Министерство образования и науки Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбПУ



МАТЕРИАЛЫ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
14–19 НОЯБРЯ 2016 ГОДА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА

Часть 2

POLYTECH ПОЛИТЕХ

Санкт-Петербург•2016

УДК 621.01
ББК 34
Н42

Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Ч. 2. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 358 с.

В сборник включены статьи студентов, аспирантов, молодых ученых и сотрудников СПбПУ, университетов, научных организаций и предприятий Санкт-Петербурга, России, зарубежных стран по материалам докладов, принятых на секционные заседания конференции «Неделя науки СПбПУ» Института металлургии, машиностроения и транспорта, проведенной в рамках форума «Политехническая неделя в Санкт-Петербурге». Статьи отражают современный уровень научно-исследовательской работы участников конференции в области машиностроения.

Представляет интерес для специалистов в различных областях знаний, для 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, Л.А. Ушомирская, В.И. Слатин,
Е.П. Кукушкина, М.И. Седлер

Печатается по решению
Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ISBN 978-5-7422-5575-8 (ч. 2)
ISBN 978-5-7422-5518-5

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016

ОТДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

СЕКЦИЯ «АВТОМАТЫ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА»

УДК 620.1.052.4

А.Н. Попов, М.Н. Полищук, А.К. Васильев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЫБОР ФОРМИРОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УДАРНОГО ИМПУЛЬСА ТРЕБУЕМОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Ударным воздействиям наряду с климатическими и вибрационными подвергается большинство объектов человеческой деятельности. Удары могут быть следствием падения при перегрузке, тряске при транспортировке или результатом неаккуратного обращения. Падение ответственных промышленных устройств, транспортных контейнеров для вредных и радиоактивных отходов, военной техники и приборов, профессионального инструмента, детских игрушек и многих других изделий не должно приводить к изменению их свойств. Одним из обязательных условий, подтверждающих качество таких изделий является испытание на ударное воздействие [1]. Для проверки изделий на ударное воздействие используют различные ударные испытательные стенды. Вопросам разработки ударных стендов большое внимание уделяют многие зарубежные компании. В настоящее время ударные стенды с грузоподъемностью от 5 до 10000 кг выпускаются компаниями LansmontCorporation, VibrationandShockTechnologies, AvexElectronicsInc (США), ELSTAR Elektronik AG (Швейцария), SonicDynamics, DonglingTechnologies (КНР) и рядом других.

Актуальность проведения испытаний на пневматических ударных стендах многократного действия, равно как и их исследования, обусловлены требованием ГОСТ Р 51371-99, широкими возможностями этого типа оборудования, быстрым совершенствованием элементной базы пневматики и отсутствием достаточных теоретических рекомендаций по синтезу оборудования данного типа [2].

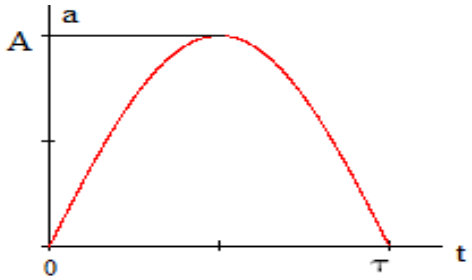


Рис. 1. Вид воспроизводимого ударного импульса ускорения

Одними из важнейших характеристик ударных стендов являются воспроизводимые параметры ударного импульса: амплитуда, длительность и форма. Сложность воспроизведения импульса с предельными параметрами определяется их корреляцией, например, невозможно воспроизвести импульс большой амплитуды в тысячи g и большой длительности в сотни мс, обеспечив при этом его полусинусоидальную форму. На практике длительность и форма ударных импульсов, как правило, подбирается за счет разных формирователей импульса, устанавливаемых между ударным столом с испытуемым изделием и наковальней, пиковое ударное ускорение – скоростью стола перед ударом [3].

В предположении, что формирователь имеет невысокую жесткость и линейную характеристику, можно считать, что воспроизводимый импульс имеет полусинусоидальный закон изменения ускорения $a(t) = A \cdot \sin$ (рис. 1).

Параметры ударного импульсазависят от большого количества факторов, однако, можно выделить основные, влияющие наиболее значимо:

- длительность импульса τ определяется, в первую очередь, общей массой падающего груза (масса стола и испытуемого изделия) и жесткостью формирователя;
- амплитуда ударного импульса *A* зависит от скорости груза в момент соударения с наковальней.

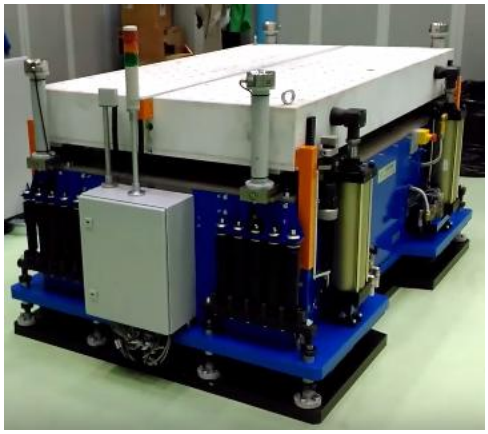


Рис. 2. Фотография ударного стенда СПУ1200

Таким образом, задачу обеспечения требуемых параметров ударного импульса и соответственно оценку пределов их изменения можно разделить на два этапа. На первом этапе за счет выбора формирователя получают необходимую длительность импульса, а на втором – при уже известной длительности – обеспечивают необходимую амплитуду, добиваясь нужной скорости соударениястола с наковальней.

Целью работы является определение теоретических оценок зависимостей между длительностью импульса τ и характеристиками формирователя, а также проверка полученных результатов, на разработанном специалистами кафедры «Автоматы» ударном пневматическом стенде многократного действия - СПУ1200 грузоподъемностью 1200 кг. Фотография стенда приведена на рис. 2.

Формулы, связывающие жесткость формирователя (c) с длительностью импульса (τ) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Частота свободных колебаний системы объект-формирователь	Период свободных колебаний упругой системы объект-формирователь	Длительность ударного импульса ускорения полусинусоидальной формы	Жесткость формирователя
$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{c}}$	$\tau = \frac{T}{2} = \pi\sqrt{\frac{m}{c}}$	$c = \frac{\pi^2 \cdot m}{\tau}$
c - жесткость формирователя; *m* – полная масса падающего объекта;			

При известной массе стола можно оценить жесткость формирователя для получения импульса требуемой длительности. Далее необходимо установить зависимость между жесткостью формирователя и его геометрическими размерами.

Эксперименты, проведенные на макете СПУ300 с формирователями цилиндрической формы из полиуретанас твердостью по Шору 65А, 85А, 95А высотой 20, 40, 60 мм при варьировании диаметра, выявили близкую к линейной (рис. 3) связь жесткости формирователя с его площадью *s* (мм^2): $c = ks + b$ Н/м, где $k \approx 2{,}5 \cdot 10^9$ Н/м^3, $b \approx -1{,}0 \cdot 10^6$ Н/м.

Существует эмпирическое правило, которое позволяет оценить высоту формирователя: необходимо ограничить максимальную динамическую деформацию формирователя до 10 - 15% от его первоначальной высоты. Если этот предел превышен, существует риск получения нелинейных зависимостей [4].

Формирователь нужного диаметра выбирается из имеющегося ряда на основе оценки: $d = \sqrt{\frac{4}{\pi \cdot k}\left(\frac{\pi^2 m}{\tau^2} - b\right)}$. На рис. 4 приведена зависимость жесткости формирователя цилиндрической формы из полиуретана от его диаметра (высота цилиндра 20 мм). Учитывая массу стола – 1200 кг, массу испытуемого изделия – 400 кг, требуемую длительность импульса – 20 мс, по формуле был вычислен диаметр формирователя равный 120 мм. Цилиндрический формирователь с конической рабочей частью общей высотой 20 мм и диаметром 120 мм был изготовлен из полиуретана и установлен на наковальню ударного стенда СПУ 1200. В результате получен ударный импульс, представленный на рис. 5. Линией *1* обозначена верхняя допустимая граница импульса, линией *2* – нижняя допустимая граница импульса. Полученный импульс (линия *3*) имеет длительность 20 мс и оценивается согласно ГОСТ на уровне в 10% от амплитудного значения.

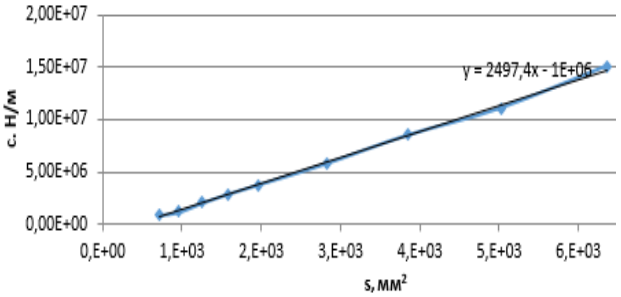


Рис. 3. Зависимость жесткости формирователя от его площади

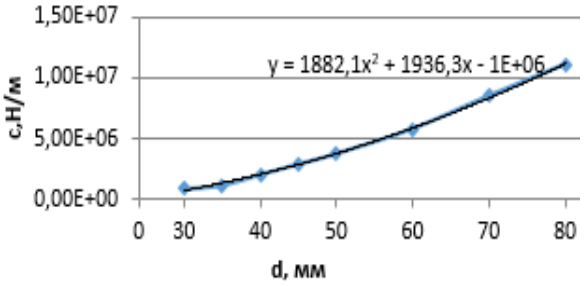


Рис. 4. Зависимость жесткости прокладки от ее диаметра

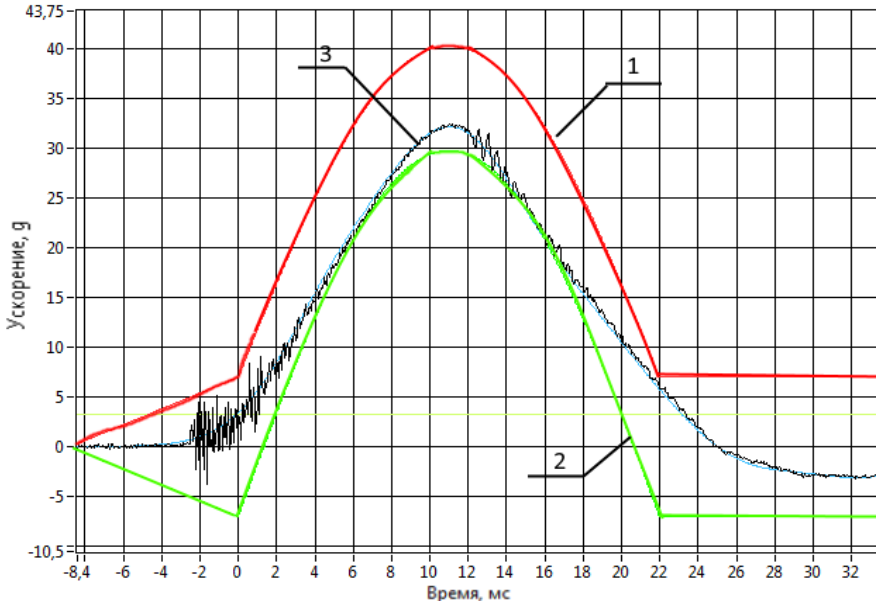


Рис. 5. Импульс, полученный с цилиндрическим формирователем высотой 20 мм и диаметром 120 мм

Определив константы k и b для цилиндрических формирователей из полиуретана разной высоты, например, с шагом 10 мм, можно составить номограммы, где по требуемой жесткости определяется диаметр формирователя, обеспечивающий требуемую длительность ударного импульса.

Полученные в работе зависимости позволяют лишь оценить требуемые характеристики формирователя. Между расчетной и экспериментальной длительностью импульса как правило имеет место расхождение 20...30%, которые вызваны тем, что в оценках не учитывается нелинейная характеристика деформации от силы (динамическая жесткость), нестабильные свойства материала формирователей, погрешности виброакселерометров и пр.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Ударный стенд свободного падения. Тимофеев А.Н., Попов А.Н., Полищук М.Н. Современное машиностроение. Наука и образование. 2013. № 3. С. 247-255.
2. Моделирование работы пневматического ударного стенда. Попов А.Н., Васильев А.К. В книге: Научный форум с международным участием «Неделя науки СПбПУ»: материалы научно-практической конференции. Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ. Санкт-Петербург, 2015. С. 23-27
3. А.Н. Попов, М.Н. Полищук, Ал.Н. Тимофеев. Стенды для механических испытаний: учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016, с 82-83.
4. Christian Lalanne. Mtchanical Shock: monograph. ISTE Ltd and John Wiley& Sons, Inc, 2009, с 21.

УДК 621.651; 621.05.03; 621.65.07, 62-82

Ф.И. Кочанжи, Е.А. Волков, О.Н. Мацко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НЕФТЕДОБЫЧИ ШТАНГОВЫМИ ГЛУБИННЫМИ НАСОСАМИ

Актуальность. Сокращение затрат на единицу продукции – одна из наиболее актуальных задач, стоящих перед производителями любых видов товара, и нефтедобывающие компании не исключение. В связи с тем, что значительная доля в себестоимости добычи приходится на затраты на энергетику, повышение энергоэффективности подъема и транспортировки нефти становится одним из приоритетных направлений в работе добывающих компаний и производителей оборудования. [1].

В условиях разработки низкодебитных скважин основными путями снижения себестоимости нефти являются внедрение энергоэффективных технологий и повышение объема добываемой жидкости за счет кустовой разработки месторождения [2].

Одним из привлекательных способов снижения энергопотребления является использование современного частотно-регулируемого привода совместно с суперконденсатором (СК). Сегодня на рынке можно найти суперконденсаторы емкостью 650–3000 Ф и напряжением 2,7 В. В то же время по плотности запасаемой энергии, достигающей 30 кВт·ч/кг, СК близки аккумуляторам. [3]

Цели и задачи работы. Целью данной работы является оптимизация управления напряжением в звене постоянного тока, параллельно соединенных двух частотно-регулируемых приводов насосов, при помощи источника питания и конденсаторной батареи большой ёмкости.

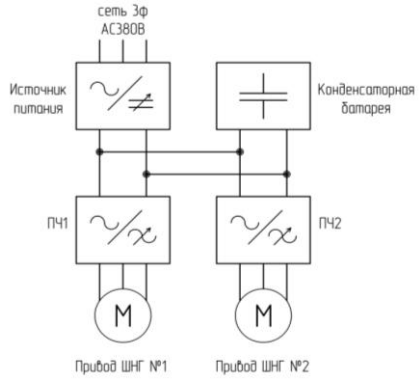


Рис. 1. Структурная схема

Результаты. В настоящей работе, показано, что существенное снижение энергопотребления может быть обеспечено за счет использования кинетической энергии движущегося вниз штока при подъеме нефти, и реализован следующий подход: в качестве привода штангового глубинного насоса (ШГН) используется линейный реечный привод. При движении штока вниз приводной двигатель переводится в генераторный режим. Приводы ШГН при кустовой разработке соединены по звену постоянного тока. К звену постоянного тока подключена конденсаторная батарея большой емкости. В результате кинетическая энергия штока запасается в конденсаторной батарее. Запасенная энергия с помощью микропроцессорной системы управления, подбирающей темп откачки каждого из насосов,

расходуется при подъеме нефти, обеспечивая экономию электроэнергии. Структурная схема разработанной системы представлена на рис. 1.

Задачей расчета является подбор значения потребляемой активной мощности сети, при которой среднее значение напряжение на конденсаторе является постоянной величиной (при повышении указанного напряжения мощность избыточна и расходуется на заряд батареи, а при понижении, соответственно недостаточна и вызывает разряд батареи).

Расчетная модель в среде MATLAB R2013a приведена на рис. 2 для случая подключения двух приводов ШГН, имеющих максимальное значение потребляемой мощности 20 кВт, а генерируемой при движении штанг вниз 6 кВт с периодами откачивания 12 с и 16 с каждая [4]. Моделирование показало, что подключение конденсаторной батареи суммарной емкостью 1,2 Ф позволяет снизить энергопотребление с максимального значения 40 кВт до 12,5 кВт т.е. в 3,2 раза.

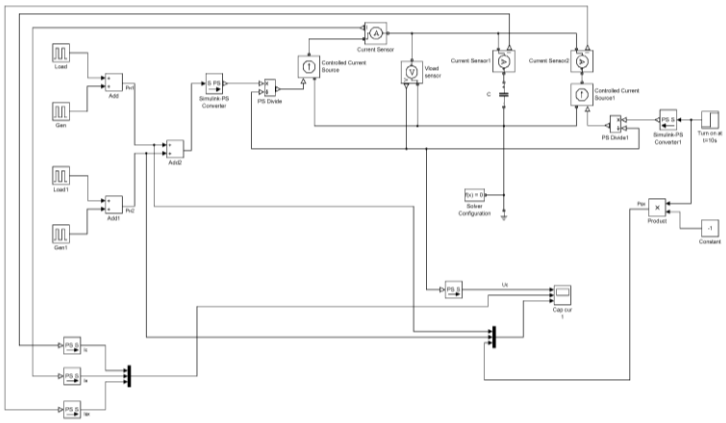


Рис. 2. Модель схемы замещения системы управления двух приводов ШГН

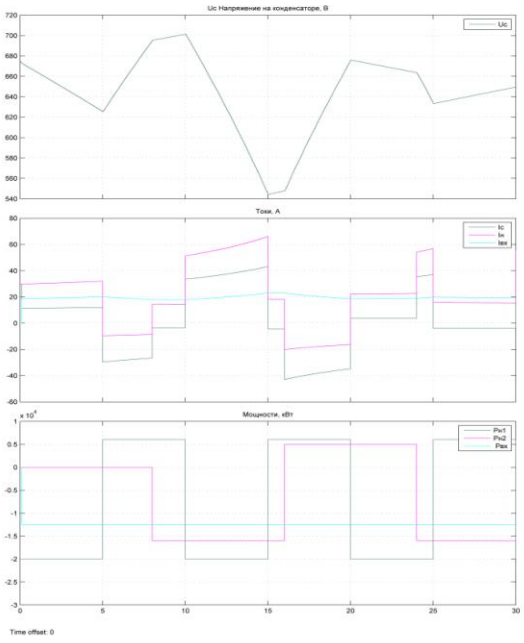


Рис. 3. Расчетные зависимости тока и напряжения

Броски мощности при этом полностью отсутствуют. Пиковые значения потребляемого из сети тока снизились с 65 до 22 А, т.е. также в 3 раза. Минимальное значение напряжение на конденсаторной батарее составило 540 В. Расчетные зависимости тока и напряжения представлены на рис. 3.

Выводы. Уменьшение входного тока и потребляемой мощности позволяют не только снизить эксплуатационные затраты и энергопотребление системы по сравнению с одиночными приводами с индивидуальными системами управления, но и уменьшить капитальные затраты за счет снижения сечения питающих кабелей. Отсутствие резких бросков тока и мощности благоприятно сказывается как на работе входного трансформатора, так и дизель-генераторной установки в случае автономного питания группы приводов ШГН. Мощность указанных устройств при этом может быть выбрана значительно меньшей, что снижает также капитальные и эксплуатационные затраты. Таким

образом, внедрение энергоэффективных технологий в условиях разработки низкодебитных скважин, становится одним из перспективных направлений снижения себестоимости нефти.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вешняков А.С. Опыт ОАО «Удмуртнефть» по внедрению штанговых насосов двойного действия / А.С. Вешняков // НТВ ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». – 2014.- №3. – С.72 - 74.
2. Артыкаева Э.М. Энергоресурсосберегающее электрооборудование нефтедобывающих установок с плунжерным погружным насосом: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03: защищена 17.02.12 / Э.М. Артыкаева. – Чебоксары: Изд-во ФГБОУ ВПО ЧГУ им. И.Н. Ульянова". – 2012.–21с.
3. Шурыгина В. Суперконденсаторы. Размеры меньше, мощность выше / В. Шурыгина // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2009. - №7. – С.10 - 20.
4. Худяков В. Моделирование устройств силовой электроники. Урок 1. Основные инструментарии Simulink / В. Худяков // Силовая Электроника. – 2005. - №1. – С.108 - 115.

УДК 62-236.58

К.В. Никитина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РОБОТ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ С ПРУЖИННЫМ АККУМУЛЯТОРОМ

Роботы с параллельной структурой в настоящее время постепенно занимают свою нишу в промышленности, однако как правило их использование ограничивается узким кругом задач, связанных с переносом относительно небольших по весу и габаритам изделий в рамках обслуживания непрерывных технологических линий. Вместе с тем, роботы с параллельной структурой можно успешно применять и в погрузочно-разгрузочных работах, где специфика выполняемых операций аналогична. Так, например, в работах [1, 2, 3] рассмотрен робот с параллельной структурой для погрузочных работ, выполненный на базе шарнирной фермы переменной конфигурации, и достаточно подробно исследована его обслуживаемая зона, а также рассмотрена возможность его размещения в ограниченном пространстве производственных помещений. Однако в этих работах не было учтено, что с увеличением габаритных размеров и массы переносимых грузов увеличивается и типоразмер используемых в конструкции робота приводов, являющихся одновременно звеньями робота. В свою очередь, увеличение размеров самого робота зачастую ограничивает его применимость в промышленности в виду невозможности или сложности его размещения в небольших производственных помещениях.

Целью данной работы является изучение влияния внедрения в конструкцию параллельного робота пружинного аккумулятора на примере робота-трипода.

В соответствии с работой [4] обеспечивая до начала работы робота предварительное натяжение пружины, можно частично или полностью компенсировать нагрузку со стороны переносимого груза на приводы робота. Таким образом, звенья робота можно разгрузить подбором необходимой жесткости пружины.

На рис. 1 приведены расчетные схемы робота-трипода с пружинным аккумулятором и без него. Для начала получим реакции, возникающие в приводах робота с пареллельной структурой без пружинного аккумулятора.

Запишем систему из трех уравнений с тремя неизвестными (реакциями, которые хотим найти):

$$\sum y = R_1 \cos\alpha + R_2 \cos\beta + R_3 \cos\gamma = mg; \quad (1)$$

$$\sum x = -R'_1 \cos\varphi + R'_2 \cos\xi + R'_3 \cos\theta = 0; \quad (2)$$

$$\sum m_y = R'_2 \sin\xi \cdot h_{2x} - R'_2 \cos\xi \cdot h_{2y} - R'_3 \sin\theta \cdot b = 0. \quad (3)$$

Из рис. 1 видно, что

$$R'_1 = R_1 \sin\alpha;$$
$$R'_2 = R_2 \sin\beta;$$
$$R'_3 = R_3 \sin\gamma.$$

Решая систему уравнений, найдем искомые реакции в приводах:

$$R_1 = R_3 \frac{\sin\gamma}{\sin\alpha\cos\varphi}\left(\cos\theta + \frac{b \cdot \sin\theta\cos\xi}{(\sin\xi \cdot h_{2x} - \cos\xi \cdot h_{2y})}\right); \quad (4)$$

$$R_2 = R_3 \frac{b \cdot \sin\gamma\sin\theta}{\sin\beta\,(\sin\xi \cdot h_{2x} - \cos\xi \cdot h_{2y})}; \quad (5)$$

$$R_3 = \frac{mg}{\cos\gamma + \frac{\sin\gamma\cos\theta}{\mathrm{tg}\,\alpha\cos\varphi} + \frac{b \cdot \sin\gamma\sin\theta}{\sin\xi \cdot h_{2x} - \cos\xi \cdot h_{2y}}\left(\frac{1}{\mathrm{tg}\,\beta} + \frac{\cos\xi}{\mathrm{tg}\,\alpha\cos\varphi}\right)}. \quad (6)$$

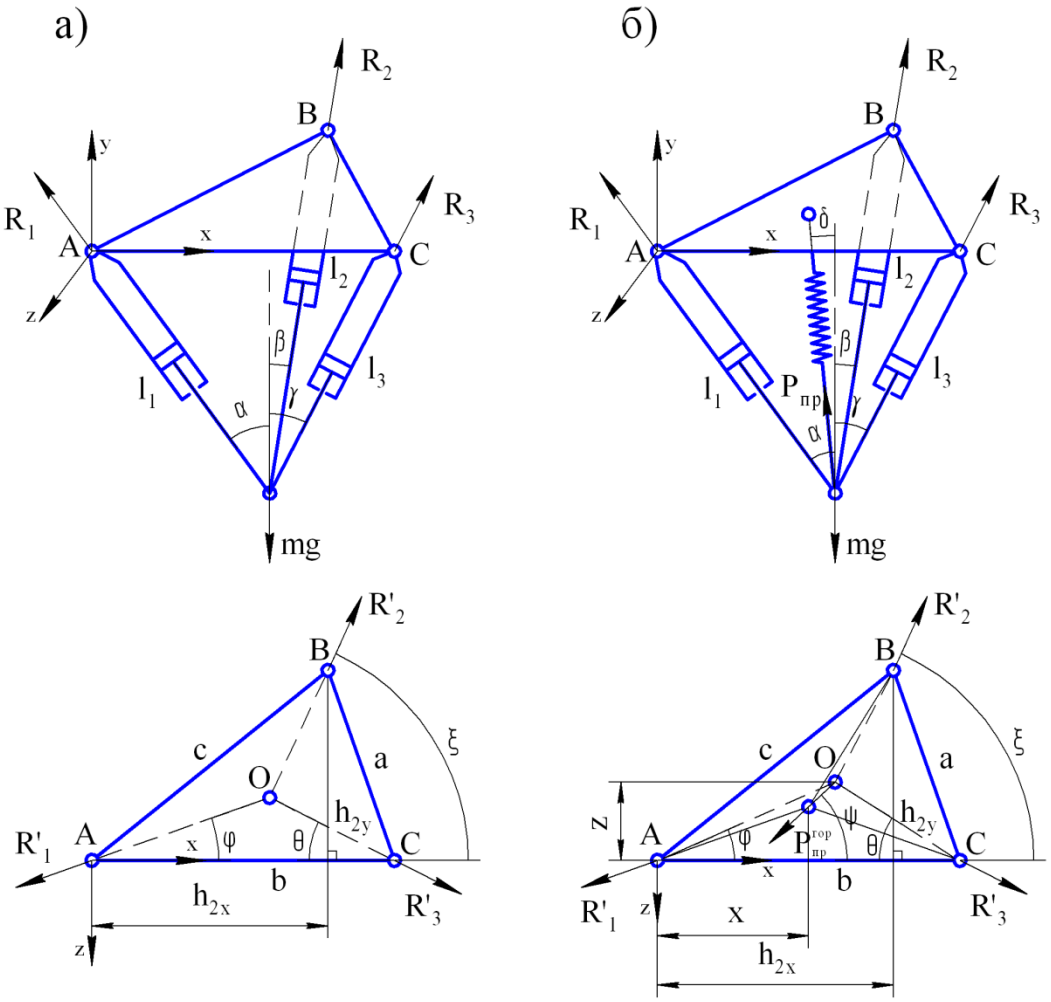


Рис. 6. Схемы роботов-триподов: а) без пружинного аккумулятора;
б) с пружинным аккумулятором

Ниже приведен расчет реакций в триподе с пружинным аккумулятором. Предположим, что жесткость пружины подобрана таким образом, что вертикальная составляющая силы

упругости пружины равна весу переносимого груза. Тогда получаем, что при движении рабочего органа робота возникает только горизонтальная сила $P_{\text{пр}}^{\text{гор}} = P_{\text{пр}} \sin\delta$.

