания в стереоизображении	174
<i>Щемелинин Д.А., Мещеряков С.В.</i> Технология быстрого обновления программных интерфейсов в условиях высокой загрузки веб-приложений.....	177
<i>Зенина А.С.</i> Языческая символика современного орнамента	179
<i>Золина В.В., Хрузин Ю.Т.</i> Кухня – трансформер для малых помещений	182
<i>Крюкова А.А., Хрузин Ю.Т.</i> Мобильное кафе	186
<i>Манакowa А.А., Долгая Н.А., Гуськова Д.П.</i> Анализ роли специалиста по связям с общественностью в сфере WEB-дизайна	189

<i>Моисеева М.В.</i> Использование выразительных средств живописи при визуализации трехмерной графики	192
<i>Калясин Д.В., Карпова Ю.И.</i> История развития концепт-арта в игровой индустрии	195
<i>Петровичева А.А., Хрузин Ю.Т., Дьяченко В.А.</i> Тренажер для скалолазания	198
Секция «Теория механизмов и машин»	202
<i>Борина А.П., Терёшин В.А.</i> Динамическое стояние	202
<i>Тимофеев Б.П., Сачков М.Ю.</i> Зубчато-поводковая передача	205
<i>Каразин В.И., Хисамов Л.А.</i> Разработка систем управления верхнего уровня для сложных машин и механизмов	208
Секция «Технология конструкционных материалов и материаловедение»	212
<i>Захаров С.В., Ушомирская Л.А.</i> Технологическое оборудование для нанесения коррозионностойкого покрытия на ТУК-146	212
<i>Волох О.Ю., Коротких М.Т.</i> Проектирование автоматического оборудования для нанесения маркировки на концевой инструмент	215
<i>Левашова Е.Л., Яковицкая М.В.</i> Защита внешних поверхностей трубопроводов от коррозии	218
<i>Коротких М.Т., Марцинкевич И.А.</i> Исследование микродугового оксидирования поверхности деталей из алюминиевых сплавов и разработка технологического оборудования для реализации процесса	221
<i>Макин В.В.</i> Расчет оптимальных режимов плазменно-электролитического оксидирования в зависимости от толщины покрытия	224
<i>Герасимов А.С., Ушомирская Л.А.</i> Разработка технологического процесса изготовления сложнопрофильных поверхностей детали «Диск»	228
<i>Коротких М.Т., Мельник Д.В.</i> Оценка размерного износа графитового электрода-инструмента при обработке алюминиевого сплава	232
<i>Никитенко В.М., Каргопольцев А.С., Журтубаев Д.К.</i> Поиск новых решений в автомобильной промышленности	234
<i>Безматерных А.В., Левин К.Л.</i> Исследование коррозии импедансными методами	237
<i>Фирсов А.Ю., Шахова Н.Д.</i> Способ оценивания неизмеряемых параметров алюминиевого электролизера при помощи косвенных измерений	240
<i>Федорова Э.Р., Фирсов А.Ю.</i> Система управления сгустителем красных шламов	243
Секция «Технология машиностроения»	246
<i>Калининская А.Л., Дегтярев В.В.</i> Особенности конструкции и технологии изготовления деталей роликовинтовой передачи	246
<i>Евстратьев Е.В., Степанов С.Н.</i> Разработка методики оценки зеркала цилиндров двигателя внутреннего сгорания	252
<i>Логинов А.А., Дегтярев В.В.</i> Особенности конструкции и технологии производства циклоидальных редукторов (тип <i>RV</i>)	254

<i>Денисов В.В., Петров А.В., Тарасов С.Б.</i> Исследование влияния различных факторов на контактные наноизмерения	259
<i>Шарамыгин С.А., Никитков Н.В.</i> Особенности конструкции и технологии производства планетарно-цевочных редукторов	264
<i>Бурханов Р.Р., Четвериков И.А.</i> Технологические особенности формообразования глубоких отверстий в детали «корпус форсунки»	268
<i>Тугушев Р.Ш., Четвериков И.А.</i> Оптимизация проектирования групповых технологических процессов на основе нейросетевых алгоритмов сбора и анализа их технологических и технико-экономических показателей	271
<i>Тишков А.А., Степанов С.С.</i> Повышение эффективности поверки ручного инструмента за счет применения нового эталонного прибора	274
<i>Семененко А.А., Мурашкин С.Л., Степанов С.Н.</i> Плосковершинное хонингование	278
<i>Любомудров С.А., Ротаренко О.Ю.</i> Влияние параметров резания на качество поверхностного слоя при точении титановых сплавов	281
<i>Цимко Т.А., Макарова Т.А.</i> Обеспечение качества изготовления деталей из труднообрабатываемых материалов в авиационном двигателестроении за счет рационального подбора оборудования	285
<i>Ларионов Е.О., Козарь И.И.</i> Выбор режущего инструмента при резании труднообрабатываемых материалов в авиационном двигателестроении	288
<i>Паневин С.С., Жуков Э.Л.</i> Автоматизированный многопараметрический стенд для исследования процесса резания при точении жаропрочных титановых сплавов	290
<i>Савельев И.С., Слатин В.И.</i> САМ система полирования рентгеновской оптики малоразмерным инструментом	292
<i>Анухин И.В., Мурашкин С.Л., Анухин В.И., Слатин В.И.</i> Оценка точности тепловизионного метода измерения температуры в зоне резания при точении	297
<i>Чвыков А.В., Жуков Э.Л.</i> Расчет сил резания при фасонном фрезеровании	301
<i>Акуленко А.А., Четвериков И.А.</i> Диагностика и контроль колебаний технологической системы при механической обработке	304
<i>Савельев И.С., Слатин В.И.</i> Технологический процесс изготовления мастер-шаблонов цилиндрической оптики	307
Секция «Транспортные и технологические системы»	311
<i>Николаевский Н.Н., Радаев А.Е., Пилипчук С.Ф.</i> Обоснование технологии погрузочно-разгрузочных работ на терминалах сыпучих грузов	311
<i>Шабанов П.А., Щербакова С.А., Жукова А.М., Фрейдинов Ю.Л.</i> Использование методов анализа рисков при проектировании производственной логистики	314
<i>Митлигин К.Ю.</i> Определение оптимальных параметров пролетного строения причального портового контейнерного крана-перегрузателя. Сравнительный и структурный анализ.	318
<i>Краснова Е.Е., Манжула К.П.</i> Применение NEURAL NETWORK TOOLBOX для аппроксимации многоаргументных функций	321
<i>Гаврилов П.А.</i> Анализ сейсмостойкости грузоподъемных кранов с учетом геометрической нелинейности	325
<i>Воропаев А.Н., Плотников А.В., Стукач А.В.</i> Стенд для исследования работы колодочного и дискового тормозов	327