Запишем также систему уравнений с тремя неизвестными в зависимости от текущих координат рабочего органа робота x и z:

$$\sum y = R_1 \cos\alpha + R_2 \cos\beta + R_3 \cos\gamma = mg - P_{\text{пр}}^{\text{верт}} = 0; \quad (7)$$

$$\sum x = -R'_1 \cos\varphi + R'_2 \cos\xi + R'_3 \cos\theta - P_{\text{пр}}^{\text{гор}} \cos\psi = 0; \quad (8)$$

$$\sum m_y = -R'_2 \sin\xi \cdot h_{2x} + R'_2 \cos\xi \cdot h_{2y} + R'_3 \sin\theta \cdot b + P_{\text{пр}}^{\text{гор}} \sin\psi \cdot x - P_{\text{пр}}^{\text{гор}} \cos\psi \cdot z = 0. \quad (9)$$

В этом случае реакции в приводах робота получаются следующие:

$$R_1 = R_3 \frac{\sin\gamma}{\sin\alpha\cos\varphi}\left(\cos\theta + \frac{b \cdot \sin\theta\cos\xi}{(\sin\xi \cdot h_{2x} - \cos\xi \cdot h_{2y})}\right) - P_{\text{пр}}^{\text{гор}} \frac{1}{\sin\alpha\cos\varphi}\left(\cos\psi + \frac{(z \cdot \cos\psi - x \cdot \sin\psi)\cos\xi}{(\sin\xi \cdot h_{2x} - \cos\xi \cdot h_{2y})}\right); \quad (10)$$

$$R_2 = \frac{R_3 \sin\gamma \sin\theta \cdot b - P_{\text{пр}}^{\text{гор}}(z \cdot \cos\psi - x \cdot \sin\psi)}{\sin\beta\,(\sin\xi \cdot h_{2x} - \cos\xi \cdot h_{2y})}; \quad (11)$$

$$R_3 = \frac{B}{A} P_{\text{пр}}^{\text{гор}}; \quad (12)$$

$$A = \frac{\cos\alpha\sin\gamma}{\sin\alpha\cos\varphi}\left(\cos\theta + \frac{b \cdot \sin\theta\cos\xi}{(\sin\xi \cdot h_{2x} - \cos\xi \cdot h_{2y})}\right) + \frac{\cos\beta}{\sin\beta}\frac{b \cdot \sin\gamma\sin\theta}{(\sin\xi \cdot h_{2x} - \cos\xi \cdot h_{2y})} + \cos\gamma;$$

$$B = \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha\cos\varphi}\left(\cos\psi + \frac{(z \cdot \cos\psi - x \cdot \sin\psi)\cos\xi}{(\sin\xi \cdot h_{2x} - \cos\xi \cdot h_{2y})}\right) + \frac{\cos\beta}{\sin\beta}\frac{(z \cdot \cos\psi - x \cdot \sin\psi)}{(\sin\xi \cdot h_{2x} - \cos\xi \cdot h_{2y})}.$$

Из попарного анализа полученных реакций для робота с пружинным аккумулятором и без него заключаем, что за счет введения в контрукцию робота пружинного аккумулятора реакции на приводы робота с параллельной структурой уменьшились, что способствует уменьшению типоразмеров используемых приводов, а следовательно, и габаритных размеров самого робота.

Кроме того, интересным является тот факт, что компенсируя вес переносимого изделия, мы переносим внешнюю нагрузку, действующую на приводы робота, из вертикальной плоскости в горизонтальную.

В данной работе по умолчанию предполагалось, что нагрузка от переносимого изделия действует постоянно, хотя это не так. Дальнейшее исследование работы робота с пружинным аккумулятором сводится к определению реакций в приводах на рабочем и холостом ходах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жавнер В.Л. Исследование параметров обслуживаемой зоны робота параллельной структуры / В.Л. Жавнер, К.В. Никитина // Международный научно-исследовательский научный журнал. – 2016. – №4(46). – С.91-97.

2. Никитина К.В. Обслуживаемая зона параллельных роботов / К.В. Никитина, В.Л. Жавнер // Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Часть 1. –СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 18-20.

3. Никитина К.В. Особенности робота с параллельной структурой для погрузочно-разгрузочных работ / К.В. Никитина, В.Л. Жавнер // Современное машиностроение: Наука и образование:

материалы 5-й Международной научно-практической конференции. –СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С.723-732.
4. Жавнер В.Л. Пружинные приводы с рекуперацией энергии для возвратно-поступательных перемещений / В.Л. Жавнер, О.Н. Мацко // Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 5-й Международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С.645-653.

УДК - 629.064.3

С.А. Воронин, В.В. Ваганов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗИЦИЯ РАБОТЫ И УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЕРВОНАСОСА

Введение. Основная задача индустриального прогресса – уменьшение производственных затрат при увеличении КПД оборудования. На данный момент гидравлические системы применяются повсеместно от гидро-усилителя рулевого вала, до подъемно-транспортных механизмов. [1] В зависимости от назначений гидравлических механизмов у них имеются схожие компоненты конструкции. [2]

Привод в гидравлическом механизме играет очень важную роль, является преобразователем электрической энергии во вращение ротора насоса. [3] Увеличение КПД начинается именно с модернизации контура подачи жидкости гидравлической системы.

Цель работы – метод повышение КПД гидравлических систем за счет использования сервонасоса вместо стандартных компонентов гидравлической системы (двигатель, насос, ресивер, обратный клапан, дроссель).

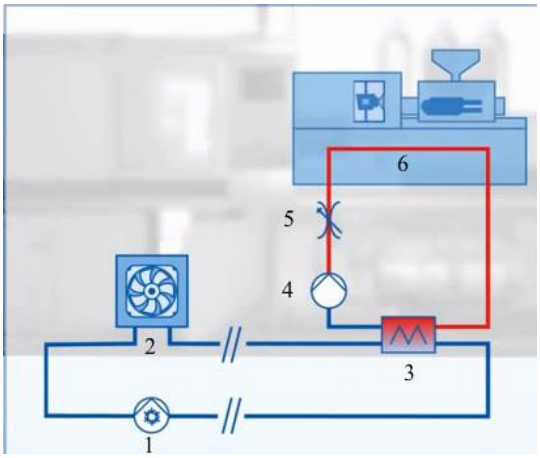


Рис. 1.

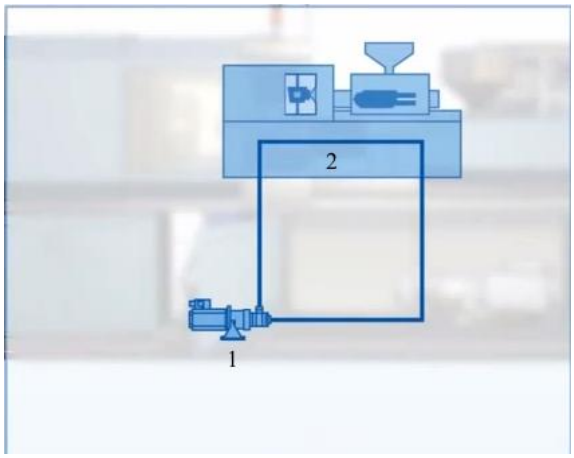


Рис. 2.

На рис. 1 изображена схема стандартного (консервативного) гидравлического контура пресса, где *1* – насос, *2* – охладитель, *3* – ресивер, *4* – обратный клапан, *5* – дроссель, *6* – рабочий орган.

Из данной схемы видно, что в конструкции присутствуют детали, отвечающие за правильную работу прессового механизма, но при этом эффективность и КПД гидравлической цепи крайне мало. Основной проблемой гидро-цепей данного типа является нагрев рабочей жидкости, дополнительные энергозатраты на охлаждение, большое количество деталей, множество узлов в которых возможны течи, постоянный шум и т. д. [4]

После доработки гидравлической системы и установки сервонасоса (рисунок 2), можно исключить все детали, оставив рабочий орган 2 и сервонасос 1.

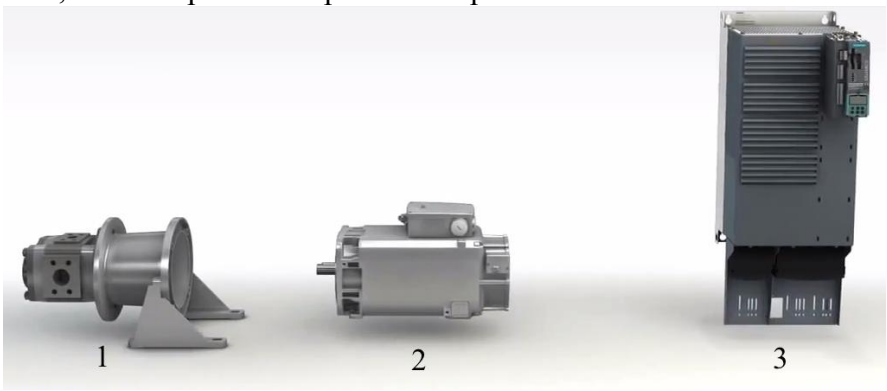


Рис. 3.

На примере прогрессивной компановки, предложенной Siemens AG изображенной на рис. 3 (маслонасос с муфтой - 1, SIMOTICS 1FK7 - 2 и преобразователь частоты SINAMICS S120 – 3) - можно добиться серьезной экономии энергии:

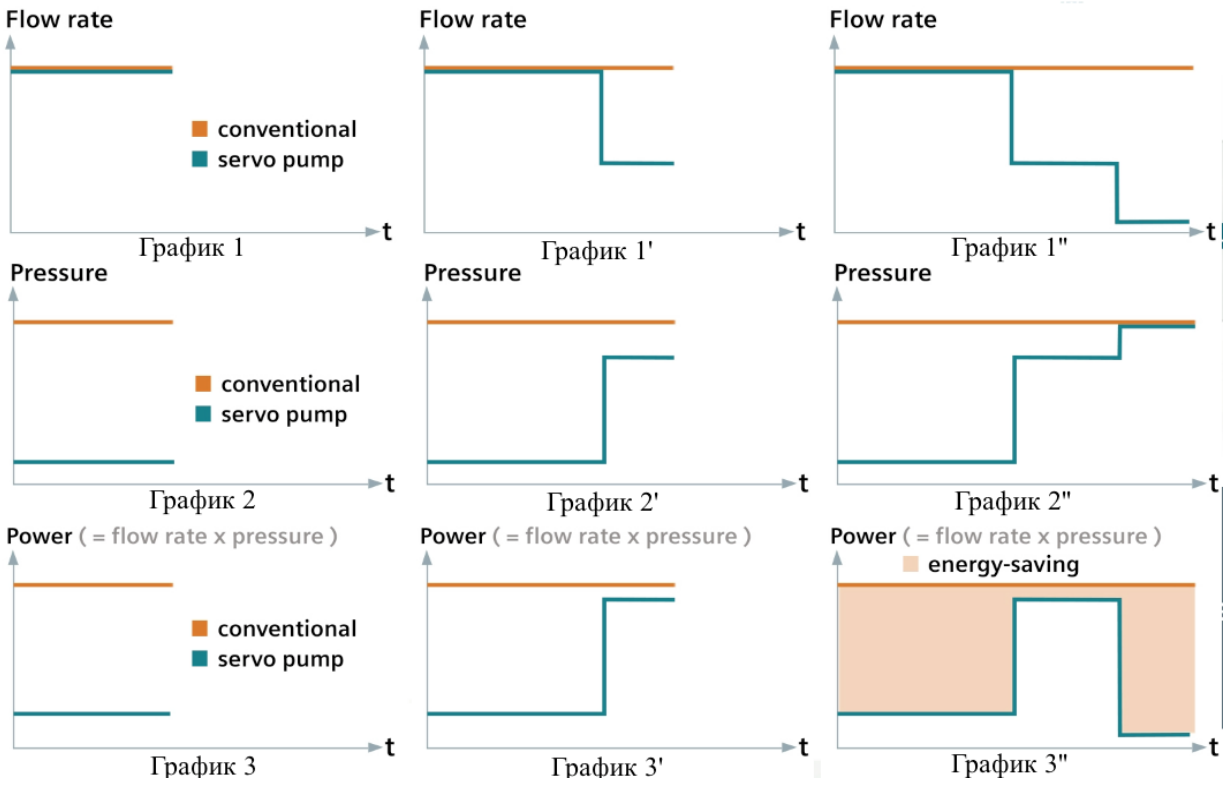




Рис. 4.



Рис. 5.



Рис. 6.

На обзорных графиках 1, 2, 3, 1', 2', 3' ,1" ,2" ,3" – наглядно изображена работа пресса с консервативной гидравлической схемой 1 и с применением сервонасоса схема 2. [5]

Рис. 4 – исходное положение пресса, ему соответствуют графики 1, 2, 3. При движении в сторону заготовки по гидравлической схеме изображенной на рисунке 2, сервонасос подает рабочую жидкость пропорционально движению пресса в режиме холостого хода, в то время, как консервативная гидравлическая схема, изображенная на рис. 1, подает рабочую жидкость под давлением пропорционально прессованию заготовки.

Рис. 5 – начало прессования, преобразователь частоты выводит сервопривод на определенную скорость увеличивая давление рабочей жидкости (графики 1', 2', 3').

Рис. 6 – прессование, максимальное давление гидравлических систем в схемах изображенных на рисунках 1 и 2 (графики 1", 2", 3").

Исходя из графика 3" можно предположить возможную экономию энергии (до 70%). [6]

Результаты. В проделанной работе были исследованы основные параметры работы гидравлических систем со стандартными элементами (рис. 1) и прогрессивным элементом - сервонасос (рис. 2), представлен способ компановки сервонасоса.

Вывод. При использовании связки преобразователь частоты и сервонасос – можно добиться существенных сокращений энергозатрат, повысить КПД, а так же исключить из гидравлической схемы дополнительные компоненты цепи прессовальной установки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Sinamics Servo pump, Siemens AG Industry sec. MCS E20001-A1650-P620-X-7600 DISPO 06372SCHÖ/40879 B3KS.52.2.03 SB 04123.0 Germany 2012.
2. Servo pump Simotics, Siemens AG Industry sec. MCS, E20001-A1190-P620-X-7600 DISPO 06372 SCHÖ/10809304 B3KS.52.2.05 SB 09123.0 Germany 2014.
3. Hydrodynamic and Sediment Transport Phenomena, Subhasish Dey 2014 Berlin.
4. Hydrodynamics and Motion Control, Thor I. Fossen, Norwegian University of Science and Technology 2011 Norway.
5. Digital factory D31 Siemens, Siemens AG E86060-K5531-A101-A2-7600 E.9114.39.VKT / Dispo 18404KG 1114 25. HOF/VOG 464 En Germany 2013.
6. Презентационная выставка GMC 2015 Siemens AG Экспоцентр Москва.

УДК 621.039:004

В.Л. Жавнер, Д.Г. Герасимов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Актуальность. Ядерное топливо для атомной электростанции — это не сами делящиеся материалы, а тепловыделяющие сборки (ТВС), которые состоят из тепловыделяющих элементов или коротко твэл. Конструктивно твэл - это тонкостенные металлические цилиндрические оболочки (трубки), которые набиваются таблетками ядерного топлива. Внутри твэлов происходит выделение тепла за счёт цепной ядерной реакции деления топлива. Это тепло отводится из объёма таблеток к поверхности трубок (оболочек), охлаждаемых теплоносителем. В большинстве современных энергетических реакторов (ВВЭР, РБМК) твэл представляет собой герметичную трубку из специальных сплавов диаметром 9,1—13,5 мм и длиной 2-4 метра, заполненную таблетками ядерного топлива [1]. Несколько десятков трубок и крепежно-установочные элементы объединяются в единую конструкцию - ТВС.

Оболочка тепловыделяющего элемента является начальным барьером, препятствующим выходу в окружающую среду накапливающихся в топливе радиоактивных продуктов деления. В случае нарушений герметичности оболочек, попадание осколков деления ядерного горючего в теплоноситель приводит к значительному повышению уровня радиоактивности оборудования атомной электростанции (АЭС) и представляет большую опасность для обслуживающего персонала. Если установленные регламентом пределы не могут быть соблюдены при эксплуатации энергоблока, то реакторная установка должна быть остановлена.

Таким образом, герметичность является одним из важнейших параметров твэлов, определяющих безопасную и безаварийную работу АЭС. Эксплуатация твэлов в энергоблоках ядерных реакторов производится при температурах их оболочек $T > 300^{o}C$, поэтому контроль герметичности на стадии изготовления также необходимо проводить при указанных температурах. Нагрев и выдержка при заданной температуре необходимы для вскрытия потенциальных микродефектов, которые могут не проявиться при комнатной температуре. В настоящее время для контроля герметичности преимущественно используется масс-спектрометрический метод с использованием гелия в качестве индикаторного газа, вводимого под оболочку перед окончательной герметизацией твэла. Для контроля обычно применяют коммерческие гелиевые течеискатели. Утечка газа выражается в $м^3Па/с$ [1]. Пучки твэлов, содержащих пробный газ (гелий), помещают в испытательную камеру(ИК). Рабочая температура и давление в ИК при проведении контроля для разных моделейтвэла будут различными. Перед проверкой проводится термовакуумная сушка [4] твэлов в ИК при температуре не менее $400^{0}C$ в вакууме порядка 1,33 Па. Время сушки порядка 40 минут. Затем к реторте подключается течеискатель, и фиксируется сигнал от контролируемых изделий. Регистрируемый поток утечки гелия от изделийсравнивается с допустимым значением утечки. Если фиксируется превышение контрольного значения,партия изделий помечается как брак, далее производят поиск негерметичного изделия в партии. Их может быть несколько. Исходная партия с обнаруженной утечкой контрольного газа делится на части и снова проходит контроль каждая часть. И так до полной проверки партии. Цель - определить твэлы с утечкойконтрольного газа и вывести их в брак. Эта технология защищена патентом [2]. От выбранного алгоритма поиска будет зависеть число необходимых проверок, затраты энергии и соответственно скорость работы, и эффективность системы. При отлаженном технологическом процессе среди 1000 изделий имеется одно бракованное.

Цели и задачи работы– разработка технической идеологии построениятехнологической системы для проверки герметичности твэлов, обеспечивающей низкие затраты энергии и максимальную производительность.

Результаты. В работе защищается следующее положение – наиболее рациональным является деление потока проверяемых твэлов на партии для проверки, когда количество изделий в партии равно:$An=Q^{n}$, где

An - количество твэлов впартии;

Q - знаменатель геометрической прогрессии

n – натуральное число от 1…6

Для проверки партии твэлов с выявленной утечкой берется количество ИК равное знаменателю геометрической прогрессии. Изначально партия с браком раскладывается равномерно по всем ИК. При обнаружении в одной из ИК партии с браком, после окончания цикла проверки во всех остальных ИК партия с браком делится между всеми ИК. Так продолжается до тех пор, пока на последней стадии в каждой ИК проверяется по одному твэлу. При использовании геометрической прогрессии знаменатели выбираются из

натурального ряда чисел от 1 до 7, знаменатель равный 1 является вырожденным случаем геометрической прогрессии, когда используется одна ИК на одно изделие.

Набор возможных схем, построенных по данному принципу, дан в таблице 1. Использование пучка,содержащего более 50 изделий в одной ИК из-за высокого фона контрольного газа от большого числа изделий, признано нецелесообразным [2], поэтому эти варианты отмечены в таблице прочерком.

Таблица 1

Знаменатель прогрессии Q	Номер уровня(n)					
	1	2	3	4	5	6
	количество изделий проверяем					
2	2	4	8	16	32	64
3	3	8	27	81	_	_
4	4	16	64	_	_	_
5	5	25	125	_	_	_
6	6	36	216	_	_	_
7	7	49	343	_	_	_

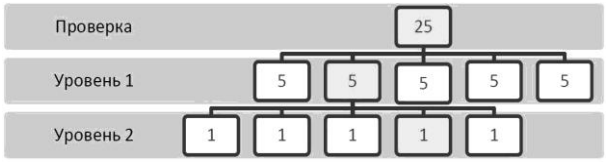


Рис. 1.

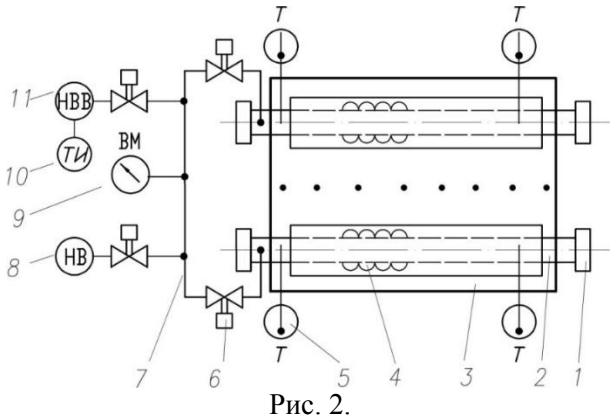


Рис. 2.

Схема проверки пучка твэлов состоящего из 25 изделий дана на рис. 1. В этом случае знаменатель прогрессии равен 5, а n=2. Число ИК равно 5 и совпадает со знаменателем прогрессии. Партия из 25 изделий, содержащая брак, раскладывается по 5 единиц в каждую из 5 ИК.Далее партия с браком в 5 единиц раскладывается по единице в каждую ИК. На рис. 1 партия с браком помечена серым цветом.

Для реализации описанного способа предложено устройство, конструктивно-технологическая схема которого, представленная на рис. 2. Она состоит из: вакуумных шиберов *1* [3], ИК 2, общей теплоизоляции нескольких ИК *3*, нагревательных элементов *4*, термодатчиков *5*, автоматических задвижек *6*, коллектора *7*, насоса вакуумного *8*, вакуумметра *9*, течеискателя *10*, насоса высокого вакуума *11*. Количество испытательных камер может быть по таблице 1 от 1 до 7.

Каждая ИК имеет свой нагревательный элемент итеплоизоляцию [4]. Несколько ИК объединено в один блок с общей теплоизоляцией. К одному течеискателю через коллектор и автоматические задвижки подключено несколько ИК. Изделия загружаются в ИК через автоматические вакуумные шиберы. Устройство может работать в двух режимах. Первый

режим - устройство проверяет партии твэлов. Второй режим - поиск брака в партиях с обнаруженной утечкой. После обнаружения партии с браком устройство может переходить в режим поиска брака в партии.

Работа устройствав первом режиме состоит из следующих технологических переходов.

- Партия твэлов делится на группы по числу ИК. Загрузка твэлов в каждую ИК. Закрытие шиберов;
- Клапаны подключения ретортк коллекторувакуумнойсистемы открыты;
- Достижение требуемого вакуума и температуры;Проверка допустимой утечки гелия.
- Если брак не обнаружен, проверенная партия твэлов выгружается и загружается новая. Если обнаружен брак,устройство переходит в режим проверки или партия твэлов с обнаруженным браком выгружается и передается на участок поиска брака в партии.

Работа устройстваво втором режимесостоит из следующих технологических переходов.

- Партия твэлов делится на группы по числу ИК.Загрузка твэлов в каждую ИК. Закрытие шиберов.Достижение требуемого вакуума и температуры;
- Клапаны подключения реторт к коллектору вакуумной системы закрыты;
- Открывается клапан одной реторты. Проверка допустимой утечки гелия. Закрывается клапан проверенной ИК. Повтор для всех ИК;
- Выгрузка изделий из ИК, в которых не обнаружена утечка;
- Изделия из ИК, в которой обнаруженаутечка, размещаются по всем ИК на следующую проверку;

Производительность системы проверки будет зависеть от количества ИК, размера проверяемой партии, количества проверок необходимого для поиска брака в партии с обнаруженной утечкой, от времени проведения операции проверки с учетом вспомогательных операций. Последнее будет постоянной величиной и зависит от выбранного техпроцесса.

Выводы. Предложенный алгоритм поиска бракованного изделия в пучке твэл обеспечивает равномерную загрузку ИК, высокую производительность работы, эффективность процесса. Предложенная компоновка системы поиска бракованного изделия в пучке твэл обеспечивает экономию энергии и сокращение количества комплектов дорогостоящего диагностического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Решетников Ф.Г. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1995. 320 с
2. Пат. № 2164359 Рос. Федерация, МПК G21C17/00. Способ поиска течей / Безденежных С.А., Бабилашвили Ю.К., Бычихин Н.А., Локтев И.И., Рожков В.В., Чапаев И.Г.; заявл. 25.05.1999; опубл. 20.03.2001
3. Демихов К.Е., Панфилов Ю.В., Никулин Н.К. и др. Вакуумная техника: справочник. М.: Машиностроение, 2009. 590 с
4. Мармер Э.Н., Мурованная С.В., Васильев Ю.В. Электропечи для термовакуумных процессов М.: Энергоатомиздат, 1991. 232 с

УДК 621.01

М.Ю. Ларин, О.Н. Мацко, А.И. Емельянов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ ШТАНГОВЫМИ НАСОСАМИ

Введение. Для разработки низко- и среднедебитных скважин наиболее часто применяются установки штанговые глубинные насосные (УШГН) [1].

К основным элементам штангового насоса относятся: глубинный насос, штанги для передачи усилия от поверхности к насосу, поверхностный насосный узел, приводящий штанги в возвратно-поступательное движение.

Наибольшее распространение в промышленности получили балансирные механические приводы ШГН, для которых характерно использование механической связи уравновешивающего устройства (балансира) с силовым органом, обеспечивающим перемещение точки подвеса штанг [3], [4].

Балансирный привод станка-качалки имеет существенный недостаток, который заключается в сложной траектории точки подвеса штанг. Это приводит к значительному увеличению динамических нагрузок на штанговую колонну. Также среди недостатков следует указать большие габариты и вес, материалоемкость, необходимость в усиленном фундаменте и, как следствие, большие экономические и временные затраты при доставке и монтаже.

Также, обеспечение группы технологического оборудования энергией в условиях отдаленности от населенных пунктов и энергомагистралей – сложный ресурсоемкий вопрос.

Поэтомузадача разработки новой конструкции привода штангового глубинного насоса (ШГН), обеспечивающего накопление кинетической энергии (в маховиках), потенциальной энергии (в пружинах) и электрической энергии (в конденсаторах), отличающегося высокой надежностью, простотой конструкции и монтажа, низкими эксплуатационными издержками и адаптивной системой управления, приобретает особую актуальность [2].

Данную задачу можно разделить на три: повышение энергоэффективности за счет рекуперации энергии, повышение энергоэффективности за счет оптимизации энергопотребления группы качалок алгоритмом управления данной группой и совершенствование механической конструкции привода.

Цель работы. С целью нахождения рационального количества энергии, которое требуется подвести к группе технологического оборудования, а такжес целью обеспечения приемлемой производительности необходимо исследовать характер зависимости между потребляемой энергией и производительностью при различных алгоритмах управления.

Базовые положения исследования. Для теоретической оценки эффективности работы системы приводов ШГНрассмотрена следующая упрощенная модель. Все ШГН одинаковы и имеют следующие особенности:

- первую половину цикла T/2 насос совершает рабочий ход, а вторую половину цикла T/2 – холостой ход (возврат в исходное состояние);
- время цикла T у всех насосов будет различным из-за разной дебита скважин и других причин;
- насосы потребляют для своей работы одинаковую мощность приводов N_0= *const* из общего источника энергии мощностью N только в рабочую половину цикла;
- насосы добывают одинаковый объем нефти V_0 за один цикл;
- производительность одного насоса составляет Q= V/T;

- в качестве показателя эффективности принятосоотношение V/V_{max}, где V – выкачанный системой за данный период объем нефти при данном энергопотреблении, а V_{max} – выкачанный той же системой объем нефти при максимальном для системы энергопотреблении.

- в качестве показателя энергопотребленияпринято соотношение N/N_{max}, где N – значение мощности, подаваемое на группу штанговых насосов, а N_{max} – максимальное для данной группы значение мощности.

Промежуточные результаты. Предложено два алгоритма управления системой:

Алгоритм №1: при наличии свободной мощности запускается привод насоса, имеющего наибольшую производительностью среди тех, которые в данный момент находятся в нижнем положении и не запущены (ожидают запуска).

Алгоритм №2: насосы перед началом работы разбиваются на пары таким образом, чтобы разница периодов работы оборудованияв паре была минимальной. Насосы в паре работают в противофазе, поэтому пара требует для работы столько же мощности, сколько и один насос. При наличии свободной мощности запускается пара насосов с наибольшей производительностью из тех, которые в данный момент ожидают запуска.

В работе исследована зависимость эффективности работы оборудования от энергопотребления группы насосов для каждого из алгоритмов при:

- различном количестве штанговых насосов в группе (от 4 до 10);
- различных разбросах времени цикла каждого насоса вокруг номинального значения.

Для удобства представления результатов построены графики, полученные линейной интерполяцией данных по параметру количества качалок в группе (рис. 1).

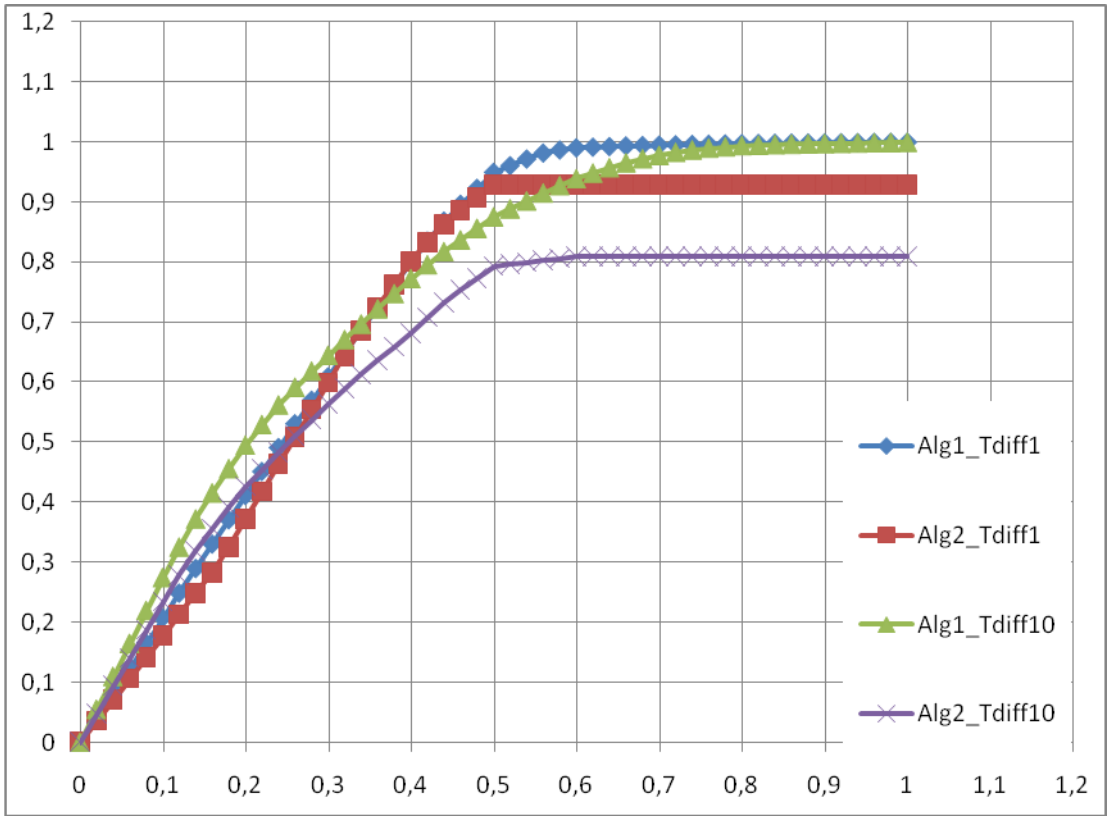


Рис. 1. Графики зависимостей производительности систем насосов от энергопотребления при различных разбросах циклов работы каждого насоса и различных алгоритмах оптимизации (Alg1_Tdiff1 – алгоритм 1, ΔT = 1 с; Alg1_Tdiff10 – алгоритм 1, ΔT = 10 с; Alg2_Tdiff1 – алгоритм 2, ΔT = 1 с; Alg2_Tdiff10 – алгоритм 2, ΔT = 10 с;).

Выводы. Из представленных графиков можно сделать выводы о том, что:

- в среднем, алгоритмы дают одинаковые результаты для одинаковых систем штанговых насосов при энергопотреблении ниже 50% от установленной мощности;

- при энергопотреблении выше 50% лучшие результаты показывает алгоритм №1 (эффективность выше на величину от 6% до 20% при различных разбросах времени цикла каждого насоса вокруг номинального значения);

- при нечетном количестве штанговых насосов в группе лучшие результаты показывает алгоритм №1 (эффективность выше на величину от 15% до 25% при различных разбросах времени цикла каждого насоса вокруг номинального значения);

- при увеличении разброса времени циклов в системе величина энергопотребления, при котором эффективность системы начинает резко снижаться, увеличивается (от 50% до 65% от установленного энергопотребления при различных разбросах времени цикла каждого насоса вокруг номинального значения).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Андреев В.В. Справочник по добыче нефти. / В.В. Андреев, К.Р. Уразаков и др. Под общ.ред. К.Р. Уразакова – М.: ООО Недра Бизнес-Центр, 2000.- 374 с.

2. АртыкаеваЭ.М. Энергоресурсосберегающее электрооборудование нефтедобывающих установок с плунжерным погружным насосом: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.09.03: защищена 17.02.12 / Э.М. Артыкаева. – Чебоксары: Изд-во ФГБОУ ВПО ЧГУ им. И.Н. Ульянова. – 2012.–21 с.

3. Хакимьянов М.И. Удельный расход электроэнергии при добыче нефти штанговыми глубиннонасосными установками / М.И. Хакимьянов // Вестник УГАТУ. 2014. т.18, №2 с. 54-60.

4. АрхиповК.И. Справочник по станкам-качалкам / К.И. Архипов, В.И.Попов, И.В. Попов.– Альметьевск: Изд-во АО Татнефть, 2000.–146 с.

УДК 004.896

И.С. Балташов[1], Д.А.Демидов[2]

[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

[2] Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАЛИЗОВАННЫХ В ROS АЛГОРИТМОВ SLAM

Построение карты области перемещения робота и определение его положения на построенной карте является одной из основных задач (SLAM) мобильной робототехники [1]. Многие алгоритмы решения этой задачи реализованы в свободно распространяемом пакете ROS [2]. Он предоставляет возможность разработки программного обеспечения для роботов без привязки к их аппаратной реализации и имеет архитектуру,привязанную к графу, узлами которого являются функциональные программные блоки. ROS обеспечивает запись информации, поступающей от различных узлов с привязкой к физическому времени, и использование её для последующего воспроизведения и анализа. Это позволяет провести сравнение алгоритмов SLAM в условиях одного и того же физического эксперимента.

Платформой для проведения экспериментов является мобильная платформа iCleboKobuki с установленным на нем вычислителем Intel NUC5PPYH (процессор IntelPentium N3700 (4 ядра, 2,4 ГГц), память DDR3L SODIMM (1333/1600 МГц, 8 ГБ)) и датчиками: RGB- D камера MicrosoftKinect (цветная камера - 640x480 30fps, ИК камера со структурированной подсветкой - 320x240 30fps с диапазоном глубины 0.3-4.5 м),

лидарHokuyo UTM-30lx (радиус действия - 0.1 — 30 м, 270°, точность - 50 мм, угловое разрешение - 0.25°) и два встроенных в iCleboKobuki одометра с USB интерфейсом.

Экспериментальные данные получены в процессе движения робота под управлением оператора в трёх помещениях.На рисунке 1 приведены схемы планов помещений и условных изображений траекторий движения робота. Помещенияобозначены: «Коридор» (рис. 1.1) – область длиной 50 метров и шириной 2.3 метра, «Цикл» (рис. 1.2) – многосвязная область размером 21х18 м с вырезом 10х12м, «Большое поле» (рис. 1.3) – областьразмером 20х47 м с множеством вырезов.

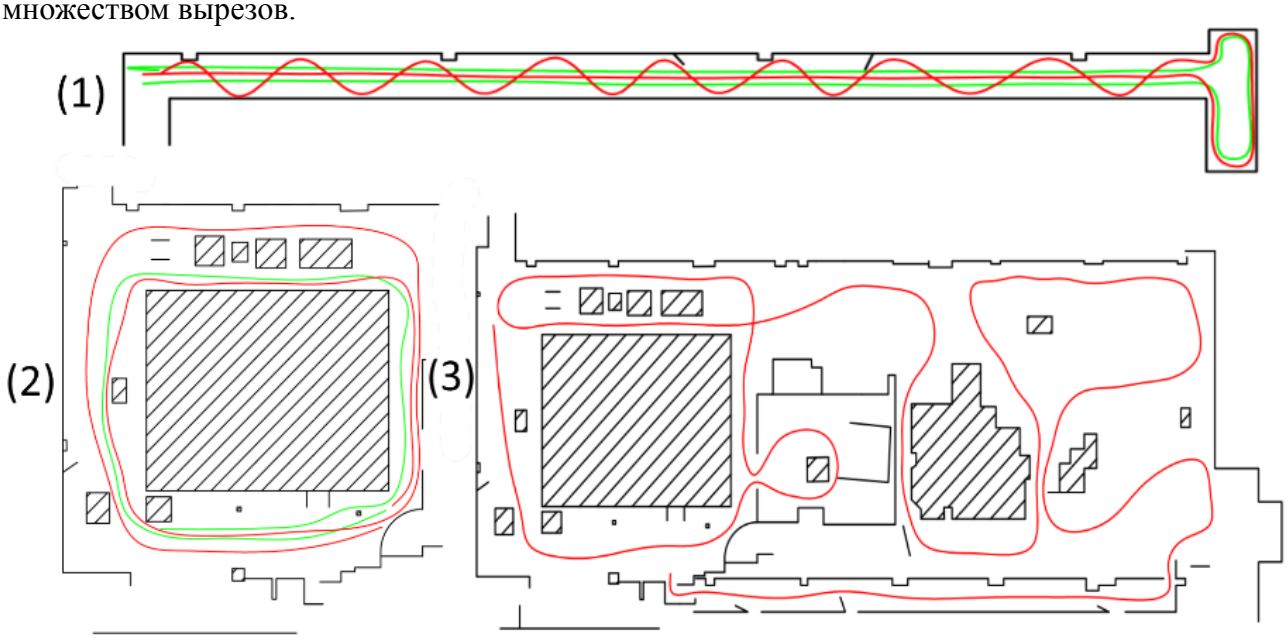


Рис. 1. Планы областей используемых для тестирования алгоритмов SLAM
(1) – “Коридор”, (2) – “Цикл”, (3) - “Большое поле”

Полученные данные использовались как входные данные для тестирования алгоритмов SLAM по показателям:нагрузка на ЦП, объём используемой оперативной памяти, точность построения карты.

В ходе работы проведено сравнительное исследование четырёх алгоритмов SLAM: Hector, Gmapping, Karto и RTAB. В основе алгоритмаGmapping лежит метод рекуррентной фильтрации частиц Рао-Блэквелла на сеточной карте [3]. Алгоритм Hector использует билинейную интерполяцию, чтобы смоделировать вероятностный характер распределения точек, относящихся к объектам на карте [4]. Особенностью алгоритма RTAB является использования «словаря изображений» создаваемого в процессе движения РТС и распознавания предметов окружающей среды с его помощью. После повторного обнаружения и идентификации, зарегистрированных ранее предметов-маркеров, РТС определяет свое положение в пространстве, исходя из предположения, что предметы не перемещаются в пространстве [5]. Karto – SLAM алгоритм на основе графов разработанный в SRI International’sKartoRobotics, использует высоко оптимизированное и не итеративное разложения Холецкого для разряжения линейных систем каких решение [6].

Все алгоритмы тестировались с настойками по умолчанию, и выдавали на выходе сеточную карту занятости с размером ячейки 0.05х0.05 м^2.

Результаты экспериментального измерения производительности и ресурсоёмкости алгоритмов приведены, а рисунке 2.

Оценка точности построения карты каждой области проводилась сравнением карты, полученной на выходе SLAM алгоритма с картой помещения построенной на основе прямых измерений.

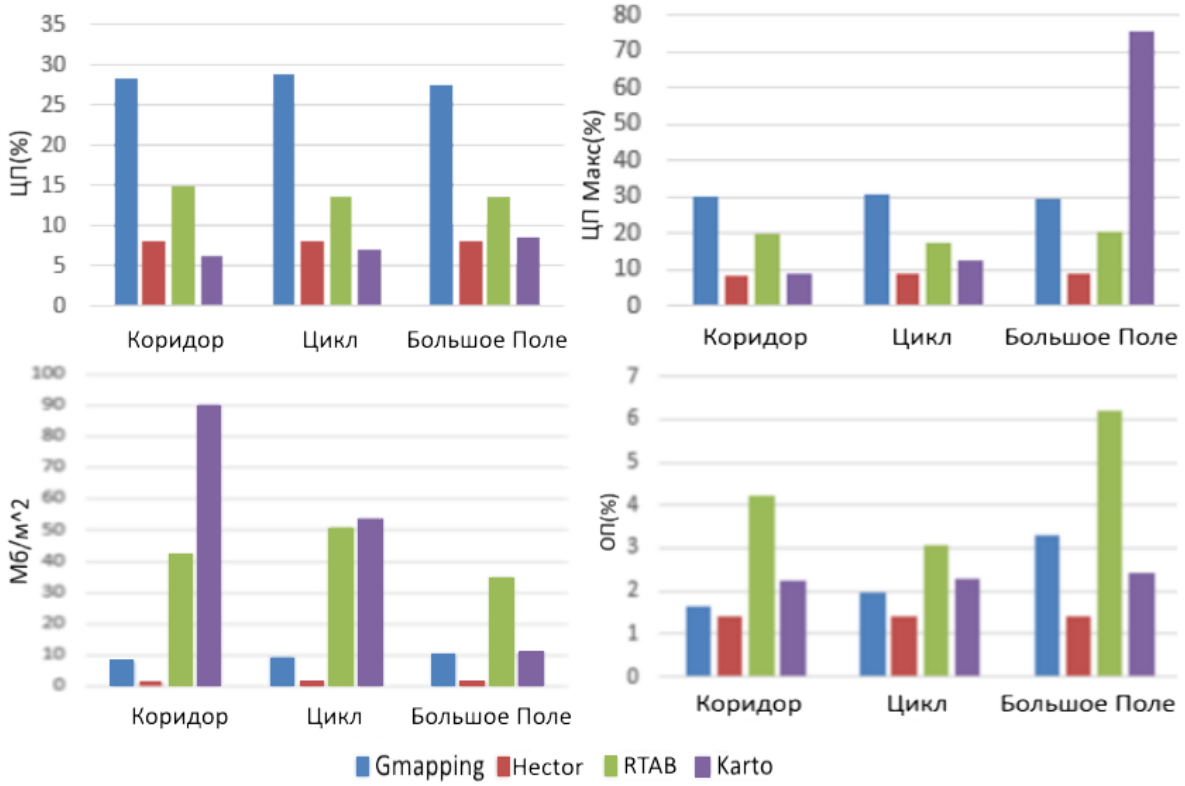


Рис. 2. Результаты сравнения алгоритмов SLAM по вычислительным ресурсам

Проведено исследование зависимости точности построения карты от радиуса действия лидара. Такая возможность предоставляется узлами SLAM за счёт изменения входных параметров. В таблице 1 приведены результаты исследования, для алгоритма RTAB данные лидара не использовались, поскольку для работы данного алгоритма требуется RGB-D камера.

Таблица 1.

Средняя точность построения картыалгоритмамиSLAM в зависимости от радиуса действия лидара(минус означает, что построенная карта не совпадает с реальной).

Область	Дальность лидара (м)	Средняя точность алгоритмов (м)			
		Gmapping	Hector	Karto	RTAB
Коридор	3	-	-	-	0.2
	5	0.5	-	0.1	
	10	0.2	0.7	0.1	
	30	0.05	0.3	0.1	
Цикл	3	-	-	-	0.4
	5	0.3	-	0.2	
	10	0.2	0.2	0.2	
	30	0.1	0.1	0.1	
Большое поле	3	-	-	-	1.0
	5	-	-	-	
	10	0.3	0.3	-	
	30	0.3	0.1	0.5	

Как можно видеть из таблицы 1 и рис. 2, все алгоритмы при разных размерах карты не имеют существенного прироста нагрузки на ЦП или память. У алгоритма Karto возрастает максимальная нагрузка на процессор, происходящая в момент замыкания цикла, что приводит, к тому что алгоритм не успевает обрабатывать входящие данные и замыкание цикла происходит некорректно. Для всех алгоритмов растёт объём используемой памяти пропорционально увеличению размеров карты. Исключением является Hector для которого заранее выделяется фиксированный объём памяти (фиксирован максимальный размер карты).

По полученным результатам сделаны следующие выводы:

1. Karto – плохо пригоден для картографирования больших пространств из-за описанной выше причине.

2. Hector – показывает хорошие результаты только с лидарами сравнительно большого радиуса действия (от 10 м для данных помещений), что связано с теоретическими особенностями данного алгоритма [4].

3. RTAB – меньшая точность чем у других алгоритмов объясняется, тем, что дальность действия Kinect всего 4 метра.

4. Gmapping – имеет лучшую точность по сравнению с другими рассмотренными алгоритмами и способен справляется с задачей и при коротком радиусе действия дальномера (5 м). При этом создаёт в 3-4 раза большую нагрузку на процессор.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Springer Handbook of Robotics. Под редакцией Bruno Siciliano, OussamaKhatib.2008. –871-889 с.
2. Программный пакет [Электронный ресурс]//Режим доступа: ROShttp://www.ros.org/-(11.10.2016)
3. Grisetti G., Stachniss C., Burgard W. Improved Techniques for Grid Mapping with Rao-Blackwellized Particle Filters / Robotics. – 2007. – № 3/1. – pp. 34 – 46.
4. Minguez J., Montesano L., Lamirau F. Closest Point Scan Matching for Sensor Displacement Estimation / IEEE Transactions on Robotics. 2006. – № 22/5 – 1047 – 1054 с.
5. Описание библиотеки RTAB-Map [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://introlab.github.io/rtabmap/- (12.10.2016).
6. R. Vincent, B. Limketkai, M. Eriksen. Comparison of indoor robot localization techniques in the absence of GPS, In Proc. of SPIE: Detection and Sensing of Mines, Explosive Objects, and Obscured Targets XV of Defense, Security, and Sensing Symposium. 2010.

УДК: 621.7.077

Ши Мэнди, А.Б. Смирнов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ АКТЮАТОР ПРЕДМЕТНОГО СТОЛИКА МИКРОСКОПА

Актуальность. Успехи в области медицины и биологии, в немалой степени обязаны созданию микропозиционирующих устройств, в частности многокоординатных предметных столиков микроскопов. Ведущие фирмы в этой области PHYSIK INSTRUMENTE, NARISHIGE INTERNATIONAL, CEDRAT TECHNOLOGIES выпускают такие высокоточные столики с пьезоэлектрическими приводами, цена которых на рынке достигает десятки тысяч долларов [1, 2]. Создание простых, надежных и относительно дешевых и компактных устройств и их исследование является актуальной задачей.

Пьезоприводы линейных перемещений многокоординатных столиков перечисленных выше фирм имеют пьезоэлектрические актюаторы, работающие на ультразвуковых частотах в основном в режиме продольных или суперпозиции продольных, изгибных и сдвиговых колебаний. При взаимодействии рабочего конца актюатора с подвижной платформой

возникают высокочастотные ударные однонаправленные импульсы. Более простой вариант пьезоэлектрического актюатора – это биморфный пьезоэлектрический актюатор (БПА), работающий на изгибных колебаниях [3]. В конструкции столика [4] БПА перемещают его на 1 мм с точностью до 0,1 мкм. Для увеличения диапазона перемещений приходится использовать дополнительно модуль грубых перемещений на базе шагового двигателя.

Целью работы является разработка БПА, предназначенного для перемещения предметного столика микроскопа в диапазоне 50 мм с минимальным шагом 0,5 мкм. Предлагаемый БПА имеет Т-образную конструкцию (рис. 1). Он состоит из пьезоэлектрических элементов *1 - 6*, крепежных элементов *7, 8* и металлических пластин *9, 10*. К неподвижному основанию БПА крепится по концам длинной стороны.

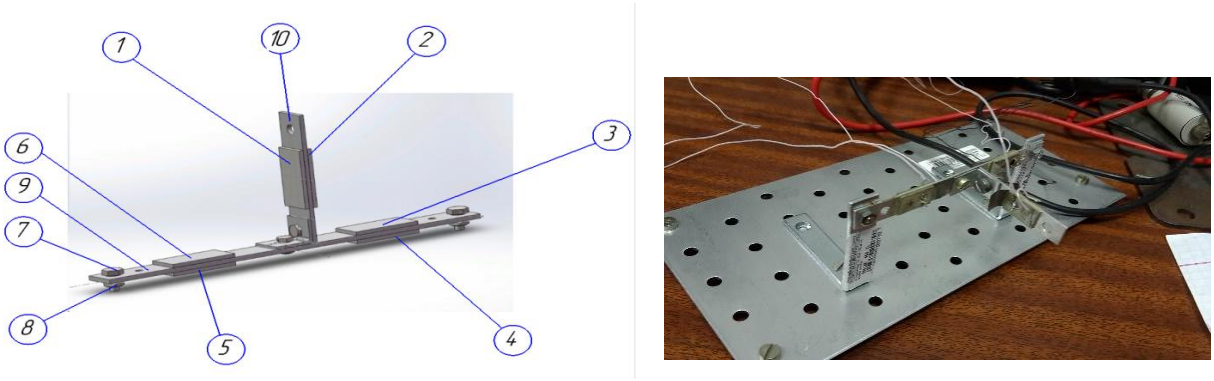


Рис. 1. БПА: *а*) 3-D модель, *б*) экспериментальный образец

Принцип работы пьезопривода с БПА заключается в следующем: при подаче гармонического напряжения на пьезоэлектрические элементы Т-образная конструкция изгибается, как показана на рис. 2. В крайнем нижнем положении *A* толкатель не контактирует с подвижной платформой. В крайнем верхнем положении *B* толкатель взаимодействует с подвижной платформой, сообщая ей ударный импульс в направлении движения *V* справа налево. Для изменения направления движения необходимо изменить сдвиг фаз питания пьезоэлементов на 180^0.

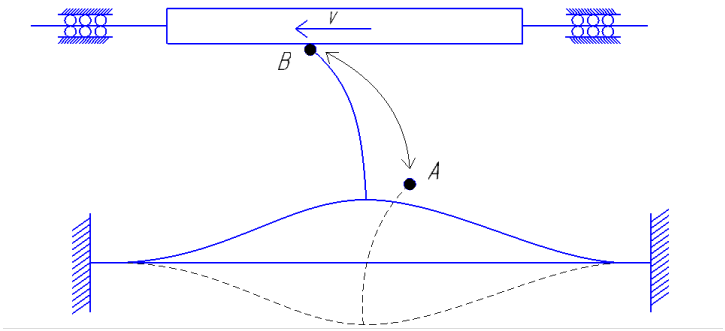


Рис. 2. Схема, поясняющая принцип действия БПА

Для экспериментального исследования БПА была разработана электрическая схема (рис. 3). Пьезоэлектрические элементы *1, 2* и *3, 4* подключаются к генератору гармонического напряжения, пьезоэлектрические элементы *5, 6* – к осциллографу. Для изменения направления движения платформы необходимо изменить полярность напряжения на пьезоэлементах *3, 4*.

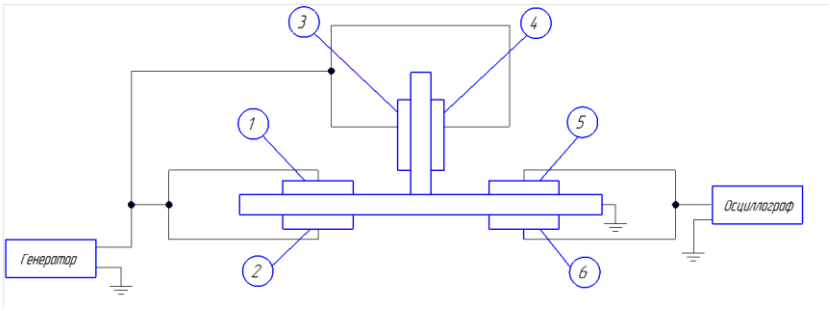


Рис. 3. Электрическая схема подключения БПА

Разработанная компьютерная модель БПА в среде COMSOL (рис. 4) показала работоспособность БПА. При повышении напряжения от 50 до 250 В на резонансной частоте 1,50 кГц амплитуды колебаний толкателя увеличивались от 0,3 до 0,9 мм (рис. 5).

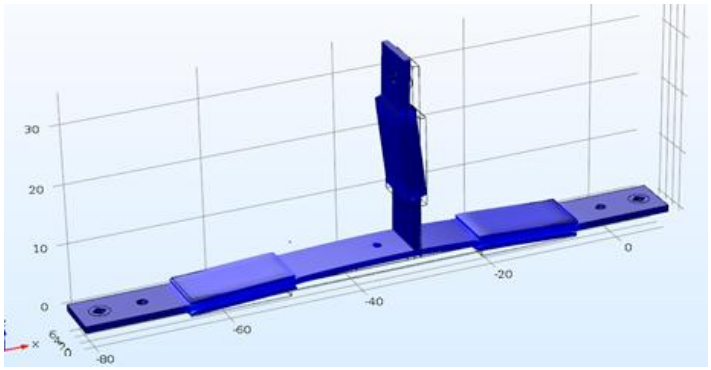


Рис. 4. Компьютерная модель БПА в среде COMSOL (все размеры в мм)

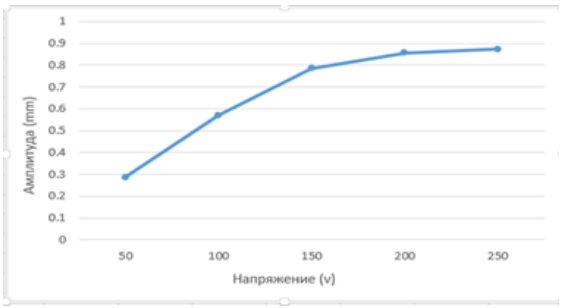


Рис. 5. Зависимость амплитуды колебаний толкателя от напряжения

На рис. 6. показана 3D-модель образа однокоординатного столика. В нем используется инверсная схема: БПА закрепляется не на неподвижном корпусе, а на подвижной части. В корпусе *1* установлены шариковые направляющие *2*, *3*, по которым перемещается столик *4*. БПА *5* закреплен на столике *4* и контактирует с пластиной на корпусе *1*.

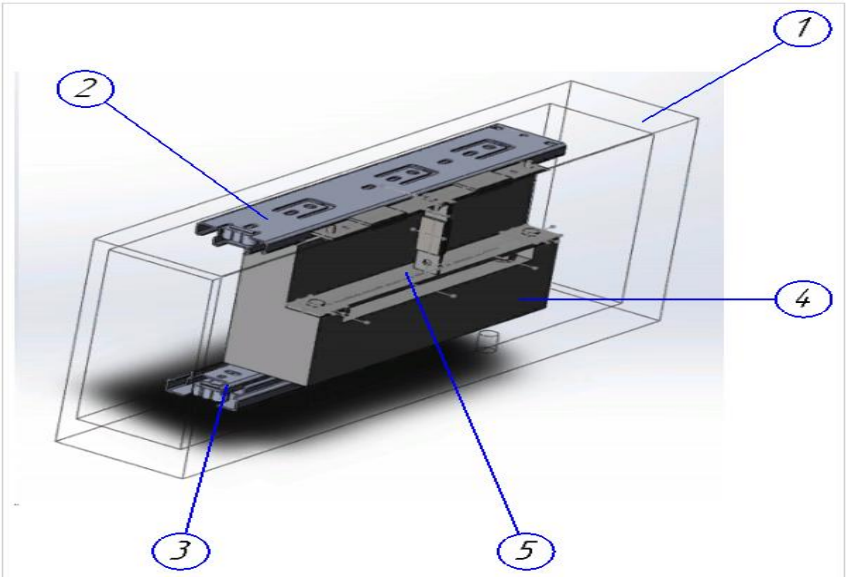


Рис. 6. Однокоординатный модуль

В дальнейшем планируется провести ряд экспериментов по определению характеристик экспериментального образца БПА (рис. 1, *б*), разработать действующий макет столика и испытать его на стенде.