<i>Плотников А.В., Бортяков Д.Е., Орлов А.Н.</i> Исследование влияния инерционных нагрузок при установившемся движении системы изменения вылета порталного крана	330
<i>Плотников Д.Г., Соколов С.А.</i> Оценка пластических свойств элементов крановых конструкций.....	334
<i>Зайцев И.Н., Манжула К.П.</i> Развитие трещины в сварном соединении с непроваром при действии сдвига	337
<i>Воропаев А.Н., Соколов С.А.</i> Сравнение порталов на основе анализа методом конечных элементов	341
<i>Краснова С.В.</i> Расчет на прочность направляющих коробчатого сечения	343
<i>Кондрашов Н.А., Шестопалов А.А.</i> Модель процесса уплотнения асфальтобетонных смесей дорожными катками.....	347
 Секция «Управление конструкторско-технологическими инновациями»	350
<i>Обманова Ю.К., Седлер М.И.</i> Организация процесса селективной сборки	350
<i>Смук А.Ю., Седлер М.И.</i> Повышение качества процесса управления претензиями на машиностроительном предприятии	353
<i>Давыдова В.С., Степанова В.А.</i> Решение проблемы повышения качества управления документацией в процессе входного контроля деталей путем создания автоматизированного приложения	357
<i>Бочкарева Ю.В., Седлер М.И.</i> Повышение качества учета технологической оснастки путем создания автоматизированного приложения	360
<i>Домрачев А.В., Седлер М.Х.</i> Повышение качества контроля сплошности и толщины антикоррозийного покрытия прямолинейных труб	364
<i>Копосова И.В., Седлер М.И.</i> Создание системы нормирования сборочных операций на предприятии ОАО «НОВАЯ ЭРА»	367
 Секция «Полиграфические машины»	371
<i>Люттов А.В., Ваганов В.В.</i> Особенности применения комбинированных способов печати	371
<i>Куров М.В., Ваганов В.В.</i> Повышение качества узкорулонной флексопечати по алюминиевой фольге красками FUJIFILMSERICOL	375
<i>Беляев В.В., Ваганов В.В.</i> Особенности и преимущества короткого красочного аппарата печатных машин фирмы HEIDELBERG	379
<i>Колтышев К.П., Ваганов В.В.</i> Анализ особенностей технологии «WEB-TO-PRINT» и возможности её применения в России	383
<i>Перминов Ю.Д., Ваганов В.В.</i> Объемная этикетка. Особенности технологии производства	387
<i>Коришунов Д.С., Ильина И.А.</i> Анализ выбора оборудования для фальцевания различных видов печатной продукции.....	390
<i>Леонтьев В.В., Ваганов В.В.</i> Перспективы и возможность использования СПО в полиграфии.....	394

Секция «Мехатроника и робототехника»	398
<i>Панов А.О., Иванов А.А.</i> Анализ динамики движения мобильного робота на платформе с трехлепестковыми колёсами	398
<i>Павлов В.С., Чупров С.Г.</i> Стабилизация движения автономной платформы на соосных колесах MECANUM	401
<i>Горлатов Д.В.</i> Управление параметрами колебаний вибрационного грохота с помощью реализуемого на компьютере алгоритма	404
<i>Гунделах Ф.В., Бахшиев А.В.</i> Исследование модели нейронной сети со структурной адаптацией для согласованного управления движением нескольких степеней подвижности робота	407
<i>Харузин С.В., Иванов А.А.</i> Пассивно реконфигурируемые колеса для мобильного робота и система синхронизации их раскрытия при преодолении уступа	410
<i>Саломатина Е.А., Чижевский Р.А.</i> Разработка шарнира манипулятора с переменной жесткостью	413
<i>Фомин И.С., Бахшиев А.В.</i> Использование метода «оптического потока» для определения скоростей и направлений движения в кадре	416
<i>Ганин П.А., Бахшиев А.В.</i> Исследование перспектив применения преобразования Хафа для обнаружения элементов космического аппарата на изображении	419
<i>Мороз Ю.С.</i> Исследование способов обнаружения протяженных объектов на изображениях	422

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
«НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбПУ»**

**Материалы научно-практической конференции
1 – 6 декабря 2014 года**

**ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ
МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА**

Часть 2

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 953004 — научная и производственная литература

Подписано в печать 21.04.2015. Формат 60 × 84/16.
Усл. печ. л. 27,0. Тираж 100. Заказ 88.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного редакционной
коллегией Института металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ,
в Типографии Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14