Выводы. Предложена новая схема БПА, используемого в качестве привода столика микроскопа. Разработана модель БПА в среде COMSOL. Результаты компьютерного моделирования подтверждают работоспособность предложенной конструкции БПА.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сайт компании PHYSIK INSTRUMENTE https://www.physikinstrumente.com/en/.
2. Сайт компании NARISHIGE INTERNATIONAL http://narishige-group.com .
3. 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://elib.spbstu.ru/dl/2/3878.pdf/view.
4. Зиеп Хоанг Фи, Смирнов А.Б. Двухкоординатный столикс пьезоприводом// 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. – С.13-17.

УДК 681.5+617.57-77

О.В. Борисова, И.И. Борисов, С.С. Резников
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЛУЧЕЗАПЯСТНОГО СУСТАВА ДЛЯ ПРОТЕЗА РУКИ ЧЕЛОВЕКА

Введение. В последние десятилетия было разработано много электромеханических протезов рук с бионическим управлением. Самые продвинутые протезы верхних конечностей позволяют компенсировать потерю мелкой моторики руки, обеспечить тактильные ощущения и обладают эстетическим видом. Например, GCUA Hand II обладает пятью пальцами и 14 степенями свободы, благодаря чему ловкость устройства выше, чем у традиционных малоприводных (underactuated) протезов [1]. Устройство CyberHand оснащено датчиками, позволяющими распознавать и передавать тактильные ощущения о схватываемом объекте пользователю [2]. Зачастую авторы жертвуют функциональностью руки в угоду малому весу и размеру, антропоморфному внешнему виду и низкому энергопотреблению, например, в указанных выше устройствах отсутствует узел лучезапястного сустава. В коммерчески успешном устройстве Bebionic [3] присутствует только одна степень свободы в лучезапястном суставе, отвечающая за вращение руки вокруг предплечья, что не всегда достаточно для комфортной эксплуатации устройства. В работе [4] запястье искусственной руки оснащено двумя степенями свободы, благодаря чему возможно сгибание/разгибание, пронация/супинация и их комбинирование. Подобное запястье сильно повышает функциональность руки, однако с небольшим ущербом весу конструкции, внешнему виду и электропотреблению.

Цель работы – разработка компактного узла лучезапястного сустава для электромеханического протеза кисти. При выполнении проекта были поставлены следующие задачи: разработать общую концепцию механизма и проработать кинематическую схему, произвести выбор электродвигателей, провести расчет геометрических параметров и расчет на прочность для конической и червячной передач. На основе полученных данных была

поставлена задача прорисовать трёхмерную модель лучезапястного протеза и создать имитационную модель в среде matlab.

Основная часть. В ходе работы над проектом был разработан электромеханический протез кисти, оснащенный системой обратной связи и системой управления на основе электромиографии (ЭМГ) [5]. В целях повышения функциональности устройства было решено разработать узел лучезапястного сустава.

Движение запястья играет важную роль при захватывании различных объектов. С анатомической точки зрения запястье человека имеет 2 степени свободы — вращения вокруг двух осей. Еще одно вращательное движение осуществляется мышечными группами за счёт перемещения костей между запястьем и локтем — при их перекрещивании происходит поворот кисти вокруг оси предплечья. Итого, общая степень свободы равна трем. При проектировании искусственного запястья нерационально воспроизводить все 3 вращательных движения, поскольку это достаточно усложняет механизм, что приводит к понижению надежности, увеличению габаритов и повышению себестоимости.

В разработанной конструкции (Рис. 1) узел запястья состоит из трех редукторов и двух двигателей. В основе узла лежат три конических зубчатых колеса и две червячные передачи. Благодаря комбинации двух двигателей запястье позволяет сгибать/разгибать сустав, а также вращать относительно предплечья (пронация/супинация).

При вращении двигателя Д1 по часовой стрелке и двигателя Д2 против часовой стрелки происходит заклинивание конических передач 4, что приводит к вращению валов 5 и 7 – в результате сустав сгибается. Противоположное движение валов двигателей приводит, соответственно, к разгибанию лучезапястного сустава. Пронация и супинация лучезапястного сустава осуществляется вращением двигателей Д1 и Д2 в одном направлении, что приводит к вращению вала 6.

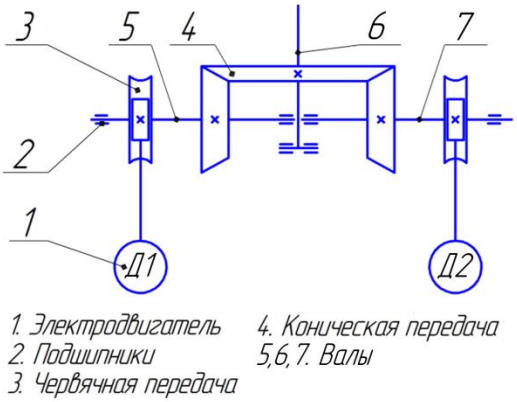


Рис. 1. Кинематическая схема



Рис. 2. Модель запястного сустава

При разработке конструкции лучезапястного сустава проводились проектирование зубчатых механизмов. В механизме были использованы червячная и коническая зубчатые передачи. Для каждой из передач был проведен расчет геометрических параметров и прочности, а так же выбраны материалы, определены допускаемые напряжения, параметры зубчатых колес, проведен расчет зубьев на выносливость. С помощью трёхмерной модели был проведен анализ на прочность в компьютерной среде ANSYS. Узел был спроектирован таким образом, что бы данная конструкция могла выдержать массу искусственной руки с грузом в 2 кг. После чего была создана конструкторская документация устройства.

На основе полученных данных была спроектирована модель запястного сустава для последующего изготовления деталей на трехмерном принтере (Рис. 2). С помощью этой модели было проверено, будет ли данная конструкция достаточно подвижна и не будут ли

детали препятствовать друг другу при движении. Для соединения запястья с кистью в сборку был добавлен фланец, который крепится с переходным фланцем на кисти с помощью болтов. Управление узлом запястья, как и кисти, реализовано на сигналах ЭМГ.

Результаты. В результате проделанной работы была разработана конструкция лучезапястного сустава протеза кисти. Предложенная схема сустава обладает двумя степенями свободы, благодаря чему возможно сгибание/разгибание, пронация/супинация лучезапястного сустава. Были спроектированы коническая и червячная зубчатые передачи, подобраны двигатели для обеспечения движения лучезапястного сустава протеза. Полученная конструкция обладает высокой компактностью. В последующем планируется повысить надежность и ремонтопригодность, улучшить эстетические характеристики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. DemengChe, Wenzeng Zhang: Dexterous and Self-adaptive Under-Actuated Humanoid Robot Hand: GCUA Hand II. Intelligent Robotics and Applications Third International Conference, ICIRA 2010 Shanghai, China, November 10-12, 2010 Proceedings, Part I
2. M. C. Carrozza G. Cappiello S. Micera B. B. Edin·L. Beccai C. Cipriani Received: Design of a cybernetic hand for perception and action 11 September 2006 / Accepted: 19 October 2006 / Published online: 6 December 2006 Springer-Verlag;
3. Bebionic, "Bebionic Hand", http://bebionic.com
4. Peter J. Kyberd, PhD;1* Edward D. Lemaire, PhD;2 Erik Scheme, MSc;1 Catherine MacPhail, BSc;1 Louis Goudreau, BASc, PEng;2 Greg Bush, BA, CP(c);1 Marcus Brookeshaw, BSc1: Two-degree-of-freedom powered prosthetic wrist 6 November 2011/Journal of Rehabilitatiob Research & Development/ Volume 48, Pages 609-618
5. Борисов, С.В. Кривошеев, С.С. Резников, Р.В. Олейник, Разработка электромеханического протеза кисти с обратной связью , 2015, XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Казань, 20-24 августа 2015 г.): Сборник докладов. - 2015. - С. 541-543

УДК 621.865.8

А.В. Миничев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЛИНЕЙНОГО ПРУЖИННОГО ПРИВОДА

Актуальность работы. Рост мирового потребления электроэнергии за 2015 год составило около 150 ТВт*ч. Из них на промышленное производство приходится порядка 28%. Повышение энергетической эффективности промышленных производств позволит увеличить количество промышленной продукции без увеличения потребления энергоресурсов. Энергетическая эффективность промышленных производств может быть повышена за счёт разработки и внедрения пружинных приводов с рекуперацией энергии, которые обладают существенно меньшим энергопотреблением в сравнении с традиционными приводами.

Известны пружинные приводы на базе линейного и нелинейного пружинного аккумуляторов [1-6]. Перемещение выходного звена в них осуществляется за счёт энергии, накопленной в пружине. При этом для работы привода затрачивается лишь энергия, необходимая для преодоления диссипативных сил. Известны два способа передачи выходному звену дополнительной энергии: согласно теореме Эри (передача дополнительной энергии движущемуся выходному звену в начале, конце или по всему ходу) [3] и смещением положения статического равновесия пружинной системы [7, 8]. При компенсации согласно теореме Эри присутствует скачок ускорений, создающий дополнительную нагрузку на

элементы конструкции привода. Компенсация смещением положения статического равновесия обеспечивает плавное изменение силы, приложенной к выходному звену.

Цели и задачи работы. Целью данной работы является повышение надёжности пружинного привода на базе нелинейного пружинного аккумулятора.

Для достижения поставленной цели предложен привод, представленный на рисунке 1. Привод состоит из системы управления (на рисунке 1 не показана), выходного звена *1*, оснащенного фиксатором *2* и перемещающегося по направляющей *3*. Направляющая *3* установлена на корпусе *4*. Каретка *1* шарнирно соединена с одним концом пружины *5*. Вторым концом пружина *5* шарнирно соединена с кареткой *6*, которая перемещается по направляющей *7* пневмоцилиндром *8*. Кроме того, на корпусе установлены датчики положения *9* и *10*.

Работает привод следующим образом: в начальный момент времени выходное звено находится в исходной позиции и регистрируется датчиком *9*, фиксатор включен. Пневмоцилиндром производится перемещение каретки в положение, соответствующее положению статического равновесия системы, необходимому для перемещения выходного звена на расстояние S. По управляющему сигналу из системы управления производится отключение фиксатора, и выходное звено начинает перемещение за счёт силы, действующей со стороны пружины. Потенциальная энергия пружины переходит в кинетическую энергию выходного звена. После прохождения положения статического равновесия начинается торможение выходного звена. Кинетическая энергия выходного звена переходит обратно в потенциальную энергию пружины. Выходное звено при этом прибывает в требуемое положение с околонулевой скоростью. В требуемом положении датчик *10* регистрирует выходное звено и производится включение фиксатора. Обратное движение осуществляется аналогичным образом.

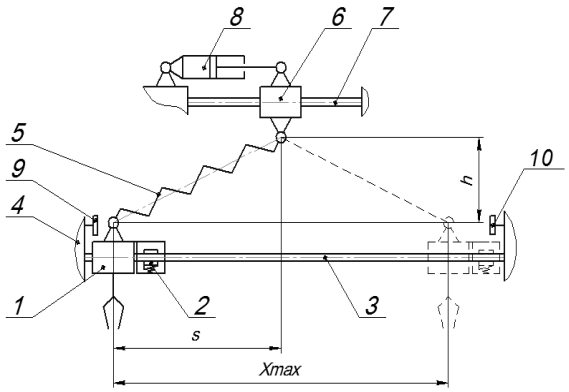


Рис. 1.

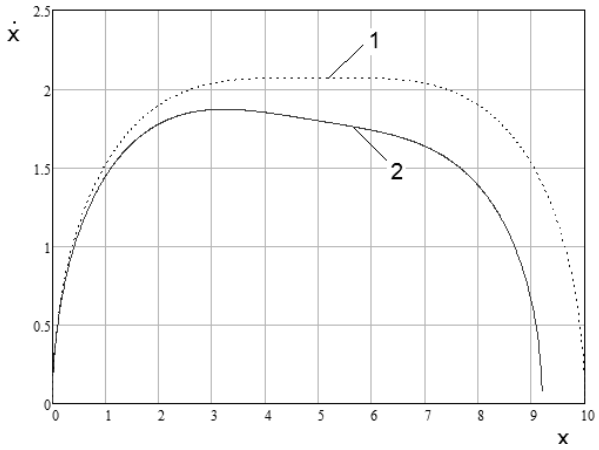


Рис. 2.

Повышение надёжности достигается за счёт улучшения динамического режима, которое достигается исключением скачков ускорений при работе привода.

Параметры привода определяются следующим образом: длина пружины вычисляется как: $l = \sqrt{(s-x)^2 + h^2}$. Сила, действующая со стороны пружины на выходное звено, зависит от удлинения пружины и вычисляется следующим образом: $F_{пр} = C \cdot (\sqrt{(s-x)^2 + h^2} - l_0)$. Угол приложения силы, действующей со стороны пружины, к выходному звену выражается через его тригонометрические функции:

$$sinq = \frac{h}{\sqrt{(s-x)^2 + h^2}}; cosq = \frac{s-x}{\sqrt{(s-x)^2 + h^2}}.$$

Потенциальная энергия пружины в общем случае определяется как: $П = \frac{1}{2} C \cdot \left(\sqrt{(s-x)^2 + h^2} - l_0\right)^2$ Кинетическая энергия выходного звена определяется как: $E = \frac{1}{2} m \cdot \dot{x}^2$ Зависимость скорости выходного звена от координаты определяется решением дифференциального уравнения:

$$m \cdot \dot{x} \frac{d\dot{x}}{dx} = F_{пр} \cdot cosq + F_{дисс}, \qquad (1)$$

где $F_{дисс}$ – приведённая сила сопротивления. Силы, действующие на выходное звено пружинного привода на базе нелинейного пружинного аккумулятора, рассмотрены в работе [3].

Решением дифференциального уравнения (1) получаем выражение скорости выходного звена вида: $\dot{x} = \dot{x}(x,s)$. График зависимости скорости перемещения выходного звена от координаты x представлен на рисунке 2. Линией 1 показан график зависимости скорости выходного звена без учёта энергетических потерь, линией 2 – с учётом потерь. Координата s, соответствующая требуемому положению статического равновесия, вычисляется из выражения $\dot{x}(x_{max}, s) = 0$. График зависимости положения статического равновесия от требуемого перемещения представлен на рисунке 3.

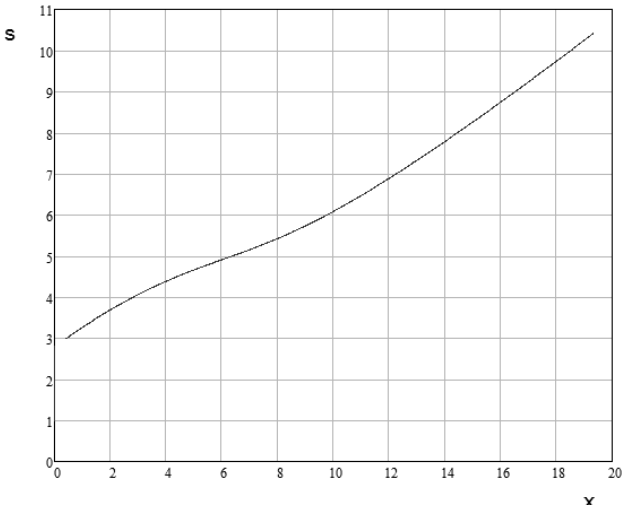


Рис. 3.

Время, затрачиваемое на перемещение выходного звена, вычисляется следующим образом: $t = \int_0^x \frac{dx}{\dot{x}}$.

Результаты работы. С целью повышения надёжности предложена схема пружинного привода с компенсацией смещением положения статического равновесия. Приведены основные выражения, требуемые для расчёта параметров привода. Приведены графики зависимостей рассчитываемых параметров.

Вывод. Предложенный линейный пружинный привод обладает более высокой надёжностью в сравнении с приводами, в которых компенсация осуществляется согласно теореме Эри.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жавнер В.Л., Бойцов Ю.А, Феоктистова Н.А. Рекуперативные приводы с нелинейными аккумуляторами для цикловых промышленных роботов пищевой промышленности // Интенсификация процессов, оборудование и управление пищевых производств: Межвуз. сб. науч. тр. - Л.: ЛТИХП. - 1991.

2. Жавнер В.Л., Смирнов А.Б. Мехатронные системы: Учебное пособие// Изд-во Политехн. ун-та – 2010.

3. Мацко О.Н. Мехатронные рекуперативные приводы для возвратно-поступательного движения: Автореферат диссертации на соискание степени кандидата технических наук: 05.02.05/ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – СПб: 2011.

4. Жавнер В.Л., Смирнов А.Б. Мехатронные принципы проектирования технологического оборудования // Конструктор-машиностроитель. - 2008. - №3

5. Жавнер М.В. Методы расчета и проектирования исполнительных устройств робототехнических систем на базе пружинных механизмов: Автореферат диссертации на соискание степени кандидата

технических наук: 05.02.05/ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – СПб: 2003.
6. Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. и др. Манипуляционные системы роботов. – М.: Машиностроение. – 1989.
7. Глушков А.А. Исследование и разработка быстродействующих поворотных цикловых приводов колебательного типа: Автореферат диссертации на соискание степени кандидата технических наук: 05.02.02/ Владимирский государственный университет. – Владимир: 2006г.
8. А.с. 1768381 (СССР). Промышленный робот / В.В. Зайцев, А.И, Корендясев, А.П. Литовченко, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес, В.С, Шишков и Л.Б. Сачков. 1988.

УДК 681.5

Д.Д. Латкин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНИМОСТИ ПАКЕТОВ LSD-SLAM И ORB-SLAM НА БАЗЕ ROS В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА БОРТУ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Введение. Разработка и исследование методов одновременной локализации и построения карты (SLAM) ,является одной из наиболее актуальных задач мобильной робототехники.

Возможности применения монокулярного зрения для решения задач навигации мобильного робота впервые была описана в статье [1]. После выхода этой статьи в 2007 были предложены различные методы монокулярного SLAM. В настоящее время по литературным данным наиболее эффективными считаются Large-scaleDirectMonocularSLAM (LSD-SLAM) [2] и OrientedFASTandRotatedBRIEFSLAM (ORB-SLAM) [3]. Метод LSD-SLAM основан на выделении “рёбер”, а ORB-SLAM на выделении ключевых точек.

Цель работы –оценка возможности использования свободно распространяемых программных пакетов реализующих LSD-SLAMи ORB-SLAMна бортовом вычислителе мобильного робота.

Критериями оценки являются: возможность выполнения алгоритма в режиме реального времени робота, возможность решения задачи SLAM в темпе видеопотока, вычислительная сложность и ресурсоёмкость алгоритма. Дополнительно в работе выполнены сравнения точности построения карты, чувствительность алгоритмов к характеру освещенности сцены и к скорости движения камеры по отношению к частоте кадров камеры (размытость изображения).

Результаты. Испытания проходили на вычислительном устройстве с 4 гигабайтами оперативной памяти и процессором Intelcorei3-2330M 2.20GHz, в качестве камеры использовалась LogitechC920, которая записывает видео в формате 720pc частотой 30 кадров в секунду. Оборудование данной мощности в обозримом будущем свободно применимо в мобильном роботе дециметрового диапазона.

Методы, основанные на использовании одной лишь камеры, не имеют никакой метрической привязки [4]. Поэтому для сравнения точности построения карты целесообразно либо прибегать к дополнительным устройствам, либо проводить визуальное сравнение. Ввиду отсутствия таких устройств в момент написания статьи, было проведено визуальное сравнение, в котором точность построения карты оценивалась точностью возвращения камеры в исходную позицию. Из рис. 1 видно, что на карте, построенной с помощью программы, реализующей ORB-SLAM (далее просто ORB-SLAM), камера (синий маркер) возвращается в исходную позицию с большей точностью, чем в случае с программой

реализующейLSD-SLAM (далее просто LSD-SLAM). Кроме того как видно из того же рисунка,ORB-SLAM накапливает гораздо меньшую ошибку по высоте. Стоит отметить, что LSD-SLAM показывает значительно лучшие результаты при использовании камеры с большей частотой кадров секунду и без автофокуса (он периодически вносит фотометрическую ошибку), однако они все равно уступают ORB-SLAM. Данные результаты были ожидаемы, так как методы, основанные на ключевых точках, в большинстве случаев, превосходят по точности остальные методы [4].

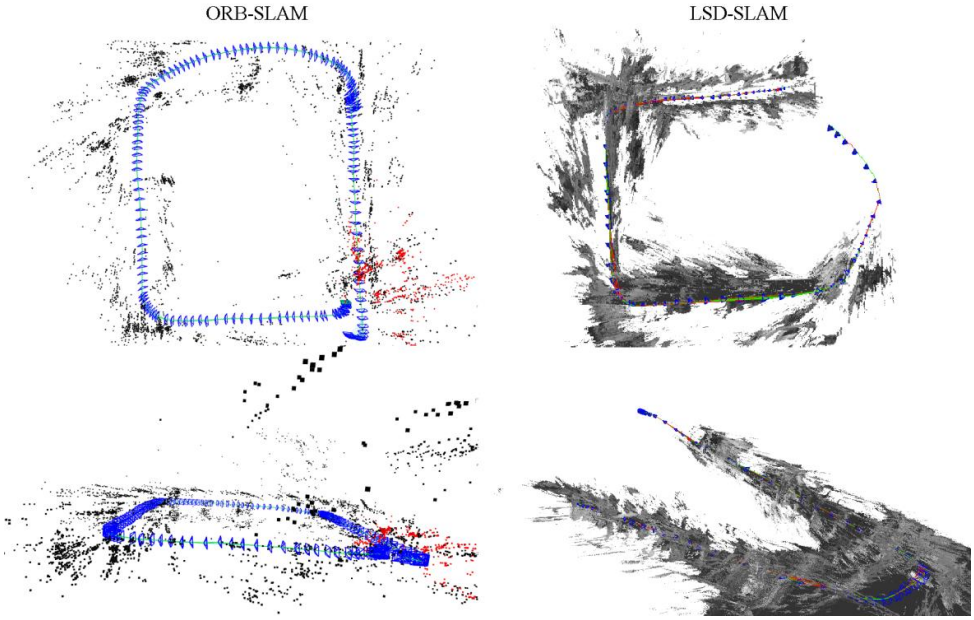


Рис. 1. Визуальное сравнение работы программ, реализующих ORB-SLAM и LSD-SLAM

Для оценки устойчивости работы алгоритмов, обе программы работали с рядом различных видеозаписей. Особенностью этих видеозаписей являются: различная скорость движения камеры, насыщенность либо отсутствие различных объектов сцены, особенности местности.Результаты работы программ показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение работы алгоритмов на разных видеозаписях.

Особенность видеозаписи	Средняя скорость движения камеры, м/с	Общая продолжительность видеозаписи, сек	Время до отказа работы программы ORB-SLAM, сек	Время до отказа работы программы LSD-SLAM, сек
Коридор	0.8	315	Не прошел инициализацию	315
KITTY dataset [5], случайный ролик	4	492	492	282
Обход вокруг здания	1.2	186	119	119
Обход вокруг стендов в зале	1	245	245	245
Обход комнаты	0.3	52	52	52
Случайное движение на улице	1.5	355	218	43

Особенностью при движении в коридоре является отсутствие объектов, к которым можно привязаться, поэтому ORB-SLAM не может локализовать себя в пространстве (провести стерео инициализацию). Хоть LSD-SLAM и обработал всю видеозапись, в его работе наблюдались сбои локализации камеры в виду однотипности ключевых кадров, что сделало его результаты не правдоподобными. В случае с KITTYdatasetORB-SLAM успешно обработал все видео, чего не смог сделать LSD-SLAM ввиду полной загрузки оперативной памяти. При обходе вокруг здания ORB-SLAM и LSD-SLAM потерялись при относительно резком повороте. Видео с обходом вокруг стендов в зале и обходом комнаты обе программы обе программы успешно обработали. При случайном движении по улице LSD-SLAM показал плохие результатыввиду большой фотометрической ошибки, вносимой естественными и искусственными источниками света, чего не скажешь об ORB-SLAM, который продемонстрировал высокую устойчивость к переменчивой освещенности.

Для оценки потребляемой памяти и загруженности процессора, были сняты данные с видеозаписи обхода стендов в зале, ввиду наибольшей информативности этой записи в сравнении с другими. Процессор, указанный ранее, имеет 4 ядра (2 из них виртуальных), поэтому максимальная загруженность может быть – 400%. В обоих случаях обрабатывались изображения с разрешением 640x480. На рис. 2 показана зависимость потребляемой памяти, и загруженность центрального процессора от времени.

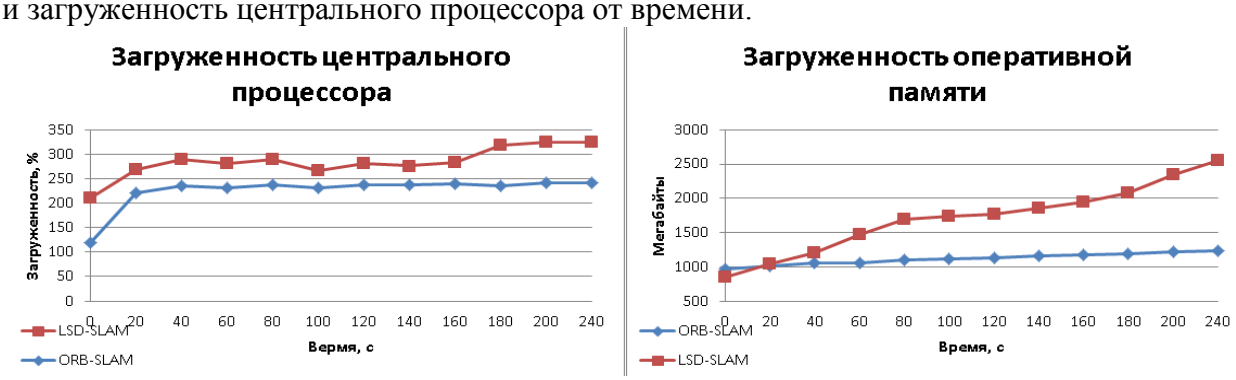


Рис. 2. Сравнение потребления оперативной памяти и загруженности центрального процессора при работе программ реализующих ORB-SLAM и LSD-SLAM

Отсюда видно, что ORB-SLAM потребляет меньше оперативной памяти и меньше грузит центральный процессор, чем LSD-SLAM. Стоит отметить, что оба метода имеют различные режимы работы. Таким образом, меняя те или иные параметры, такие как максимальное количество ключевых точек, в ключевом кадре в случае с ORB-SLAM, или максимальная плотность ключевого кадра в случае с LSD-SLAM и другие, результаты могут значительно меняться. Однако для испытаний были выбраны наиболее оптимальные параметры, рекомендуемые разработчиками данных программ для универсальной работы.

Вывод. Для работы монокулярного SLAM на борту автономного робота в режиме реального времении с высокой устойчивостью к переменной освещенности сцены ORB-SLAM подходит лучше, чем LSD-SLAM. Это делает его наиболее эффективным методом для навигации и ориентации робота по одной камере на момент написания данной статьи. Работа данных методов невозможна при произвольном движении камеры в случайной местности, поэтому необходимо использовать дополнительные устройства, такие как гиростабилизатор или другие устройства дающие информацию о движении и повороте, для комплексирования пробелов, где теряется монокулярныйSLAM.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Georg Klein and David Murray. “Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces”. In: Proc. Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR’07). Nara, Japan, Nov. 2007.
2. Jakob Engel, Thomas Sch¨ops, and Daniel Cremers. “LSD-SLAM: Large-scale direct monocular SLAM”. In: ComputerVision–ECCV 2014. Springer, 2014, pp. 834–849.
3. Raul Mur-Artal, J. M. M. Montiel and Juan D. Tardos, ORB-SLAM: a Versatile and Accurate Monocular SLAM System, Vol. 31. 2015 IEEE International Conference on. IEEE. 2011, pp. 1147 – 1163.
4. Ethan Rublee et al. “ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF”. In: Computer Vision (ICCV), 2011 IEEE International Conference on. IEEE. 2011, pp. 2564–2571.
5. A. Geiger, P. Lenz, C. Stiller, and R. Urtasun, “Vision meets robotics: The KITTI dataset” The International Journal of Robotics Research, vol. 32, no. 11, pp. 1231–1237, 2013.

УДК37.022

В.С. Подлесный
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОВЕДЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В ОБЛАСТИ МЕХАТРОНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ

Введение. Во многих технических университетах нашей страны присутствует проблема, связанная с проведением объемных и полноценных практических занятий по программированию микроконтроллеров. Причину отсутствия качественных и объемных практических занятий следует связать с недостатком оборудования, со стоимостью закупаемого инвентаря. В тоже время очень много зависит от проявления инициативы преподавателями.

Согласно федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования N206 от 12 марта 2015 года выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен быть способным разработать программное обеспечение для управления и обработки информации, исследовать модель робототехнической системы с помощью применения математического моделирования и провести её тестирование [1]. Для полноценного обучения студентов необходимо включить в учебный план систему лабораторных работ и практических занятий, которые позволят начинающим специалистам отработать отмеченные стандартом навыкии применить на практике полученные за время учебы теоретические знания.

В каждом техническом университете проблема проведения практических занятий решается по-разному. В Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники проблему составления практических занятий решают проведением лабораторных работ по программированию микроконтроллера NXTBrick [2]. Но цикл этих работ не позволяет получить навыки работы с электронно-измерительным оборудованием, студенты полностью абстрагируются от электроники и схемотехники. Кафедрой робототехники Московского авиационного института разработан автоматизированный учебно-научный комплекс «Робототехника и интеллектуальные системы» (рис. 1) [3]. Модели стендов разработаны под нужды лаборатории. Идея создания собственной лаборатории из собственного оборудования является самой оригинальной и интересной.

В иностранных высших учебных заведениях, которые предоставляют информацию о материалах и методиках, используемых для обучения, проблема с проведением практических занятий также является актуальной. В качестве примера стоит привести деятельность кафедры информационных технологий в университете штата Джорджия [4]. Для обучения

кафедра использует как приобретенные конструкторы LEGO MindStorms, так и разработки собственных студентов (рис. 2).

Цель работы – предложить решение проблемы проведения полноценных практических занятий по программированию микроконтроллеров в области робототехники в университетах нашей страны.



Рис. 1. Автоматизированный учебно-научный комплекс «Робототехника и интеллектуальные системы»



Рис.2. Прототип стенда для программирования и управления двигателем постоянного тока

Решение проблемы заключается в создании комплекса лабораторных работ, развивающих навыки студентов по всем изученным предметам курса робототехники, а не только программирования микроконтроллеров. Серия лабораторных работ должна позволить студентам применить на практике знания из конструирования, электротехники и программирования. Также необходимо разработать лабораторный стенд для выполнения заданий и проведения исследований.

Результаты. Сотрудниками студенческого конструкторского-технологического бюро Центрального научного исследовательского института робототехники и технической кибернетики разработана серия лабораторных работпо программированию исполнительных механизмов робототехнических систем для проведения практических занятий по программированию микроконтроллеров для студентов 4 курса, обучающихся на кафедре мехатроники и робототехники Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого.

Данный подход к обучению студентов используется впервые на кафедре робототехники Политехнического университета и уже приносит значительные успехи в обучении студентов. В процессе выполнения серии работ обучающиеся закрепляют на практике полученный материал за прошлые года. По окончании цикла работ каждый студент приобретает навык работы с электронным измерительным оборудованием и становится способен решить любую задачу, связанную с анализом работы робототехнической системы, её моделированием и исследованием параметров.

В качестве объектов для изучения и исследования представлены такие исполнительные механизмы, как мотор-редуктор постоянного тока с энкодером Metal Gearmotor 37Dx52L, шаговый двигатель StepperMotor 1208, сервопривод цифровой HS-5485HB. Лаборатория, специально созданная для проведения занятий, оснащена оборудованием, которое активно используется в рабочей деятельности сотрудниками исследовательского института. В качестве примера стоит рассмотреть лабораторный комплекс по программированию сервоприводов. Стенд представляет из себя трехзвенный манипулятор, изготовленный из пластика с платой управления на фанерной платформе,спланшетом для рисования и двумя стойками, оснащенными концевыми выключателями (рис. 3).В узлах звеньев манипулятора расположены цифровые сервоприводы HS-5485HB, применяемые в разработках института.

Реализована обратная связи по положению с помощью магнитного энкодера AS5040 и потенциометра. Плата управления предназначена для предохранения электроники от неаккуратного и неопытного обращения, а также предоставляет возможность реализовать связь манипулятора с персональным компьютером по интерфейсу uart на базе преобразователя CP2103. Для реализации программного управления используется отладочная плата микроконтроллера STM32F103 на базе ядра ARMCortex-M3 32-bit. Особенность конструкции состоит в простоте монтажа и демонтажа манипулятора, а также его модернизации. Для проведения измерений предусмотрено наличие осциллографа GDS-72304, мультиметра APPA 62T. Установку обеспечивает питанием блок АКИП-1104.



Рис. 3. Лабораторный стенд

На базе стенда выполняется лабораторная работа по программированию сервоприводов.

В ходе лабораторной работы студенты изучают состав и технические характеристики сервопривода. Обучающиеся получают навыки программирования таймеров общего назначения, интерфейса uart, приобретают опыт работы с электронными измерительными устройствами, обучаются чтению электрических схем, изучают её компоненты. Перед выполнением работы студентам необходимо применить на практике знания по исследованию геометрических параметров робота.

Все начинается с рисунка кинематической схемы манипулятора. Изучив состав и технические характеристики сервоприводов, студенты решают прямую геометрическую задачу. Затем переходят к решению обратной геометрической задачи. Следующим этапом расчетов является решение задачи контурного управления, которая заключается в построении закона движения полюса третьего звена по заданной траектории. После того, как все расчеты проведены, студентам необходимо разработать программное обеспечение. Следует написать программу, согласно которой должно происходить нажатие конца третьего звена на каждый концевой выключатель. При этом требуется в программе фиксировать нажатие выключателя, момент, когда светодиод загорится, добиться плавного поворота звеньев манипулятора и исключить в начале переход робота в исходное положение. Также надо не забыть настроить обратную связь по положению вала, используя АЦП. Затем нужнофломастером, вмонтированным в третье звено, нарисовать букву или символ. В конце необходимонастроить обмен данными по интерфейсу UART и добиться управления манипулятором с ноутбука или компьютера.

Помимо расчетов и составления программ каждый обучающийся должен рассмотреть и проанализировать электрическую схему подключения сервоприводов, распределения питания на элементы. В процессе движения звеньев манипулятора сделать снимки осциллограмм ШИМ-сигналов, используя осциллограф. Также необходимо провести многократное измерение силы тока в цепи каждого сервопривода во время его работы.

Проанализировать результаты. Выбрать среднее и максимальное значение силы тока, которое достигается при работе сервопривода.

Выводы. В результате проделанной работы, включавшей в себя разработку технических средств и лабораторных указаний, удалось реализовать ряд лабораторных работ высокого уровня. Студентыполучают качественные практические занятия. Невысокая стоимость изготовления, простота сборки конструкций стендов наряду с полноценными и объемными лабораторными работами позволяют отметить решение проблемы, связанной с проведением практических занятий, как самое новаторское и перспективное.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Российская Федерация. Законы. «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.03.06 мехатроника и робототехника (уровень бакалавриата)» [приказ Министерства образования и науки России от 12 марта 2015 г. N 206 (ред. от 09.09.2015)] / Информационно-справочная система «КонсультантПлюс», версия от 24.04.15 г.
2. Шандаров Е.С. Методические рекомендации к лабораторным занятиям по дисциплине основы мехатроники и робототехники; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР 2011 г.
3. Московский авиационный институт. Режим доступа: [http://www.mai.ru/science/equipment/photo/index.php?PAGE_NAME=section&SECTION_ID=1309 30/05/2015].
4. T.K. Hamrita, W.D. Potter, B. Bishop Robotics, Microcontroller, and Embedded Systems Education Initiatives at the University of Georgia An Interdisciplinary Approach / The University of Georgia, Athens, GA 30602-4435, USA.

УДК 62.519

Э.А. Абросимов, Д.В. Киракосян, С.А. Титовец
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ГНЦРФ Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики

РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА С ЭЛЕМЕНТАМИ ТЕЛЕПРИСУТСТВИЯ

Телеприсутствие (англ. TelePresence) – набор технологий, позволяющий пользователю с помощью специальных устройств (телеуправляемых роботов) обеспечить максимально возможный эффект присутствия или воздействия на место, отличное от его физического местоположения [1]. На сегодняшний день телеприсутствие является технологией, способной практически полностью заменять живое общение. Это позволяет использовать ее в ситуациях, которые до недавнего времени требовали личного присутствия собеседников. Например, проведение переговоров с руководителями иностранных компаний, заседания советов директоров в крупных корпорациях и т.п.

Система телеприсутствия включает в себя средства приема и передачи видеопотока, а также устройства визуализации и видеозахвата. От обычных средств видеосвязи робот телеприсутствия отличается полной автономностью и возможностью передвигаться под управлением пользователя. Спектр применения таких роботов весьма обширен: от охранника и домашнего помощника до промоутера и настоящего сотрудника компании.

Рынок роботов телеприсутствия - высококонкурентный. Выделим несколько типов – первые представляют собой роботизированные мобильные платформы для смартфонов или планшетных ПК. На Российском рынке они представлены несколькими десятками разновидностей. Перечислим некоторых из них: PadBot [2], ТракБот и BotEyes , которые

позволяют перемещаться и вести видеоконференцию в онлайн режиме через компьютер или телефон [3], R.Bot и, Webot, имеющие встроенные видеокамеры на поворотных платформах. Арсенал зарубежных роботов телеприсутствия еще обширнее, перечислим лишь несколько моделей - Astrobee для использования на космической станции, SuitableBeam, VGo и много фиксированных систем, типа Branto, Jibo [4] и т.п.

Центр популяризации робототехники ГНЦ РФ ЦНИИ РТК представил техническое задание на разработку робота телеприсутствия. Нашей командой был проведён анализ современных технологий изготовления подобных систем и приняты следующие решения:

- Система управления строится на базе клиент-серверной архитектуры. На клиенте (роботе) установлен одноплатный компьютер RaspberryPi 2 под управлением ОС Raspbian. В качестве серверной части подходит любой ноутбук под управлением ОС Linux.
- Связь между клиентом и сервером осуществляется по беспроводной сети Wi-Fi на частоте 5.8 МГц. Использование сети Wi-Fi обусловлено простотой её развертывания и доступностью для пользователя.
- В качестве элемента питания робота выбран свинцовый аккумулятор, ёмкостью 12 А/ч.
- Для создания корпуса робота используется фанера и листовой алюминий. Детали были получены при помощи лазерной резки и печати на 3D – принтере.
- Робот оснащён трёхстепенной подвижной “головой”, копирующей движения головы оператора. На “голове” робота расположены две камеры для создания стереопары. Стереопара транслируется в шлем оператора, благодаря чему создаётся стереоэффект.
- Передвижная система робота состоит из двух колёсных блоков и заднего колеса рояльного типа. Колёсные блоки включают в себя независимо управляемый мотор-редуктор, связанный с колесом посредством зубчато-ременной передачи, и амортизатор. Такая схема обладает высокой маневренностью, что важно при работе на выставках среди людей.
- В качестве шлема оператора используются очки виртуальной реальности для смартфона. Они уже имеют систему линз, ноне имеют собственного дисплея. Поэтому дополнительно шлем оснащается дисплеем с разрешением 4K и трёх осевыми MEMS датчиками: гироскопом и акселерометром. Это позволяет оператору управлять движениями головы робота.
- Перемещение платформой осуществляется с помощью пульта оператора (джойстика). Сигналы от джойстика и их трансляцию в управляющие команды для робота осуществляет пультовое приложение собственной разработки. Оно же устанавливает связь с роботом по WLAN и принимает видеопоток, который транслируется на операторский шлем. Шлем подключается к пультовому ноутбуку в качестве второго экрана по HDMI и USB.
- Структурная схема системы управления роботом приведена на рис. 1:

В соответствии с этой структурной схемой система управления построена по модульному принципу и имеет общую CAN-шину, к которой подключена плата контроля драйвером двух DC двигателей и плата контроля трёх драйверов шаговых двигателей. Драйверы на платах управляются с помощью микроконтроллеров Atmega32M1. Прошивки управления драйверами как DC моторов, так и шаговых двигателей, являются собственными разработками нашей команды. Таким образом, полностью реализован нижний уровень управления. Бортовой одноплатный компьютер RaspberryPi 2 играет роль ретранслятора CAN-сообщений между платами контроля драйверов и пультовым компьютером, обрабатывающем команды оператора. Так представлен верхний уровень управления.

Обработка видео с камер осуществляется средствами свободно распространяемого кроссплатформенного мультимедийного фреймворка GStreamer: на компьютере RaspberryPi 2 принимается два видеопотока, к ним применяются шейдеры, и затем они склеиваются в

один поток. Этот поток представляет из себя стереопару с закруглёнными краями, как изображено на рис. 2. Затем этот поток транслируется непосредственно в шлем оператора.

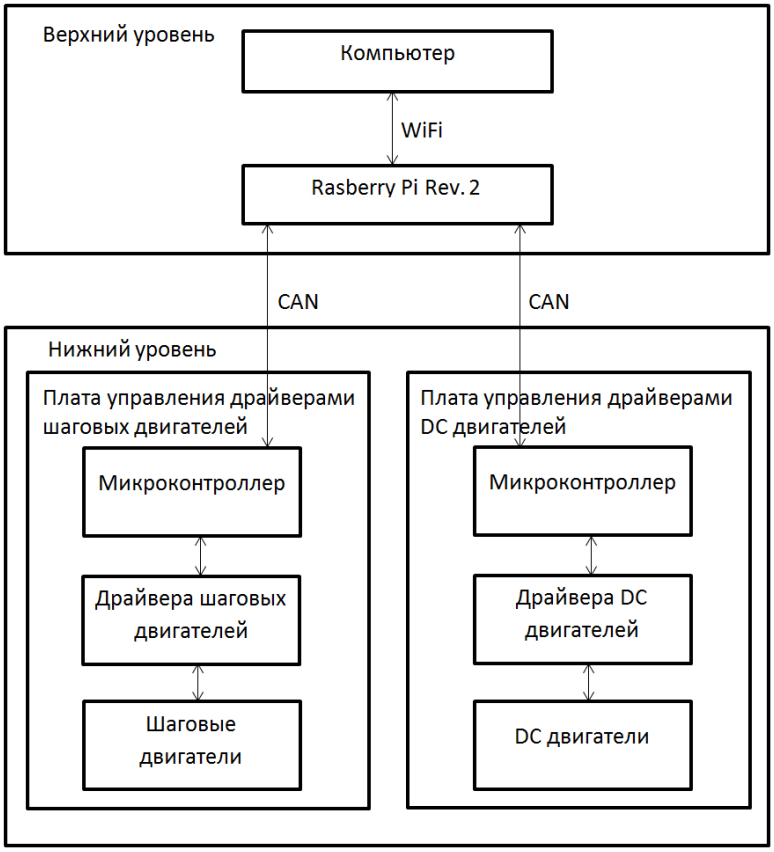


Рис. 1. Структурная схема системы управления роботом



Рис. 2. Пример транслируемого видеопотока

Опыт использования разработанной платформы телеприсутствия показал её высокую надёжность и эффективность. Робот успешно справляется с поставленной задачей – повышение интереса к робототехнике среди школьников и студентов. Это подтверждается участием разработанной платформы на множестве выставок и фестивалей, таких как: научно-популярный фестиваль GeekPicnic, педагогический совет в КВЦ «Экспофорум», день знаний в лицее №150 и т.д. Главным достижением мы считаем успешное выступление в соревнованиях «РобоКросс-2016» в номинации «РобоКросс-Технологии», где наша платформа заняла почётное второе место.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Telepresence (Minsky 1980; Sheridan 1992a; Barfield, Zelter, Sheridan, & Slater 1995; Welch, Blackmon, Liu, Mellers, & Stark 1996)
2. Робот телеприсутствия PadBot. URL: http://www.roboworks.ru/katalog/internet- magazin/dlja-doma-i-ofisa/roboty-teleprisutstvija/robot-teleprisutstvija-padbot (Дата обращения: 07.10.2016)
3. Обзор российских робототехнических разработок. Роботы телеприсутствия. URL: http://www.robogeek.ru/analitika/roboty-teleprisutstviya (Дата обращения: 07.10.2016)
4. Телеприсутствие. Роботы телеприсутствия. URL: http://robotrends.ru/robopedia/ teleprisutstvie.-roboty-teleprisutstviya (Дата обращения: 07.10.2016)

УДК 54:001.12/.18

В.В. Ваганов, Ф.М. Лесник
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МОНТМОРИЛЛОНОНИТА В ПЕЧАТНЫХ КРАСКАХ

Изображение, создаваемое с помощью нанографического печатного процесса, имеет уникальную стойкость и истиранию. Этот процесс позволяет печатать на любом из существующих субстратов, (от мелованной и немелованной бумаги до вторично переработанного картона, от газетной бумаги до упаковочных пленок) – и всё это без предварительной обработки, специальных покрытий или сушки. Нанографические изображения имеют толщину порядка 500 нанометров – вполовину меньше обычной офсетной печати.

Нанотехнологические подходы и продукты современных нанотехнологий, включающие разработку технологий с использованием нанопигментов уже применяются в лакокрасочной промышленности [1]. Для широкомасштабной реализации необходимо увеличить ассортимент пигментов, а также усовершенствовать производственный процесс и повысить качество готовой продукции. Нанопигменты способствуют улучшению механических и тепловых свойств краски, делая её более стабильной [2]. Нанопигменты являются гибридными материалами, полученными путём синтеза органических молекул красителя и слоистых силикатных наночастиц. Нанопигменты собрали в себя такие преимущества красителей и пигментов, как насыщенность цвета, широкая гамма цветов, избегая при этом таких недостатков, как низкая светостойкость, низкая устойчивость к окислению, воздействию температур, ультрафиолетовому излучению и т.д. [3].

Применяемые в настоящее время для окрашивания печатных красок красящие вещества- это пигменты и красители. Отличительной особенностью пигментов является их нерастворимость в растворителях. Краситель хорошо растворяется в растворителях, молекулы которых имеют солеобразующую группу и могут диссоциировать на ионы.

Применение нанопигментов в печатных красках позволяет получить высококонтрастные цвета при создании печатных оттисков.

Одним из путей получения нанопигментов является диспергирование природного, модифицированного или синтетического монтмориллонита в подходящем растворителе или смеси растворителей [4], обработку этой дисперсии раствором красителя в том или ином растворителе, выделение окрашенного продукта фильтрованием и сушку. Экологичность и экономичность процесса обеспечивается как использованием доступных и сравнительно безопасных растворителей (вода, ацетон, спирт), так и повторным использованием фильтра в последующих процессах получения нанопигментов.

Цель работы. Целью данной работы является доказать превосходство краски с использованием нанопигментов над краской с красителями.

*Результаты.*Детальные исследования показали, что в зависимости от типа поверхностно-активного вещества (ПАВ), которым модифицирован монтмориллонит, и от структуры красителя, обладающего определёнными функциональными группами, количество нанесённого красителя может варьироваться в широких пределах. При модифицировании разными ПАВ монтриллонита и красителей активно голубого и дисперсного синего п/э видно, что содержание красителя в нанопигменте при идентичных условиях получения получения может изменяться в несколько раз, причём величина, и даже знак эффекта при варьировании структуры ПАВ, зависит от природы красителя.

Установлено, что цвет получающегося нанопигмента зависит не только от структуры красителя, но и от его содержания. Полученные данные свидетельствуют о том, что одним из наиболее оптимальных является продукт – природный монтмориллонит, модифицированный катионными ПАВ формулы HTN+(CH3)2CH2C6H5CI-, где HT– алкил C18 (65%), C16 (30%) и C14 (5%), позволяющий получить пигменты с большим содержанием (вплоть до 40% мас.%), поэтому наноструктурированные частицы этого типа и были преимущественно использованы в дальнейших исследованиях [5]. Анализ устойчивости окраски к действию света важен не только потому, что необходимо знать, различается ли светостойкость красителей в нанопигменте и на волокнах, но и потому что фиксация пигмента осуществляется под действием УФсвета.

На рис. 1 приведены характеристики изменения спектров отражения окрашенных нанопигментом плёнок полистирола (ПС), моделирующих стирольные связующие после облучения в аппарате искусственной светопооды‘SuntestXLS+’. На рис. 1: 1- это спектр с 2% содержанием красителя после облучения 24 ч.; 2 – с 2% -до облучения; 3 – с 20.4% красителя после облучения 96 ч.; 4 – с 20.4% до облучения. Видно, что характер и масштабы изменений существенно зависят от природы красителя. Светостойкость красителей в нанопигменте в полярных связующих коррелирует с устойчивостью окраски на волокне [4]. Влияние природы связующего, используемого при печати пигментами, является весьма общим фактором и характерно для красителей различных классов. Для полиметилметакрилата (ПММА), моделирующего акрилатные связующие, устойчивость окраски длявсех красителей на 1-3 балла выше, чем в ПС [4]. Из полученных данных следует два важных в практическом отношении вывода: 1 - для получения высокой устойчивости к действию света, необходимо использовать нанопигменты с максимально высоким содержанием красителя, 2 - правильно выбирать связующее (и, в частности, акрилатного типа). Использование нанопигментов на основе смесей красителей позволяет в широких пределах варьировать цвет.

При реализации этого подхода, кроме ожидаемых, были обнаружены и необычные эффекты, усиливающие перспективность этого направления. Оказалось, что общее содержание наносимых красителей при использовании смесей существенно увеличивается при сопоставимых условиях получения по сравнению с индивидуальными компонентами.

Масштабы эффектов весьма существенны и составляют десятки, а в ряде случаев и сотни процентов. Их величина, как следует из полученных данных, зависит от соотношения концентраций красителя и их природы. Возможное объяснение механизма обнаруженных эффектов может быть связано с сорбцией низкомолекулярных веществ наночастицами. Взаимное влияние красителей наблюдается в ряде случаев и при анализе устойчивости окраски к действию цвета. В частности, для пигмента на основе смеси светостойкого красителя дисперсного желто – коричневого 2Ж п/э и менее светостойкого дисперсного сине-зелёного наблюдается значительное увеличение устойчивости менее стойкого компонента по сравнению с индивидуальным (рис. 2). Важно, что эффект для смешанного нанопигмента существенно выше, чем для смеси нанопигментов, полученных на основе индивидуальных красителей. Это свидетельствует об основном вкладе механизмов, связаных с физико-химическим взаимодействием красителей в нанопигменте. В отдельных, существенно более редких случаях, наблюдается и обратные эффекты, заключающиеся в заметном увеличении скорости расходования более светостойкого красителя в присутствии неустойчивого. Мы получили результаты, которые свидетельствуют о возможности путём использования смесей не только в широких пределах варьировать цвет нанопигмента, но и увеличивать общее содержание окрашивающего компонента, то есть получить более тёмные тона. Оптимизация состава красителей позволяет получать окраску с более высокой по сравнению с индивидуальным компонентом устойчивостью к действию света. На рис. 2 изображены кинетические кривые фотовыцветания красителей в нанопигменте: 1 – дисперсный сине-зелёный + дисперсный жёлто-коричневый 2Ж п/э/Cloisite 10A(1.2 %); 2 – дисперсный сине-зелёный/Cloisite 10A (1 %). Как следует из данных рисунка 2, композиция, содержащая нанопигмент на основедисперсного красителя, значительно более устойчива, чем аналогичные композиции, окрашенные непосредственно тем же красителем или обычным пигментом, поэтому такие краски могут быть использованы для крашения термостойких материалов.

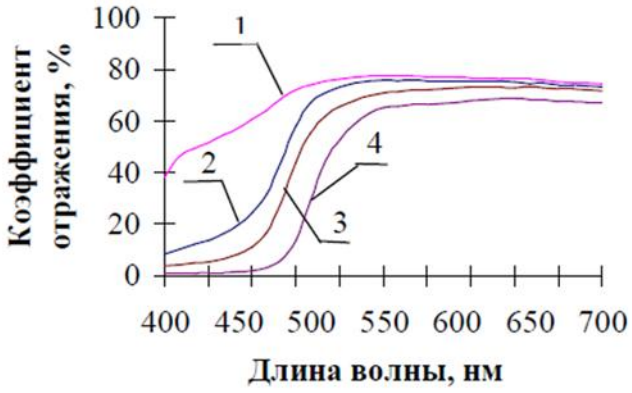


Рис. 1.

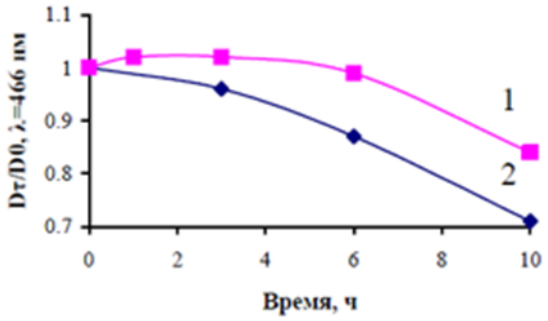


Рис. 2.

Вывод. Проведённые исследования показали возможность получения печатных красок на основе тонкодисперсных нанопигментов с применением монтомориллонита и установлено влияние природы связующего на качество печатных красок при применении нанопигментов. Показано, что путём использования смесей красящих веществ можно не только варьировать в широких пределах цвет нанопигмента, но и увеличивать общее содержание окрашивающего компонента. Это позволяет создавать печатные краски насыщенного цвета с большей светостойкостью, которые могут быть использованы для создания термостойких оттисков.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Диссертация Ваганов Г.В. Исследование и разработка эпоксидных порошковых композиций и покрытий, модифицированных силикатными наночастицами различной морфологии. 161с. 2012г.
2. Заводчикова А.А. Разработка технологии печатания текстильных материалов УФ-красками с нанопигментами: Автореферат дис. на соиск. уч. степ. канд. наук – Защита 15.03.2012.
3. Jarus, D. et al. ‘Polyolefin nanocomposites in TPOs’ in Automotive. Swizerland, June 2005
4. “Наноматериалы и нанотехнологии в полиграфии’’ В.В. Ваганов, Г.В. Ваганов. 2014г.
5. Сайт компании Sun Chemical http://sunchemical.ru/.

УДК 62-503.51

А.М. Жуков[1,2], В.П. Макарычев[1,2]
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
[2]Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫМ АППАРАТОМ

Введение. Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) являются средством для исследований мирового океана и выполнения задач геополитического и военного характера,т.к. использование данных аппаратов дешевле и производительнее, чем использование обитаемых подводных аппаратови не связано с угрозой жизни человека. Однако, при всех преимуществах АНПА их использование связано с другими трудностями.

С точки зрения механики, АНПА – сложные нелинейные, динамические, многосвязные объекты, функционирующие в вязкой среде. Кроме того,параметры самого АНПА не удаётся определить полностью и с желаемой точностью. Таким образом, необходима, высококачественная система управления (СУ), которая должна обеспечивать достаточный уровень автономности и устойчивости:причем как к параметрическим, так и непараметрическим возмущениям и уметь адаптироваться к изменяющейся внешней среде.

ПИД-регулятор до сих пор остается наиболее распространённым решением в промышленности, т.к. обеспечивает необходимое качество управления, имеет простую структуру,поэтомутребует небольших временных затрат на разработку. В тоже время эффективность использования ПИД-регулятора в СУ АНПА остается пока под вопросом.

Перспективным подходом построения СУ являются алгоритмы управления на основе обратной задачи динамики, которые давно известныи с успехом используются в робототехнике [1]. Данные алгоритмы при известных условиях асимптотически устойчивы, инвариантны к параметрам объекта управления (ОУ) и позволяют получить желаемое качество управления [1]. Основной трудностью синтеза алгоритмов на основе обратной задачи динамики является разработка максимально полной математической модели, учитывающей все необходимые динамические параметры.

Цель работы – провести сравнительный анализ алгоритм ПИД регулирования и алгоритм управления на основе обратной задачи динамики, который дает возможность учитывать динамику системы при формировании управляющего сигнала.

Математическое описание. Особенностью математического описания АНПА является описание динамики в подвижной (неинерциальной) системе координат, с дальнейшим переходом в базовую инерциальную СК для описания координат и скоростей. Математическаямодель АНПА подробно описано в [3].

Для описания кинематики АНПА определим две системы координат (СК): неподвижная (связанная с землей) СК Oxyz и подвижная (связанная с АНПА) $O_v x_v y_v z_v$. Ось

у неподвижной СК направлена параллельно вектору силы тяжести, но в противоположную сторону. Ось x_v – направлена вдоль продольной оси аппарата. Ось y_v – лежит в продольной плоскости аппарат и перпендикулярна оси x_v.

Определим вектор положения подводного аппарата в виде$q = [q_1^T q_2^T]^T = [x\ y\ z\ \varphi\ \theta\ \psi]^T$, где $q_2 = [\varphi\ \theta\ \psi]^T$– углы Эйлера. Также определим вектор $v = [v_1^T v_2^T]^T = \left[v_x v_y v_z w_x w_y w_z\right]^T$, который определяет проекции линейной и угловой скорости на оси подвижной СК. Вектора скоростей в этих СК связаны якобианом:

$$v = J\dot{q}. \tag{1}$$

Уравнениединамики в матричной форме,в связанной СК записывается в виде:

$$\mathrm{M_{rb}}\dot{v} + C_{rb}(v)v + \mathrm{M_A}\dot{v_r} + C_A(v_r)v_r + D(v_r)v_r + g(q) = f_u\,, \tag{2}$$

где $\mathrm{M_{rb}}$, $\mathrm{M_A}$- матрицы инерции твердого тела (ТТ) и присоединенных масс;C_{rb}, C_A- матрицы кориолисовых и центростремительных сил;D- матрица гидродинамических сил и моментов сопротивления;$g\ (q)$ – вектор гравитационных и выталкивающих сил-моментов; f_u - управляющий вектор сил и моментов в связанной СК;v_c – скорость течения относительно дна в СК АНПА; $v_r = v - v_c$– скорость набегающего потока на АНПА.

В качестве объекта управления рассматривается АНПА сдостаточно общей структурой расположения движителей аппарата:общим числом 8, из которых4 продольных расположены в хвостовой части, а остальные 4 поперечных– попарно в вертикальной и горизонтальной плоскостях аппарата.

Динамика движителей с достаточной точностью описываетсяв [4] уравнением:

$$F_T = K_T \rho n^2 D^4, \tag{3}$$

где K_T – коэффициент, зависящий от скорости набегающего потока искорости вращения гребного винта; ρ – плотность воды; n – скорость вращения гребного винта; D – диаметр винта.

Описание алгоритмов управления. Субоптимальные по времени с динамическими ограничениями гладкие программные траектории строились методом, реализованным в СУ манипуляторов космического корабля “Буран”и действующего макета космического технологического манипулятора DORES [2].

Управляющий вектор сил-моментов (размерностью 6) раскладывался на 8-мерный управляющий вектор движителей, с использованием псевдообратной матрицы *B* для обоих алгоритмов управления. Кроме того в стабилизирующем алгоритме с учетом динамики системы в данной матрице учитывалась также динамика движителей.

ПИД – регулятор. Такой регулятор имеет следующую простую структуру:

$$u = K_p e + K_i \int_0^t e\ dt + Kd\ \frac{de}{dt}. \tag{4}$$

Здесь рассматривается ПИ-регулятор скорости движения АНПА, коэффициенты регулятора настраивались итерационно с помощью средств оптимизации переходного процесса системы MATLAB/Simulink сначала для каждого канала независимо с последующим учётом взаимовлияния каналов.

Стабилизирующий алгоритм на основе обратной задачи динамики. Алгоритм стабилизирующего управления с учетом динамики системы использует обратные связи по положению и скорости $\mathrm{q}, \dot{\mathrm{q}}$ и описывается уравнением:

$$(\mathrm{M_{rb}} + \mathrm{M_A}) * (\dot{v}_p + G_1(v - v_p) + G_0(\int v - \int v_p)) + (C_{rb}(v_p) + C_A(v_p))v_p + D(v_p)v_p + g(q_p) = f_u \quad (5)$$

где G_1, G_0 – матрицы параметров алгоритма управления размерности $n \times n$ такие, что матрица $G = \begin{bmatrix} 0 & E \\ G_0 & G_1 \end{bmatrix}$ устойчива (по критерию Гурвица) [1].

В данном уравнении не учитывается скорость течения v_r, так как она не всегда измерима. Матрица коэффициентов *G* в алгоритме управления настраивалась вручную.

Результаты эксперимента. Эксперименты проводились на разработанной Simulink-модели. Она состоит из следующих основных блоков: блок построения программной траектории; блок алгоритма управления на основе обратной задачи динамики; блок ПИД-регулирования; блок описания внешней среды; блок модели движителей; блок объекта управления.

Для оценки качества управления данными алгоритмами было проведено компьютерное моделирование следующих режимов:движение АНПА вперед на 200 м, с одновременным погружением на 20 м со скоростью 0.8 м/с и 0.2 м/с соответственно; движениеАНПА по окружности с радиусом 50 м. Результаты моделирования представлены на рис. 1, 2.

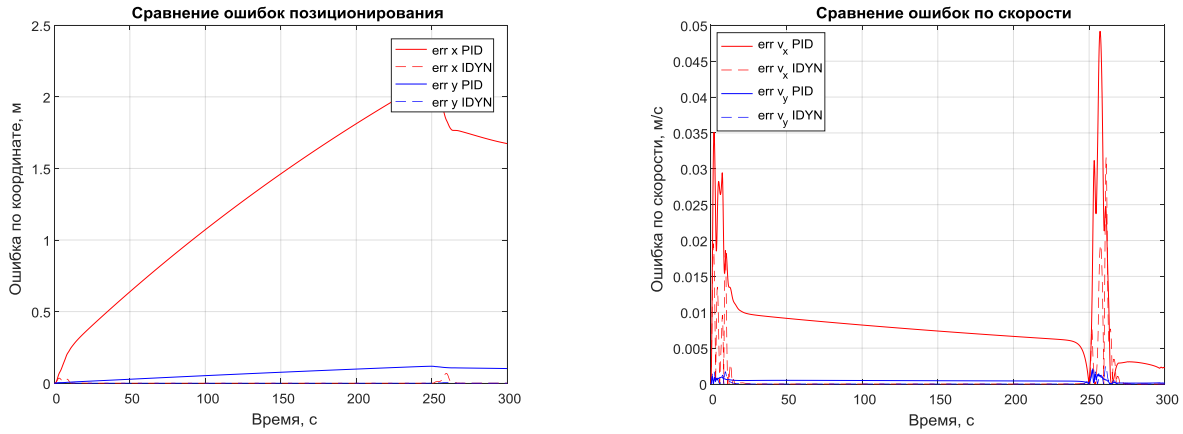


Рис. 1. Результаты моделирования движения по прямой с погружением

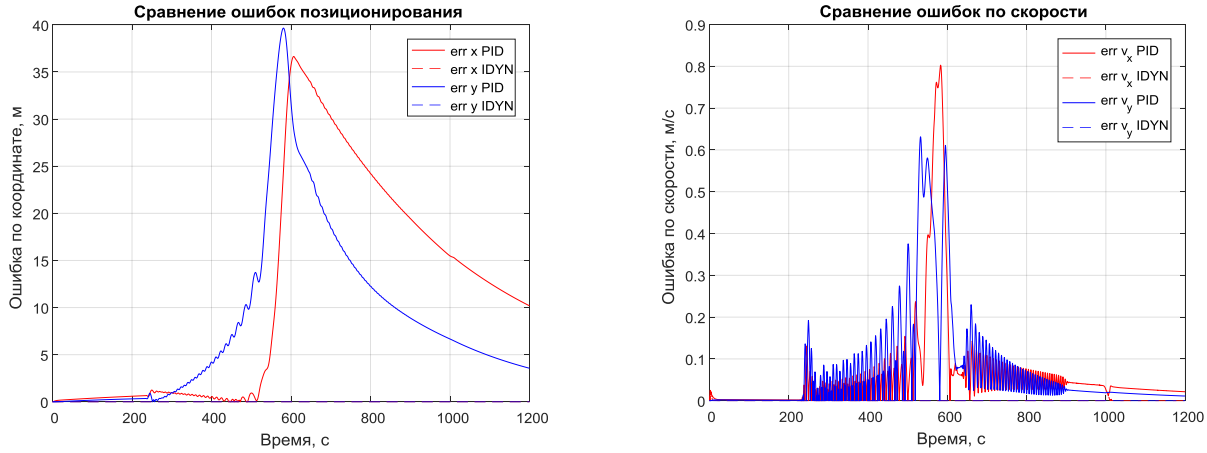


Рис. 2. Результаты моделирования движения по окружности

Выводы. Моделирование показало, в случае ПИД-регулятора движение по окружности является неустойчивым, а для многоканального управления по прямой (движении вперед с погружением) нет астатичности. Алгоритм управления на основе обратной задачи динамики обладает устойчивостью, астатичностью и малой динамической ошибкой. Кроме того время настройки коэффициентов ПИД-регулятора во много раз превысило время настройки матриц алгоритма управления на основе обратной задачи динамики.

Таким образом, проведенное исследование показало, что, несмотря на простую реализацию, область использования СУ с ПИД-регулятором довольно ограничена, а время настройки его коэффициентов может быть неприемлемо.

Для алгоритма управления на основе обратной задачи динамики в дальнейшем необходимо провести дополнительные исследования устойчивости данного алгоритма к различным возмущениям и разработать его адаптивную версию.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.В. Козлов, В.П. Макарычев, А.В. Тимофеев, Е.И. Юревич, Динамика управления роботами. – М.: Наука, 1984. – 336 с.
2. В.П. Макарычев, Е.И. Юревич. Супервизорное управление космическими манипуляторами, – СПб.: Астерион, 2005. –106 с.
3. Thor I. Fossen., Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control., Wiley, 2011, 582p.
4. J. N. Newman, Marine Hydrodynamics. Cambridge, MA: MIT Press, 1997, 389p.

УДК 621.

О.С. Гончаревский, В.А. Дьяченко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОНСТРУКТОРСКИЕ И ДИЗАЙНЕРСКИЕ ЗАДАЧИ УСТАНОВКИ ФЛАГА У СТАДИОНА «ЗЕНИТ-АРЕНА»

Приведенные ниже поисковые решения выполнялись по заданию спортивного клуба «Зенит».

Цель работы – поиск конструкторских и дизайнерских решений задач обеспечения подъема флага у стадиона «Зенит-Арена».

Сложность задач определяется прежде всего принятыми Заказчиком габаритами флага и флагштока: флаг имеет размеры 20х30 м и массу 600 кг, а высота флагштока будет составлять 105 м. Флагшток представляет собой сборную коническую металлическую трубу с диаметром при вершине 1200 мм, а при основании - 2600 мм. Такие габариты флагштока делают его определенной городской доминантой и требуют придания ему эстетически выразительного надвершия, сомасштабного всему сооружению.

Расположение флага у Финского залива в известной манере предопределяет наличие на такой высоте достаточно сильных и переменных по направлению ветров, что может привести к наматыванию флага на флагшток и даже к трудно устранимому его запутыванию между тросом и флагштоком. К этому следует добавить отсутствие даже оценочных характеристик возможных ветровых нагрузок на столь большое полотнище флага, сведений по способу его крепления на тросе и подъему/опусканию.

Всё это существенно усложняет задачу разработки конструкторских решений устройства подъема/опускания флага. При решении этой задачи рассматривалось несколько вариантов, которые в общем плане сводились к двум существенно различным подходам:

1 - флаг поднимается/опускается по одной стороне флагштока,

2 - подвеска флага на флагштоке всегда ориентирована по имеющемуся направлению ветра.

Сначала рассмотрим первый вариант решения задачи, как конструктивно сравнительно простой и, по нашему мнению, достаточно надёжный в эксплуатации. Он предполагает подачу троса от приводной лебёдки [1, 2] изнутри полого флагштока. Заметим, что при этом длинна троса должна быть более 200 м. Трос через два блока, установленных на сварной раме на вершине флагштока (рис. 1) внутри надвершия, спускается к основанию флагштока по наружному рельсу или прямоугольной трубе, закрепленной на флагштоке. Внизу к нему через карабин крепится фал, смонтированный в левой вертикальной стороне флага с установленными на нём с равным шагом опорными роликовыми скобами [3]. При подъеме флага у основания флагштока эти скобы просто заходят на рельс или в трубу с вертикальной прорезью для флага.

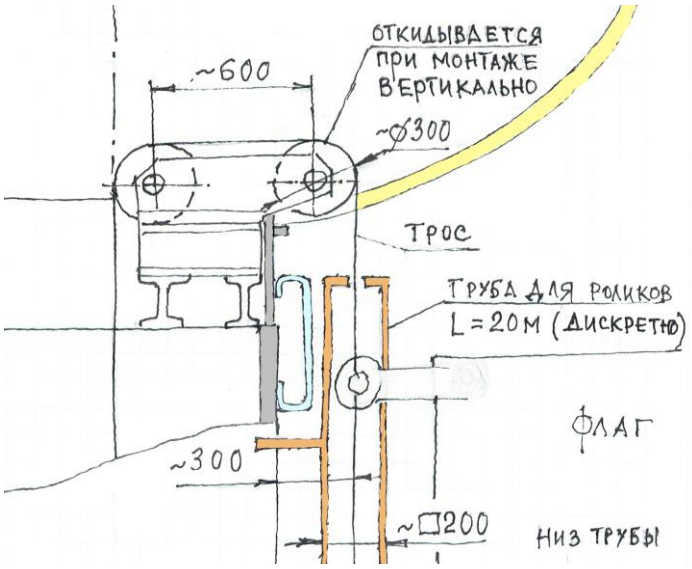


Рис. 1.

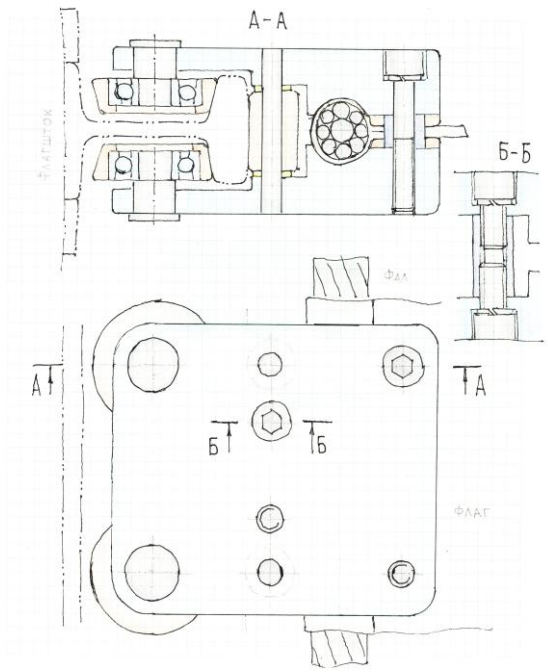


Рис. 2.

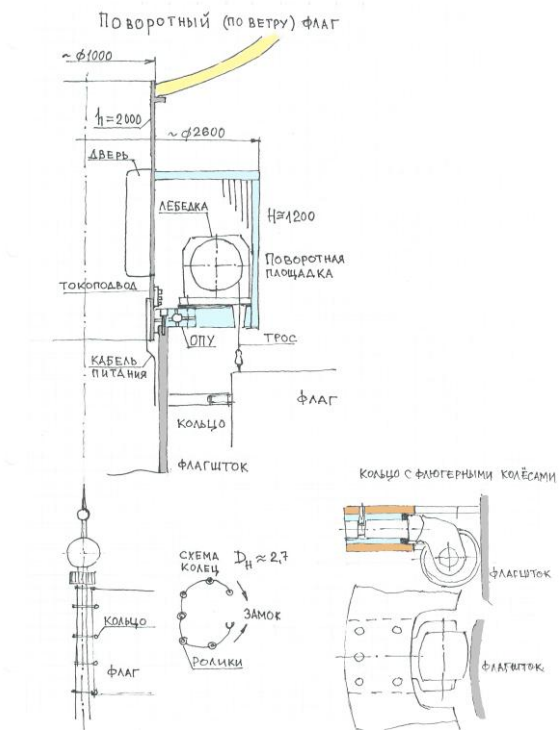


Рис. 3.

Возможное конструктивное решение скоб понятно из рисунка 2. Идея установки трубы или рельса лишь на верхней части флагштока потребовала бы установки соответствующего «ловителя» для ориентированного захода в трубу (рельс) первой скобы флага (и последующих скоб тоже) [4], что не гарантирует полную надежность этой процедуры особенно при наличии ветра.

Второй вариант (рис. 3) предполагает наличие поворотной платформы на верхней части флагштока [6] с установленной на ней приводной лебедкой [1]. При этом длина троса будет в два раза меньше, чем в предыдущем случае. Такая платформа может быть установлена на покупном опорно-поворотном устройстве, выпускаемом, например, заводом «Тверской экскаватор» или Уралвагонзаводом [6]. Также на вершине флагштока должно быть расположено устройство подвода питания к электродвигателю подвижной лебёдки.

Для подъема и установки флага на флагштоке должны при этом использоваться разъемные кольца с флюгерными опорными роликами для свободного подъема и поворота колец [5, 6]. Разъем на кольцах (рис. 3) требуется для их установки непосредственно на нижнее основании флагштока (где они могут и храниться). Флаг крепится к кольцам с помощью специальных карабинов. Определенным недостатком здесь является большой размер и некоторая сложность конструкции колец. Но при такой большой высоте флагштока их размер и увеличенное расстояние флага от флагштока не должны восприниматься как слишком заметный недостаток конструкции. Во всяком случае, попытки установить на поворотной платформе также направляющую 20-метровую трубу или рельс для флага оказались неприемлемыми как по прочностным, так и по эстетическим соображениям.

Выводы.

1. Анализ предложенных вариантов подъема флага показал, что наиболее рациональным решением является его перемещение тросом по неподвижной направляющей (рельс, труба), установленной на флагштоке.

2. Для упрощений процедуры подъема флаг сбоку имеет встроенный полимерный фал и специальные скобы, заходящие снизу в направляющую [3].

3. При подъеме фал с флагом через карабин соединяется с грузоподъемным тросом, опускаемым лебёдкой [1].

4. Из предложенных дизайнерских вариантов надверший предпочтение следует отдать стилизованному мячу (Рис. 4), подсвечиваемому в тёмное время прожекторами.

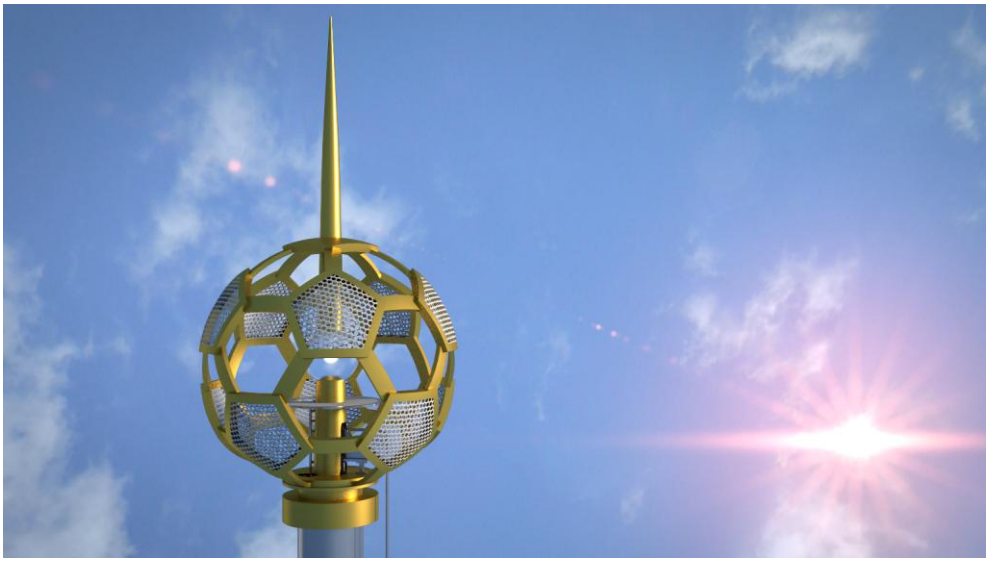


Рис. 4. Стилизованный мяч диаметром D=4 м
с сигнальными огнями и громоотводом

Другие варианты предлагаемого дизайнерского и конструктивного решения неподвижного надвершия флагштока с сигнальными огнями и громоотводом показаны в компьютерной презентации доклада.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Расчет и выбор параметров лебедки: методические указания / Сост. Ф.Ф. Кириллов, А.Н. Щипунов, Н.В. Гончаров. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2007.14 с.
2. Мироновский Л.А., Петрова К.Ю. Введение в MATLAB. Учебное пособие. СПбГУАП. СПб, 2005.
3. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. / Стали. Чугуны. Т.II-2 / Г.Г. Мухин, А.И. Беляков, Н.Н. Александров и др.; Под общ. ред. О.А. Банных, Н.Н Александрова. – М.: Машиностроение. – 2001.- 784 с.
4. Каталог журнала «Металлы и цены» / URL: http://metal4u.ru/eversion/by_rub/non-rusting/дата обращения: 02.10.2016 г.
5. Общий каталог G15 Blicklie «Колеса и ролики» / URL: http://syndic.ru/files/catalogs/catalog_g15_ru-web.pdf дата обращения: 22.10.2016 г.
6. Проектирование и моделирование промышленных изделий: Учеб. Для вузов / С.А. Васин, А.Ю. Талащук, В.Г. Бандорин, Ю.А. Грабовенко, Л.А. Морозова, В.А. Редько; Под ред. С.А. Васина, А.Ю. Талащука. – М.: Машиностроение-1, 2004 – 692 с., ил.

СЕКЦИЯ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

УДК: 673

Д.Э. Локшина, М.Х. Седлер
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КОМПЛЕКТУЮЩИХ СИСТЕМЫ ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

В современном мире, в котором абсолютно здоровых людей найти практически невозможно, одной из самых прибыльных и развивающихся областей считается медицина, а именно – стоматология. Как медицинская наука стоматология сформировалась не так давно, всего сто лет назад, когда произошла интеграция челюстно-лицевой хирургии и зубоврачевания. Сейчас стоматология включает в себя различные специализации: общая терапия, пародонтология, хирургия, ортодонтия, ортопедия, протезирование, профессиональная гигиена, имплантология. [1]

Актуальность данной работы обусловлена тем, что одной из самых новых, но развивающихся специализаций в мире является имплантология, занимающаяся введением в полость рта человека неорганических заменителей утраченных органов - дентальных (зубных) имплантатов, производство которых в настоящее время в России не налажено.

На современном рынке дентальных имплантатов, лидирующие позиции занимают компании Straumann, MIS и Dentsply Friadent (Ankylos). [2]

Система дентальной имплантации состоит из дентального имплантата - стержня, являющегося прототипом корня зуба, на который ставятся остальные части - винт, абатмент, коронка (рис. 1). Для производства дентальных имплантатов, в основном, используется титан, являющийся индифферентным материалом, не вызывающим в организме человека негативных реакций.

.

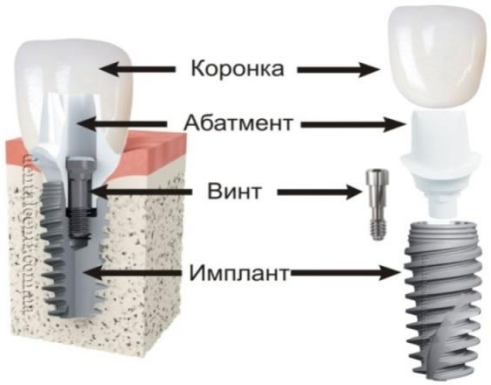


Рис. 1. Пример системы дентальной имплантации

Работа выполнена для ООО «Smart» – нового предприятия на рынке товаров в области производства дентальных имплантатов. Миссией предприятия является производство высококачественной продукции на базе европейских технологий с заявкой на высокое качество по приемлемой цене.

В настоящее время ООО «Smart» решает проблему организации производства комплектующих системы дентальной имплантации: дентальный имплантат, винт, абатмент. Проект ООО «Smart» нацелен на политику импортозамещения.

Целью данной работы является разработка конструкции, прогнозирование объема продаж и проекта организации производства комплектующих системы дентальной имплантации, оценка эффективности нового производства.

Наиболее ответственной и сложной комплектующей является дентальный имплантат, конструкция которого определяет качество системы дентальной имплантации. Был произведен патентный поиск, выбран ближайший аналог и разработана конструкция дентального имплантата, которая представлена на рис. 2.

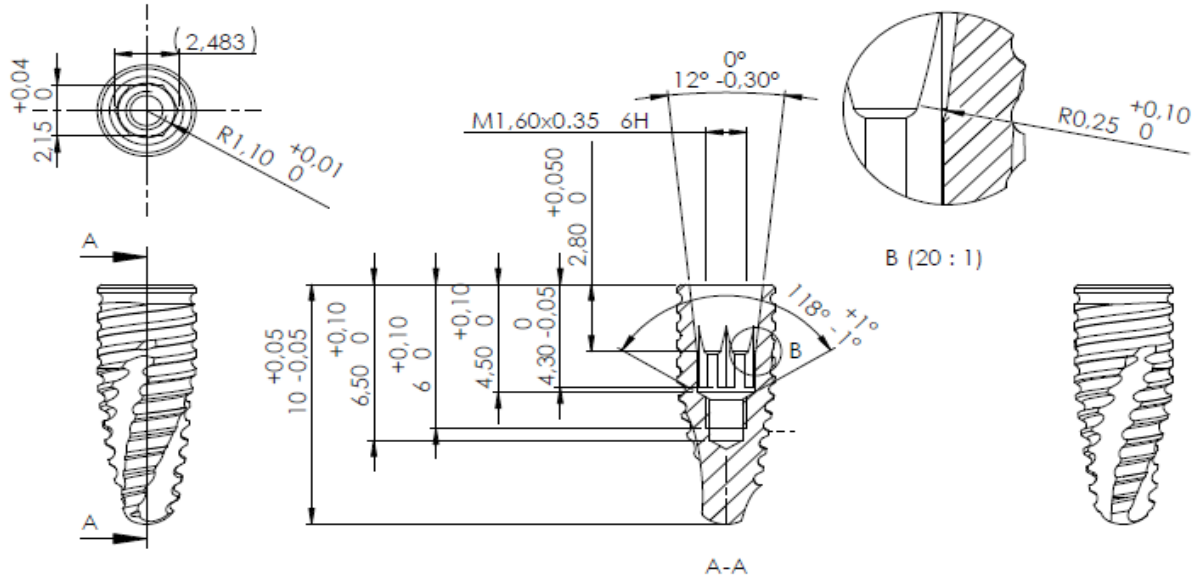


Рис. 2. Конструкция дентального имплантата

К основным преимуществам разработки можно отнести:

- форму образующей режущей кромки, обеспечивающуюувеличение прочности;
- наименьший шаг резьбы у основания, позволяющий улучшить первичную стабильную фиксацию в кости;

смена платформ (platformswitching) для лучшего нарастания альвеолярной кости на имплантат и его закрытия, что улучшает интеграцию и приживление, а также устойчивость при установке абатмента и коронки [3];

единовременную установку системы.

Благодаря обеспечению возможности единовременной установки системы пациенту необходимо всего один раз посетить врача-имплантолога. Возможность единовременной установки системы является основным конкурентным преимуществом разработки: существующие на рынке производители только начинают практиковать установку в один поход к врачу полной системы.

После этого был разработан технологический процесс производства дентального имплантата, включающий следующие технологические операции: контроль материалов и сырья; заготовительная операция – точение, отрез детали, фрезеровка (внутренняя); стерилизация; контроль качества; пескоструйная обработка; стерилизация; анодирование; контроль качества; упаковка - наружная упаковка в стерильных условиях и внутренняя упаковка; стерилизация гамма-лучами.

Основным потребителем продукции ООО «Smart» является материнская фирма предприятия; помимо этого продукция будет продаваться в сторонние организации и стоматологические клиники. На основании количества заказов потребителей, с которыми уже заключен договор на приобретение продукции, был определен начальный объем

выпуска комплектующих системы и произведен прогноз последующего объема продаж, на основании которого рассчитана планируемая производительность создаваемого производства. С учетом требуемой производительности выбрано и закуплено оборудование, разработаны планировки производственных участков, созданы 3D-модели, написаны управляющие программы, произведен расчет себестоимости (представленный в таблице 1) комплектующих, исходя из уже полученных заказов [4].

Таблица 1

Расчет себестоимости комплектующих

Наименование продукции	Имплантат	Абатмент	Винт
Объем производства первоначальный (шт. в месяц)	400	400	800
Доля вида продукции в количественном плане производства	25%	25%	50%
Сырье и материалы (на ед-цу продукции)	1 320р.	1 050р.	470р.
Заработная плата основных рабочих (на ед-цу продукции)	555р.	300р.	100р.
Технологическая энергия на ед-цу	20р.	10р.	3р.
ИТОГО: переменные затраты	1 895р.	1 360р.	573р.
Доля З/П каждого вида продукции в общей сумме	58%	31%	10%
Постоянные затраты на единицу продукции	814р.	440р.	73р.
Итого себестоимость производства комплектующих	2 709р.	1 800р.	646р.

Как видно из таблицы 1, ООО «Smart» сможет предложить конкурентоспособные цены на свою продукцию.

В планы работы предприятия входит ориентация на европейских потребителей. Для этого необходимо все производство вести с точки зрения стандартов ISO и CE-директив. В настоящее время разработана вся необходимая для сертификации документация по нормам ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и ГОСТ Р ИСО 13485-2011, в соответствии с которой осуществляется деятельность. Разработана и внедрена система менеджмента качества, с помощью которой предприятие сможет достигнуть любых поставленных перед собой целей [5, 6].

После запуска серийного производства необходимо запустить рекламную кампанию, чтобы доказать преимущества системы дентальной имплантации ООО «Smart» и завоевывать сердца не только врачей-имплантологов, но и пациентов стоматологических клиник.

Вывод: Реализация проекта выведет на рынок дентальных имплантатов новый конкурентоспособный продукт.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Н.Н. Бажанов. Стоматология – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2002 г. – 304 с.
2. POSEIDO Journal Periodontology, Oral Surgery, Esthetic & Implant Dentistry Open Volume 2, Issue 1, March 2014.
3. Canullo L, et al. Platform switching and marginal bone-level alterations: The results of a randomized-controlled trial 2010.
4. Найджел Слак, Стюарт Чеймберс, Роберт Джонстон Организация, планирование и проектирование производства: операционный менеджмент: перевод с 5-го английского издания – М.: Инфра-М, 2009. – 789 с.

5. ГОСТ ISO 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
6. ГОСТ ISO 13485-2011. Изделия медицинские. Системы менеджмента качества. Системные требования для целей регулирования.

УДК 658.5

В.Г. Курчавина, М.Х. Седлер
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДА

Цель работы – повышение надежности трубопровода путем прогнозирования дефектности участков. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- произведен анализ дефектов за последние 10 лет. Для исследования выбран участок теплосети 6 района от Южной ТЭЦ в районе Рыбацкого;
- разработана система количественных показателей надежности трубопровода и комплексный показатель надежности участков трубопровода.

Работа выполнена для службы диагностики предприятия АО «Теплосеть Санкт-Петербурга», задачей которой является своевременный поиск и устранение дефектов. В связи с этим тема работы является актуальной. Компания создана 1 февраля 2010 года на базе городских сетей и структурного подразделения «Тепловая сеть» ОАО «ТГК-1». Организация обеспечивает передачу 50% потребляемой городом тепловой энергии [8]. На предприятии существует система регистрации дефектных участков трубопровода теплосети. Для этого используется специальное программное обеспечение – электронный архив «ТС. Заявки-дефекты». В процессе выполнения работы были изучены существующие средства определения дефектов [2; 3] и методы испытания трубопровода [4], произведен анализ обнаруженных дефектов[1] в зависимости от различных показателей. Результаты анализа приведены на рис. 1.



Рис. 1. Анализ обнаруженных дефектов в зависимости от различных показателей

На основании произведенного анализа разработана методика оценивания дефектности участка [7], для которой введена система количественной оценки следующих показателей надежности [5, 6]:

- число дефектов за последние 10 лет (сумма дефектов по исследуемому адресу);
- последняя диагностика за 10 лет (в зависимости от года диагностики присваивается балл: 1 – текущий год, далее плюс один балл за каждый предыдущий год);
- тип трубопровода (1 балл – подающий трубопровод, 0 – обратный трубопровод).

Остальные показатели приняты в соответствии с результатами анализа, приведенными на рисунке 1:

- год прокладки трубопровода (2008г. – 1 балл, 2005г. – 2 балла и т.д.);
- тип прокладки (в футляре – 1 балл, в камере – 2 балла и т.д.)
- поверхностный слой (если нет поверхностного слоя – 3 балла, газон – 2 балла, газон и асфальт – 1 балл).

При оценке дефектности исследуемого участка проставляются баллы по каждому показателю надежности. Далее вычисляется показатель дефектности для каждого участка как частное от деления суммы баллов по показателям надежности на максимальный показатель, выраженный в процентах. Максимальный балл вычисляется по формуле:

$$max = MAX[\text{количество дефектов среди всех участков}] + 10 + 1 + 6 + 5 + 3$$

Максимальный балл по всем показателям, перечисленным выше

Для проверки эффективности метода была проведена его апробация на исследуемом участке. Результат расчета представлен на рис. 2.

Караваевская ,16	ТК-4	ТК-5	09.08.2013 14:24	Подающий	1985	Бесканаль	Газон				
Караваевская ,16	ТК-4	ТК-5	09.08.2013 14:27	Подающий	1986	В камере	Нет поверхностного покрова				
Караваевская,16	ТК-4	ТК-5	25.06.2014 12:22	Обратный	1986	Бесканаль	Газон				
Караваевская,16	ТК-4	ТК-5	30.06.2015 10:14	Обратный	1986	В камере	Нет поверхностного покрова				
Караваевска,22	ТК-6	ТК-7	05.06.2013 11:51	Подающий	1986	Бесканаль	Газон				
Караваевская,22	ТК-6	ТК-7	22.07.2011 15:11	Подающий	1985	В камере	Газон				
Караваевская,22	ТК-6	ТК-7	25.06.2014 21:01	Подающий	1986	Бесканаль	Газон				
Караваевская,22	ТК-5	ТК-6	04.07.2014 13:55	Подающий	1986	Бесканаль	Газон				
Караваевская,22	ТК-5	ТК-6	06.04.2016 14:35	Подающий	1986	Бесканаль	Газон				
Софийская 94/94	ПР 1	кам 1	09.11.2010 16:25	Подающий	1985	Непроход	Газон				
Софийская 94/94	ПР 1	кам 1	03.10.2011 09:27	Обратный	2005	Непроход	Газон				
Софийская 94/94	ПР 1	кам 1	16.04.2013 08:43	Подающий	1985	Прокладк	Газон				
Софийская 94/94	ПР 1	кам 1	03.06.2008 17:12	Подающий	1985	Непроход	Газон				
Караваевская,20	ТК-5	ТК-6	24.06.2015 16:28	Подающий	1986	Бесканаль	Газон				
Караваевская,20	ТК-5	ТК-6	06.04.2016 22:13	Подающий	1986	Бесканаль	Газон,местный проезд				
Караваевская,23	ТК-6	ТК-7	07.07.2015 06:53	Подающий	1986	Бесканаль	Газон				
Караваевская,24	ТК-6	ТК-7	29.08.2016 01:53	Подающий	1986	Бесканаль	Газон				
				Балл							
Адрес	От	До	Число дефектов за последние 10 лет	Последняя диагностика за 10 лет	Тип трубопровода	Год прокладки	Тип прокладки	Поверхностный слой	сумма	% дефекта	max
Караваевская,24	ТК-6	ТК-7	1	1	1	4	4	2	13	46	28
Караваевская,16	ТК-4	ТК-5	2	2	0	4	3	2,5	13,5	48	
Караваевская,20	ТК-5	ТК-6	2	1	1	4	4	1,5	13,5	48	
Караваевская,22	ТК-5	ТК-6	2	1	1	4	4	2	14	50	
Караваевская,23	ТК-6	ТК-7	1	2	1	4	4	2	14	50	
Софийская 94/94	ПР 1	кам 1	1	6	0	2	3	2	14	50	
Караваевская,22	ТК-6	ТК-7	2	3	1	4	3	2	15	54	
Софийская 94/94	ПР 1	кам 1	3	4	1	5	2	2	17	61	
Караваевская,16	ТК-4	ТК-5	2	5	1	4,5	3	2,5	18	64	

Рис. 2. Апробация метода на участке теплосети 6 района от Южной ТЭЦ в районе Рыбацкого

На основании полученного результата могут быть предложены действия для исследуемого участка. Для этого составлена оценочная таблица (рис. 3), в которой результаты диагностики разбиты на три группы. Для каждой из групп произведен расчет, определяющий диапазон процента дефектности и действия, рекомендуемые в случае

попадания результата расчета в данный диапазон. Исходя из этого, были сделаны выводы, что исследуемый участок необходимо повторно диагностировать.

Разработанный метод и полученные результаты были проверены сотрудниками АО «Теплосеть СПБ». В настоящее время планируется его внедрение на предприятии.

тип трубопровода	Число дефектов за последние 10 лет	Балл					сумма	% дефекта	Рекомендуемые действия	max
		Последняя диагностика за 10 лет	Тип трубопровода	Год прокладки	Тип прокладки	Поверхностный слой				
обратный	0	1	0	1	1	1	4	16	плановая диагностика	25
подающий	0	1	1	1	1	1	5	20		25
обратный	1	2	0	1,5	2	1	7,5	29		26
подающий	1	2	1	1,5	2	1	8,5	33		26
обратный	1	3	0	2	2	1	9	35	повторная диагностика	26
подающий	1	3	1	2	2	1	10	38		26
обратный	2	4	0	3	3	1,5	13,5	50		27
подающий	2	4	1	3	3	1,5	14,5	54		27
обратный	3	5	0	4	4	2	18	64		28
подающий	3	5	1	4	4	2	19	68		28
обратный	4	6	0	5	4,5	2,5	22	76		29
подающий	4	6	1	5	4,5	2,5	23	79		29
обратный	5	10	0	6	5	3	29	97	замена участка	30
подающий	5	10	1	6	5	3	30	100		30

Рис. 3. Рекомендуемые действия по проценту вычисленной дефектности

Дальнейшая работа будет посвящена разработке автоматизированного приложения, благодаря которому будет обеспечена автоматическая оценка процента дефектности контролируемых участков. Это позволит службе диагностики прогнозировать состояние участков трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 21014-88. «Прокат черных металлов. Термины и определения дефектов поверхности». – М.: Изд-во стандартов, 1989. - 61 с.

2. Гутман Э.М. Механохимия металлов и защита от коррозии. - М. : Металлургия, 1981. - 271 с.

3. Сидоренко С.Н., Якупов Н.М. Коррозия - союзник аварий и катастроф: монография. - М. : РУДН, 2002. - 93 с.

4. Салюков В.В., Тухбатуллин Ф.Г., Колотовский А.Н. и др. Основные причины аварий магистральных газопроводов // Ремонт, восстановление, модернизация. -2002. - № 10. - С. 12-14.

5. О.М. Иванцов, В.И. Харитонов. Надежность магистральных трубопроводов. Москва Недра, 1978 .— 166 с.

6. М.И. Алексеев, Ю.А. Ермолин. Определение показателей надежности объекта при посезонно изменяющейся интенсивности отказов. Водоснабжение и санитарная техника (ВСТ) : ежемесячный научно-технический и производственный журнал. Союзводоканалпроект; НИИ ВОДГЕО; ЦНИИЭП инженерного обрудования; ГПКНИИ Сантехниипроект; МГП "Мосводоканал" .— М., 2007 .— №5 .— С. 5-8

7. М.Д. Трифонова, М.Х. Седлер Решение проблемы внутритрубной диагностики путем создания методики оценки состояния магистрального трубопровода и разработки конструкции автоматизированного комплекса. XL Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции, СПб., 2011 .— Ч. 4 С. 262-263

8. http://www.teplosetspb.ru

УДК 531.788

А.Ю. Скрябнев, А.В. Мосалова, Е.В. Кондратьева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МАКЕТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВАКУУММЕТРИЧЕСКОГО КОМБИНИРОВАННОГО

Современные вакуумные системы работают в широком диапазоне давлений от 10^5 до 10^{-12} Па и ниже. При измерениях давления, весь этот диапазон невозможно охватить вакуумметрическим преобразователем одного типа, поэтому применяются вакуумметры с преобразователями работающими на различных принципах (тепловой, магниторазрядный, ионизационный и пр.) [1, с.136]. Поэтому представляет интерес разработка комбинированных преобразователей, объединяющих датчики различных типов [2].

В настоящее время некоторые зарубежные производители выпускают так называемые "широкодиапазонные" вакуумметры, например Edwards WRG-S или Televac CC-10, с диапазоном измерений 10^5-10^{-7} Па. Конструктивно, для охвата широкого диапазона в них используется комбинация преобразователей различных типов. Однако, у приведенных вакуумметров есть следующий существенный недостаток. Несмотря на то, что они предназначены для измерения, в том числе и высокого вакуума, в их конструкциях применяются резиновые вакуумные уплотнения. Это приводит как к снижению эффективности высоковакуумной откачной системы за счет повышенного газовыделения резины по сравнению с металлическими уплотнениями, так и появлению в самой системе нежелательных газов адсорбированных резиной [3, с.11].

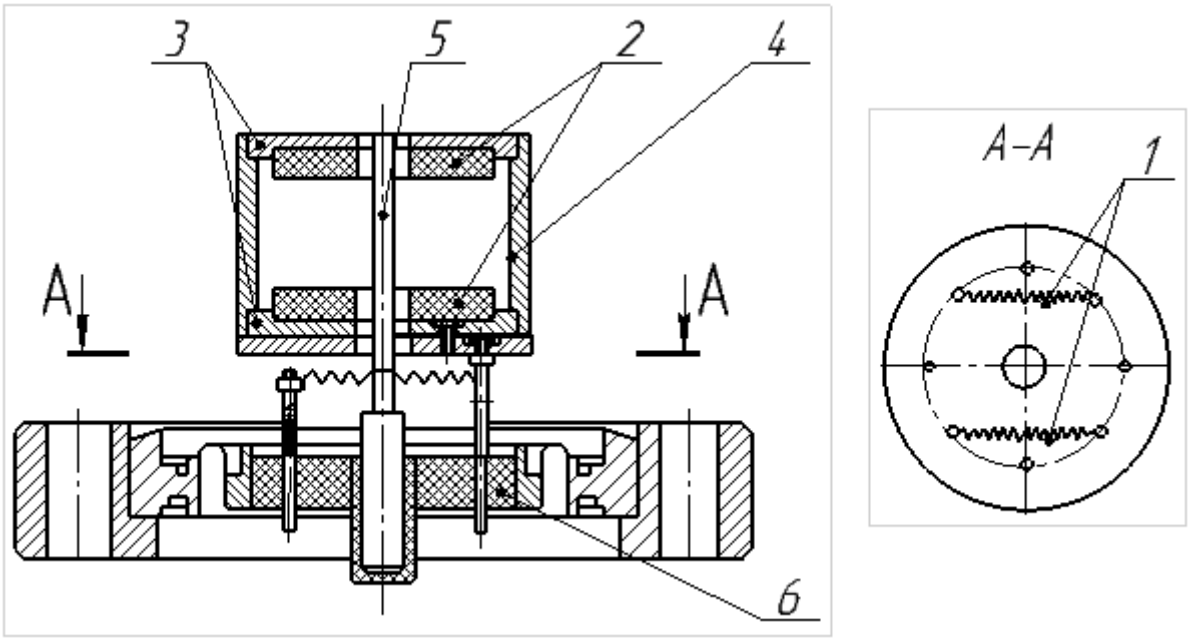


Рис. 1. Преобразователь вакуумметрический комбинированный ПВК-7

Для устранения указанных недостатков и в целях развития импортозамещения и снижения зависимости от иностранных комплектующих разработан макет комбинированного вакуумметрического преобразователя ПВК-7 (рис. 1). В данном приборе объединены преобразователи двух типов: тепловой и магниторазрядный.

Тепловой преобразователь используется для измерения давления в диапазоне 10^5-10^0 Па. Конструктивно он выполнен в виде двух одинаковых вольфрамовых нитей *1* толщиной 50 мкм. При измерениях задействована одна нить, а вторая введена в конструкцию

в качестве резервной. Тепловые вакуумметрические преобразователи могут работать в двух режимах - режим постоянной температуры нити и режим постоянного тока накала нити [4, с. 415]. Данные преобразователь работает в режиме постоянной температуры. Рабочая температура нити равна 50°С.

Магниторазрядный преобразователь используется для измерения давления в диапазоне 10^{0}-10^{-7} Па. Магнитная система образована двумя магнитами *2* сделанных из NdFeB, установленных на шайбах *3* и помещенных во втулку *4*. Высокое напряжение, равное 1200 В подается на анод *5*, а катодом является магнитная система.

Для электрического соединения преобразователя с измерительной и управляющей электронной аппаратурой используется керамический электрический ввод *6* с девятью разъемами приваренный к поворотному фланцу CF40. Такое конструктивное решение позволило отказаться от использования резиновых уплотнений.

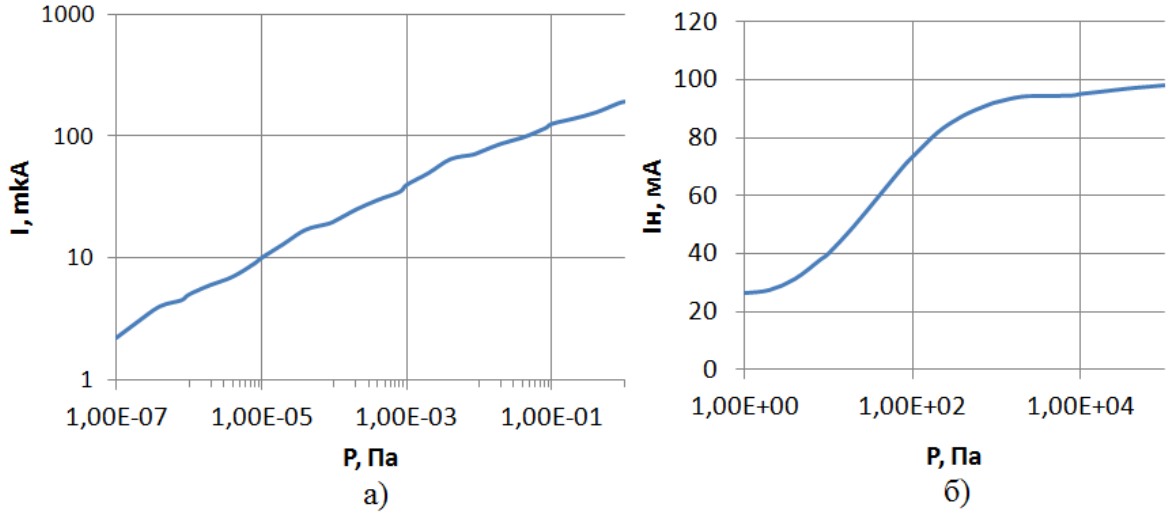


Рис. 2. Результаты испытаний преобразователя: а) магнитная часть, б) тепловая часть.

Испытания преобразователя проводились в учебно-научной лаборатории по вакуумной технике на установке ВУ-1 с турбомолекулярным насосом Alcatel, контроль давления осуществлялся по поверенному датчику Edwards WRG-S. Результаты испытаний макета преобразователя (рис. 2) показали, что данный преобразователь может использоваться для измерения давления в диапазоне 10^{5}-10^{-7} Па. Данные для магнитной части при давлениях ниже 10^{-4} Па получены линейной экстраполяцией.

В результате проделанной работы был разработан макет вакуумметрического преобразователя, работающий в диапазоне давлений, 10^{5}-10^{-7} Па, что соответствует параметрам аналогичных зарубежных преобразователей. При этом в конструкции преобразователя не используются резиновые уплотнения, что существенно снижает его газовыделение и газопроницаемость уплотнения при присоединении к вакуумной системе.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. - М.: Высшая школа, 1990. 320 с.
2. Розанов Л.Н. Скрябнев А.Ю. Комбинированные вакуумметрические преобразователи.// Вакуумная техника и технология, 2014. Т.24, №.1 С.67-70.
3. Плисковский В.Я. Конструкционные материалы и элементы вакуумных систем. М.: Машиностроение, 1976. 64 с.
4. Вакуумная техника: Справочник/ Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова и др.: Под общ. ред. Е.С. Фролова, В. Е. Минайчева - М.: Машиностроение, 1992. 480 с.

УДК 621.8

О.К. Боровова, М.Х. Седлер
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ АО «ДИАКОНТ»

Работа выполнена для предприятия АО «Диаконт», основанного в 1990 году. Основной деятельностью компании является разработка и производство высокотехнологичного оборудования для обеспечения безопасности и повышения эффективности в наукоемких отраслях промышленности. Штат сотрудников насчитывает более 1300 специалистов по всему миру.

Цель работы - решение проблемы неполной занятостимощностей производственного оборудования [2] путем организации серийного производства новой продукции на предприятииАО «Диаконт». В настоящее время производственные мощности предприятия недостаточно загружены. В связи с этим тема работы является актуальной.

Для выбора нового вида продукции изучена номенклатура серийного производства АО «Диаконт» - приводной техники и принято решение о целесообразности организации производства,востребованного на рынке аналогичного изделия - редуктора.

На первом этапе работы произведен маркетинговый анализ рынка [1] редукторов, принцип работы которых построен на применении современных видов передач, в результате которого сделаны следующие выводы:

- российский машиностроительный рынок развивается и нуждается в новых производителях;
- современные предложения от иностранных поставщиков широко представлены в данном сегменте, однако не пользуются спросом ввиду высокой цены;
- на рынке практически отсутствует конкуренция в связи с недостатком оснащенных современной техникой предприятий;
- существующие производители редукторов сконцентрированы в Восточной Сибири.
- ввиду современной экономической ситуации в мире, продукция российских производителей будет востребована зарубежными производителями.

Далее были рассмотрены несколько вариантов претензионных редукторов различных типов,сравнительный анализ рабочих характеристик которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

Сравниваемый параметр/Наименование редуктора	Эксцентриково-циклоидальный редуктор	Подшипниковый редуктор	Волновой редуктор
Тип зацепления	эксцентриково-циклоидальный	Эксцентриковое	Эксцентриковое
Форма контактирующих поверхностей	Выпукло-вогнутая (окружность – циклоидальная кривая)	Овальная	Овальная, волнистая, клиновидная
Передаточное отношение	20:1 до 500:1	33:1 до191:1	30:1 до 320:1
Передаваемый момент, Н·м	до 7000	до 3000	до 6000
Частота вращения входного вала, об/мин	30000	20000	27500

Угловой зазор	отсутствует	до 1 °	до 0,8°
Крутящий момент, Н·м	50 - 4000	37 – 2940	30 – 3000
КПД, %	99,4	90…95	до 85
Контактные напряжения в зацеплении	0,6	0,82	0,74
Масса, кг	5,00 – 76,0	0,80 – 54,0	3,00 –63,0
Срок эксплуатации	5 лет	Определяется ресурсом подшипников	3 года

Далее был произведен анализ рынка производителей этих редукторов, результаты которого представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравниваемый параметр/Наименование редуктора	Эксцентриково - циклоидальный редуктор	Подшипниковый редуктор	Волновой редуктор
Основной производитель	ЗАО «Технология Маркет»	SPINEA	SIMACO
№ патента	2338103	-	-
Рынки сбыта	США, Западная Европа, Россия	Европа, США, Россия, Латинская Америка	Россия, Азия, СНГ
Основные конкуренты	Единственный производитель	Harmonic Drive	Сервосила, Harmonic Drive, HanZhen
Ценовой ряд (руб.)	От 200000	100000-250000	70000-150000
Наличие сертификата ISO	ISO 9001:2011	ISO 9001:2011	ISO 9001:2011

В результате сравнительного анализа в качестве новой продукции АО «Диаконт» выбран эксцентриково - циклоидальный редуктор, используемый в приводах машин и механизмов самого широкого назначения.

После выбора изделия было изучено эксцентриково-циклоидальное зацепление, в основе которого лежит циклоидная передача, разработанная и запатентованная в 1931 году в Германии, где организован выпуск редукторов типа CYCLO. Основными комплектующими дискового зацепления являются эксцентриковый подшипник, фланцевый тихоходный вал, циклоидальные диски и корпус редуктора. Зубья циклоидальных дисков имеют циклоидальный профиль, обеспечивающие контакт зубьев только на половине оборота эксцентрика. Поэтому для обеспечения непрерывности контакта в эксцентриково-циклоидальных редукторах используются несколько повернутых относительно друг друга эксцентриков, расположенных на одной оси, и несколько имеющих угловое смещение циклоидальных дисков.

К преимуществам эксцентриково-циклоидального зацепления относится меньший износ профилей, больший коэффициент перекрытия, возможность получения на шестерне меньшего числа зубьев, чем в эвольвентной передаче. К недостаткам эксцентриково-циклоидального зацепления можно отнести сложности проектирования инструмента и изготовления [5].

После этого были изучены передаточные механизмы с использованием эксцентриково-циклоидального зацепления, обеспечивающие преобразование как вращательного движения во вращательное, так и вращательного в возвратно-поступательное[4].

В качестве ближайшего аналога для разработки выбран эксцентриково- циклоидальный редуктор, запатентованный и выпускаемый ЗАО «Технология Маркет». Для разработки конструкции изделия рассматриваются существующие разновидности эксцентриково-циклоидального зацепления: дисковое и гладкое (однозаходное и многозаходное): производится расчет геометрии профиля циклоидальных дисков, осуществляется 3D-моделирование, исследуются технологические возможности изготовления передачи [3], оцениваются незадействованные производственные мощности АО «Диаконт».

После организации выпуска и продаж новой продукции предприятие сможет использовать в полном объеме существующие мощности производственного оборудования, расширить перечень выпускаемой продукции и обеспечить дополнительную стабильную прибыль.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.А. Козловский, В.В. Кобзев, В.М. Макаров. Организация производства на предприятиях машиностроения. Стратегия организации производства. Учеб. Пособие. СПбГПУ; Под общ.ред. В.А. Козловского.— СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002 .— 101 с.

2. Д.В. Стрекозов, М.И. Седлер. Повышение эффективности производства путем дозагрузки оборудования на примере организации производства кабельных каналов на базе НПП "Буревестник", ОАО. XXXII Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научно-технической конференции. Ч.III: С 136 Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2004.

3. Д.С. Иванов, М.И. Седлер. Организация выпуска конкурентоспособной продукции на примере узлов трения ЭЦПН. XXXIV неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006.

4. [К.В. Фролов [и др.]] ; под ред. К.В. Фролова. Теория механизмов и механика машин. Москва. Изд-во Высшая школа, 2001 - 495 с.

5. В.В Становской, С.М. Казакявичюс, Т.А. Ремнева, В.М. Кузнецов. Патент РФ № 2338103. Дата публикации 10.11.2008.

УДК 658.5

Д.М. Давыдова, М.И. Седлер
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЗА СЧЕТ СТАНДАРТИЗАЦИИ ОПЕРАЦИЙ

Определение и устранение скрытых потерь, увеличивающих издержки производства без добавления потребительской ценности, является целью концепции “Бережливое производство”. В связи с этим организация производства и управления, основанная на принципах концепции “Бережливое производство”, представляет собой одну из ключевых задач многих предприятий, стремящихся повысить производительность и обеспечить высокую конкурентоспособность на рынке.

Для практического внедрения концепции “Бережливое производство” используются различные инструменты [1]. Некоторые из них представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Инструменты бережливого производства

Инструмент	Описание
Система TPM (Total Productive Maintenance)	Концепция управления производственным оборудование, направленная на рост эффективности технического обслуживания.
Система 5S	Система организации и рационализации рабочего места.
Кайдзен (kaizen)	Система непрерывного совершенствования.
Стандартизация операций	Метод описания каждого действия, порядка и правил осуществления деятельности, включая определение времени выполнения действий, последовательности операций и необходимого уровня запасов.
Poka-Yoka	Метод защиты от ошибок.
Канбан	Средство информирования, с помощью которого дается разрешение или указание на производство или передачу изделий в вытягивающей системе.
Быстрая переналадка (SMED) и др.	Комплекс организационно технологических решений, позволяющих сократить время на переоснащение и переналадку оборудования.

Стандартизация операций является инструментом повышения эффективности серийного производства, предназначенным для обеспечения оператором повторяющейся работы в одинаковой последовательности и одинаковых условиях.

Выделяют три базовых понятия процесса стандартизации операции:

1. Takt time (время такта) - время, требуемое для изготовления 1 изделия, согласно плана производства.

Время такта рассчитывается, как частное от деления станкоемкости операции на задаваемую заказчиком производительность выпуска продукции.

2. Cycle time (время цикла) - время, требуемое для выполнения операций на рабочем месте.

3. Последовательность действий - движения оператора на рабочем месте, обеспечивающие наиболее эффективное осуществление работы [2-3].

В компании ООО “PeterForm” – совместном предприятии компаний Magna International (Канада) и компании Shin Young (Корея), производящем широкий ассортимент автомобильных компонентов, узлов и модулей, ходовых частей – внедрена концепция бережливого производства с использованием таких инструментов, как 5S, Poka-Yoka, КАНБАН, Кайдзен и др.

Сварка деталей автомобильных компонентов на предприятии осуществляется методом точечной сварки с использованием роботов. Закладку компонентов в сварочные кондукторы, маркировку и контроль готовой продукции производит оператор, действия которого прописаны в инструкциях. На одном рабочем месте оператор может выполнять несколько операций.

На данный момент на предприятии запускается новый проект производства автомобильных компонентов для новой модели автомобиля Hyundai. При этом решается задача использовать только существующие производственные мощности, что приводит к уменьшению времени Takt time и Cycle time на существующих проектах.

Для решения поставленной задачи необходимо произвести стандартизацию операций, в процессе которой необходимо пересмотреть последовательность действий операторов и устранить скрытые потери, связанные с лишними движениями. Для этого нужно произвести

анализ движений оператора, изучить организацию хранения заготовок, складирования готовых изделий и произвести реорганизацию рабочих мест.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью повышения производительности работы оператора.

Цель работы – стандартизация операций линий автоматизированной сварки автомобильных компонентов для выхода на заданную производительность.

На первом этапе работы изучен ГОСТ Р 56407-2015 Бережливое производство и стандарт компании “Mafact”, по требованиям которого при стандартизации операций необходимо заполнение следующих документов:

1. Production Capacity Sheet - таблица станкоемкости оборудования линий.
2. Manual time observation sheet - таблица движения оператора на рабочем месте. Для заполнения данного документа осуществляются замеры 10 циклов каждой операции и вносятся в таблицу. Для расчета Cycle Time выбираются наименьшие повторяющиеся времена и складываются.
3. Standardized work combination table - карта норм времени выполнения операций.
4. Standardized work chart – схема перемещения оператора и распределения работ.
5. Periodic work observation sheet - таблица вспомогательных операций, выполняемых оператором на рабочем месте.
6. Layout – планировка расположения сварочных кондукторов, мест хранения заготовок и складирования готовых изделий.
7. Work balance chart – диаграммы загрузки операторов [4].

На втором этапе работы созданы бланки в формате MS Excel и разработан алгоритм стандартизации операций, представленный на рис. 1.

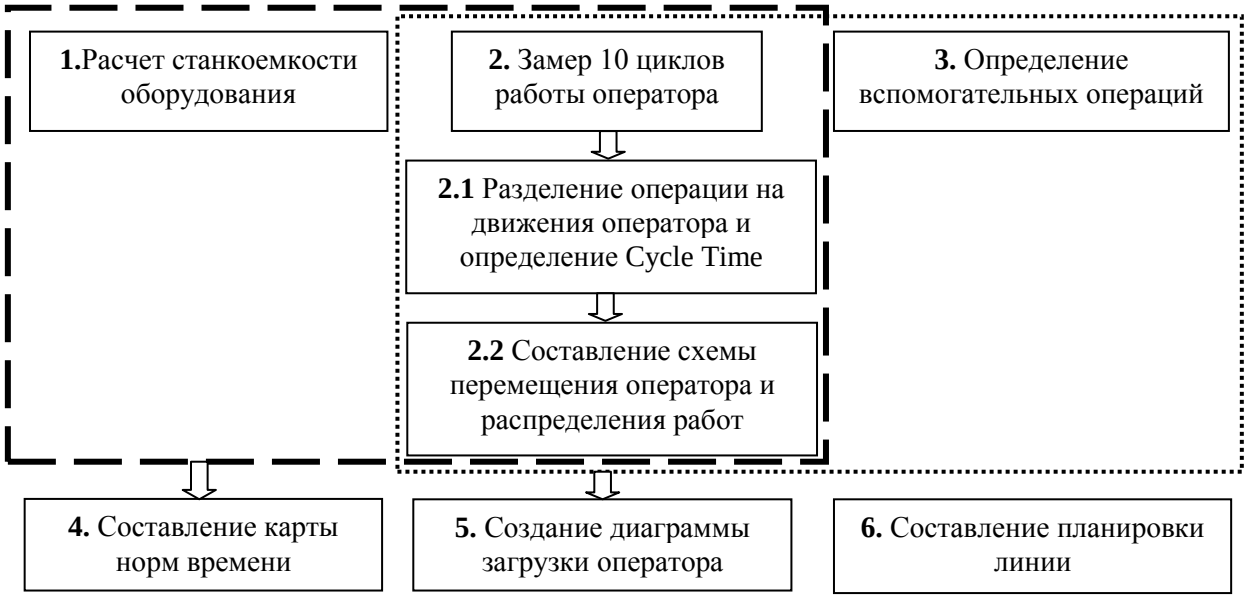


Рис. 1. Алгоритм стандартизации операций

В настоящее время произведена стандартизация операций на рабочих местах одной из технологических линий, в результате которой были выявлены и устранены потери на перемещение оператора, обеспечена заданная производительность; при этом Cycle time удалось снизить на 15%. Работы по стандартизации операций на рабочих местах остальных линий продолжаются.

Вывод: Благодаря проведению стандартизации операций удалось выйти на заданную производительность без привлечения инвестиций.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Вумек Джеймс П., Джонс Даниел Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. - М.,: Альпина Бизнес Букс, 2008. –744 с.
2. ГОСТ Р 56908-2016 Бережливое производство. Стандартизация работы
3. Стандартизированная работа. Пер. с англ. И. Попеско. - М. : ИКСИ, 2007. - 152 с.
4. Семёнычев Ф. Стандартизированная работа. Метод построения идеального бизнеса. - Animedia Company, 2014. – 340 с.

УДК: 621.125

А.М. Ошуев, Н.Н. Шабров
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА СБОРКИ ЛОПАТОЧНОГО АППАРАТА СУДОВОЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ НА ЕГО ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Введение: Проблема продления надежности и ресурса турбомашин весьма актуальна для современного машиностроения. Наиболее нагруженным и ответственным элементом турбоагрегатов является лопаточный аппарат, для которого основную опасность представляют вибрационные нагрузки. В процессе проектирования лопаточного аппарата одна из этих задач, которая должна быть решена - проверка частотных характеристик [1]. Каждая ступень турбомашины должна быть в безопасности от резонанса. Когда все лопатки ступени собраны идеально (обеспечено тангенциальное, радиальное и осевое прижатие), можно не говорить о возникновении резонанса, но при сборке или при изготовлении лопаток возможны ситуации, когда что-то соблюдено не до конца или есть какие-то незначительные отклонения [2]. Эти отклонения могут изменить частотные характеристики всей ступени турбомашины, что приведет к возникновению резонанса.

Цель работы: В данной работе поставлена задача определения частотных характеристик лопаточного аппарата ступени турбомашины в зависимости от возможных отклонениях при сборке лопаток на ротор.

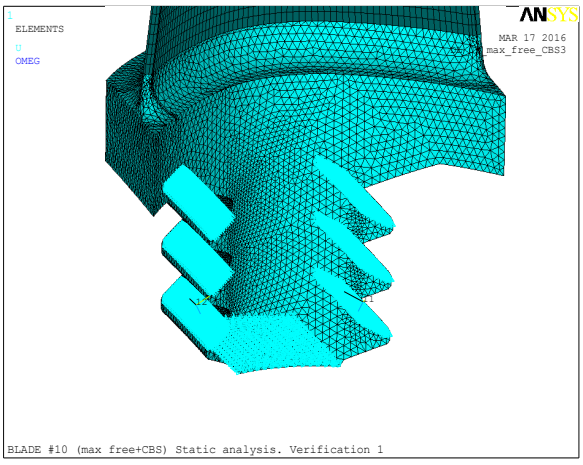


Рис. 1. Условия закрепления (контакта) для первого варианта расчета (контакт трех зубцов)

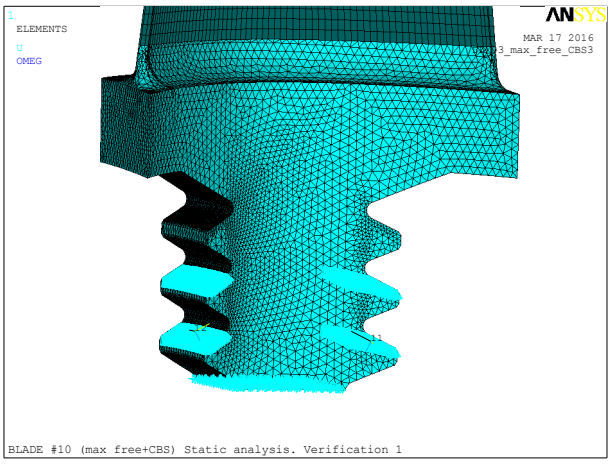


Рис. 2. Условия закрепления (контакта) для второго варианта расчета (контакт двух нижних зубцов)

Для анализа была выбрана закрученная лопатка с зубчатым хвостовиком. С учетом возможных отклонений при сборке ступени были рассмотрены следующие варианты неполного контакта зубцов лопатки с диском ротора.

- Контакт по поверхностям всех трех зубцов (рис. 1);
- Контакт по двум нижним зубцам (рис. 2);
- Контакт по двум верхним зубцам (рис. 3).

Варианты, когда сохраняется контакт только по одному зубцу, не рассматривались, поскольку при этом возникают напряжения превышающие предел текучести лопатки.

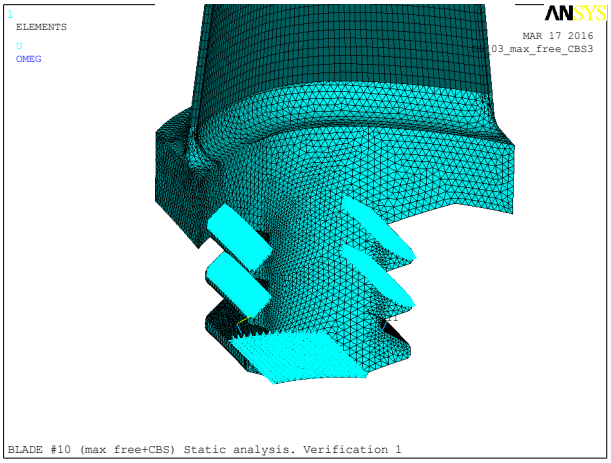


Рис. 3. Условия закрепления (контакта) для третьего варианта расчета (контакт двух верхних зубцов)

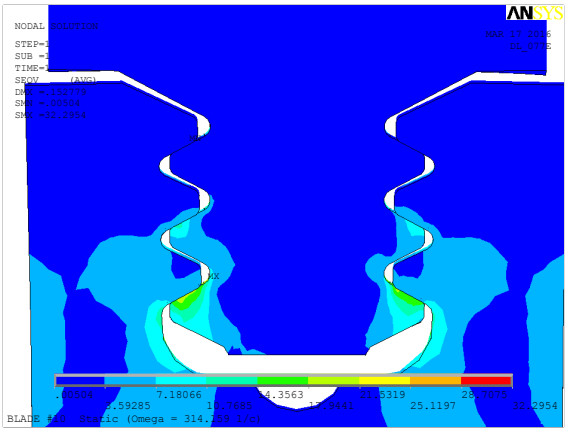


Рис. 4. Напряжения по Мизесу для контакта по всем трем рядам, кГс/мм^2.

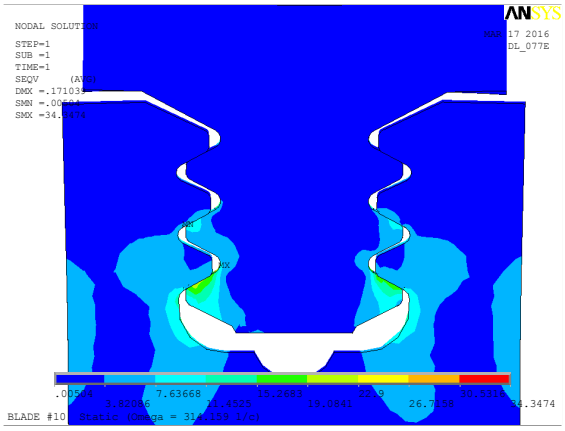


Рис. 5. Напряжения по Мизесу для контакта по рядам 2 и 3, кГс/мм^2.

Результаты. Результаты расчета случая идеального контакта в осевом и радиальном направлении приведены в таблице 1. Расчет был выполнен вплоть до 5-го тона с учетом и без учета вращения ротора [3].

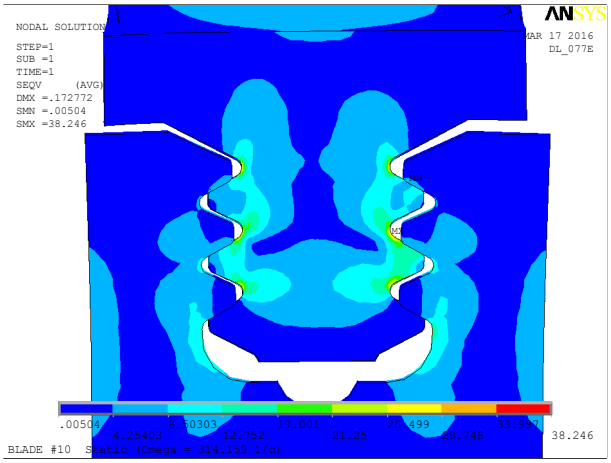


Рис. 6. Напряжения по Мизесу для контакта по рядам 1 и 2, кГс/мм^2

Таблица 1 - Частоты собственных колебания лопатки при полном контакте хвостовика и диска ротора

№ формы	Частота , Гц (без вращения)		Частота, Гц (с вращением 3000 об/мин)	
	б/п	с/п	б/п	с/п
1	629	687	639	688
2	750	807	761	821
3	2460	2526	2472	2534
4	2768	2830	2802	2847
5	4060	4118	4073	4124
б/п – без учета окружного прижатия; с/п – с учетом окружного прижатия.				

Расчет собственных частот для частичного контакта зубцов хвостовика был выполнен также как и для случая полного контакта. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Частоты собственных колебания лопатки при полном и частичном контакте по зубцам хвостовика

Номер формы	Частота, Гц					
	Контакт по трем рядам зубцов		Контакт по рядам 2 и 3		Контакт по рядам 1 и 2	
	ν = 0 Гц	ν = 50 Гц	ν = 0 Гц	ν = 50 Гц	ν = 0 Гц	ν = 50 Гц
1	629	639,4	509	518	560	568,8
2	750	761,2	680	687,5	727,7	734,9
3	2460	2472,5	2282	2290,2	2418	2425,4
4	2768	2802,4	2700	2702,9	2775	2778,8
5	4060	4073,2	3723,7	3728,3	3992,9	3997,5
Нумерация рядов зубцов: 1 – верхний ряд (на наибольшем радиусе), 2 – средний ряд, 3 – нижний ряд (на наименьшем радиусе).						

Из таблицы видно, что во всех рассмотренных случаях кратность 1-го тона более 10. Отсюда следует, что вне зависимости от плотности контакта по рядам зубцов вибрационная надежность по отношению к частоте вращения (ν=50 Гц) обеспечена [4]. Для 4-го тона

(наиболее близкого по критерию nz - количество направляющих лопаток) запасы по частоте приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Запас по частоте для 4-го тона колебаний

Номер формы	Запас, %					
	1 вариант (1, 2, 3 зубцы)		2 вариант (2, 3 зубцы)		3 вариант (1, 2 зубцы)	
	ν = 0 Гц	ν = 50 Гц	ν = 0 Гц	ν = 50 Гц	ν = 0 Гц	ν = 50 Гц
4	4,45	3,38	6,89	6,82	4,3	4,17
nz = 58						

Вывод. Таким образом, видно, что умеренное снижение плотности контакта в какой-то степени увеличивает запас по отношению к условиям возникновения резонанса. В данном случае по отношению к 4-му тону.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Иванов В.П. Колебания рабочих колес турбомашин. – М.: Машиностроение, 1983.–340с
2. Боришанский К.Н. Колебания рабочих лопаток паровых турбин и меры борьбы с ними - Санкт-Петербург: Art-Xpress, 2011. - 326с
3. РТМ 108.021.03 – 77
4. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин.М.: МЭИ, 2000. - 480с

УДК 681.518

А.Н. Колесенков, С.И. Бабаев, В.А. Слинкин
Рязанский государственный радиотехнический университет

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Введение. Конкурентоспособность предприятия определяется уровнем освоения современных информационных технологий поддержки процессов жизненного цикла изделий (в международной терминологии – CALS-технологии) [1]. Идеи CALS-технологии были обусловлены необходимостью сокращения времени выпуска на рынок новых изделий. Принципы CALS-технологии становятся основным инструментом компьютеризации производственной деятельности предприятий и средством их развития [1].

Актуальность. Интенсивное развитие информационных технологий, появление новых возможностей для развития производства и конкуренции приводит к проблеме повышения эффективности интеллектуального труда. Очевидным является факт, что информация становится мощным ресурсом, требующим грамотного и профессионального применения. Необходимо грамотно и оперативно классифицировать [2] и анализировать получаемые данные для дальнейшего синтезирования и моделирования возможных варианты действий и принятия решений.

Главными факторами принятия решения являются информационные условия и их неопределенность. Неопределенность может быть выражена различными составляющими, такими как время, материальные и человеческие ресурсы и другие. Неопределенность можно разделить на несколько составляющих: неизвестность, неполнота и неоднозначность. В связи с этим актуально разработать модель, максимально минимизирующую факторы неопределенности на предприятии по производству изделий электронной промышленности.

Цель работы – разработка модуля информационной системы принятия решений в условиях неопределенности на предприятии по производству изделий электронной

промышленности, предназначенного для подбора и заказа изделий в условиях неполной информации.

Для проведения экспериментов выбрано предприятие по производству герконов. Неопределенность на данном предприятии возникает со стороны заказчика, а именно незнание наименования герконов. Информационная система поддержки принятия решений (ИСППР) в условиях неопределенности на производстве по изготовлению герконов рассчитана на работу с ней неподготовленных пользователей, поэтому интерфейс приложения должен быть наглядный, удобный для пользователя [3].

К информационной системе выдвинут ряд требований:

- добавление и изменение данных;
- хранение и поиск нужной информации;
- формирование отчета по производству;
- выведение информации пользователю в случае неопределенности т.д.

В качестве источников данных могут выступать документы, связанные с производством изделий, а также различная информация о сотрудниках предприятия, потребителях и т.п.На основе полученных данных создается база данных, которой управляет система управления базами данных Firebird 2.5. Для того чтобы пользователь имел возможность обращаться к данным создается приложение в среде разработки Borland Delphi 7. В качестве лица, принимающего решения, выступает пользовательинформационной системы.Проблемунеопределенность, связанную с выбором изделия, решает специальныйалгоритм, в которойподбирается нужное изделие путем сравнения с другим изделием по соответствующим характеристикам.

Рассмотрим структуру базы данных (рис. 1), которая использовалась для проведения операциивыбора и заказа герконов со стороны клиентов.

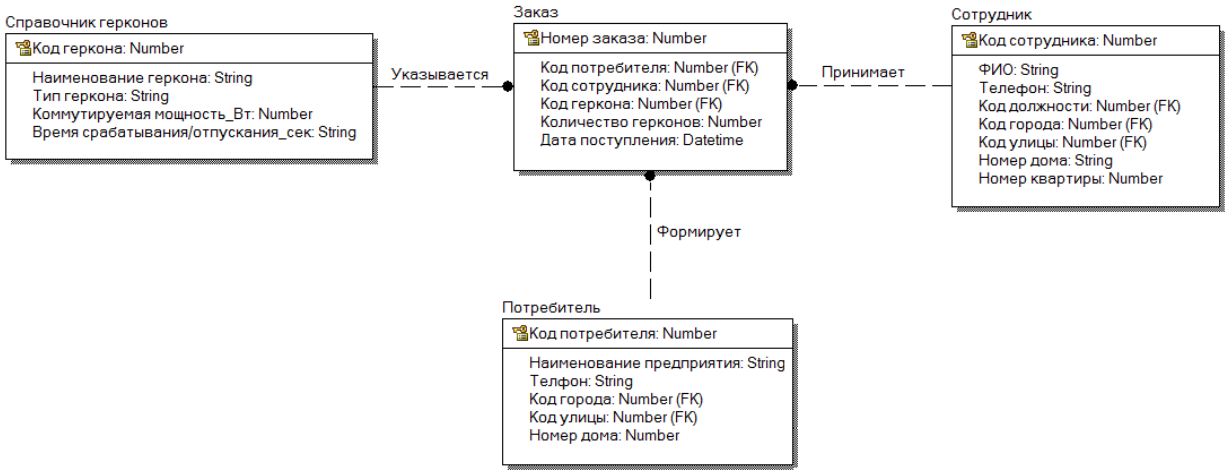


Рис. 1.

Для построения структуры использовалось CASE-средство Erwin Data Modeler.

Операция «Заказать герконы» включает в себя следующие действия:

- потребитель формирует заказ, в котором указываетнаименование герконов и их количество;
- если пользователь не знает наименования геркона, он обращается в справочник герконов;
- когда пользователь выбрал нужный геркон, он производит заказ, который принимает сотрудник предприятия.

Обычно методы принятия решений в условиях неопределенности применяют 2 типа правил, которые выступают в виде критериев оптимальности исходов.

Первый тип правилвключает в себя следующие методы:

- максимаксное решение;
- максиминное решение (критерий Вальда);
- минимаксное решение (критерий Сэвиджа);

Второй тип правил включает в себя следующие методы:

- матрица стратегий;
- дерево решений;
- методы прогнозирования.

В работе предлагается использовать метод второго типа правил, который акцентируется на вероятностях каждого из исходов, а именно «Матрица стратегий», помогающий в выборе изделия путем сравнения с другими изделиями по их характеристикам.

При проведении оценки риска принятия ошибочных решений выявлены влияющие на это факторы [4]:

- ошибки объединения данных в единое целое;
- неверно построеннаямоделью принятия решений;
- неправильный алгоритм использования модели принятия решений;
-невозможность определения достоверного или наиболее вероятного значения информации;
- альтернативность начальных условий ситуации принятия решений;
- альтернативность решений, наступление которых предвидеть нельзя.

Эффективность системы можно представить как некоторое свойство, которое заключается в выполнении конкретной цели в рамках заданных условий с соответствующим качеством.

Эффективность ИСППР зависит от следующих составляющих:

- опыт работы принимающего решения, его компетентность;
- уровень информированности пользователей;
- уровень коллективности в ходе разработки решений;
- значимый вес контролируемых решений;
- мотивация разработчиков решений (исполнителей);
- участие самих руководителей в ходе разработки решений, реализация решений;
- ответственность руководителей за результаты и т.д.

В работе проведена оценка эффективности ИСППР по скорости принятия решений со стороны пользователя (табл. 1) [5].

Таблица 1

Количество сравнений	Количество характеристик	Результирующее время, сек.
1	2	14.2
1	3	16.9
2	2	27.2
2	3	32.6
3	2	40.2
3	3	48.3

Заключение. В результате проведения экспериментальных исследований получено, что время, затраченное на выбор геркона, будет наименьшим при минимальном количестве сравнений и меньшем количестве сравниваемых характеристик изделий. В результате проделанной работы был произведен анализ имеющихся подходов к принятию решений в условиях неопределенности. Разработана структурная схема ИСППР, рассмотрены методы

принятия решений для использования в информационной системе, а также возможности применения данной ИСППР. На основе созданного приложения производились оценка риска ошибочных решений со стороны пользователя и оценка эффективности по скорости принятия решений.ИСППР в условиях неопределенности применима не только на производстве по изготовлению герконов, но и обладает возможностью адаптации к другим предприятиям.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделий машиностроения: проблемы и решения / Л. В. Губич [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 286 с. ISBN 978-985-08-1243-8.

2. Колесенков А.Н., Мелкова Д.А. Методы кластеризации данных в геоинформационных системах // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016: сб. тр.междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 т. Т.2. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2016. С. 121-123.

3. Балыбин В.М., Лунев В.С., Муромцев Д.Ю., Орлова Л.П. Принятие проектных решений. Учебное пособие Ч. 1 / Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн.ун-та, 2003. 80 с.

4. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения важности субъективно связных рисков качества программных проектов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2002. № 10. С. 59-64.

5. Колесенков А.Н. Информационная поддержка принятия решений при организации и построении систем дистанционного обучения // Дистанционное и виртуальное обучение. № 5 (107). Москва: Изд-во СГУ, 2016. С. 62-68.

СЕКЦИЯ «ТРИБОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, КОНСТРУИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ»

УДК 62-233.3/9

А.С. Комаров, В.В. Елисеев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ЗАЦЕПЛЕНИЙ ПО КРИТЕРИЮ НАЧАЛА ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Вопросы расчета зубчатых передач на прочность рассматривались многими авторами [1-3]. Однако возможности современного математического моделирования при этом пока используются недостаточно. Поэтому *актуальна* тема данной работы, в которой моделируется контактное взаимодействие зубчатых колес с использованием *современных методов механики деформируемого тела и компьютерной математики* [4-6]. Акцент ставится *на начале пластических деформаций* при нагружении передачи: выход за пределы упругости может привести к накоплению необратимых деформаций и разрушению. Предлагаемый подход к оценке прочности зубчатого зацепления представляется *новым*; аналогов в технической литературе не найдено. *Практическая ценность* обусловлена малыми затратами на расчет и доступностью алгоритма для пользователей.

Отправной точкой в данной работе является классическое решение Фламана о равновесии упругой полуплоскости $y \ge 0$ с сосредоточенной нормальной единичной силой на границе [7]. Определив бигармоническую функцию напряжений Эри, получаем следующие компоненты тензора напряжений

$$\mathbf{T}(x,y):\sigma_r = -2\sin\theta \big/ \pi r,\ \sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0 \qquad (1)$$

Используются не только декартовы координаты x, y, но и полярные r, θ. Напряжения исчезают на бесконечности, но неограниченно растут в точке нагружения.

Представленное решение соответствует распределенной на границе нормальной нагрузке $p(x) = \delta(x)$ – дельта-функция. Опираясь на закон суперпозиции, справедливый в классической линейной теории упругости [5, 7], при произвольной нормальной нагрузке на гладкой границе получим

$$\boldsymbol{\tau}(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{T}(x-\xi, y)\, p(\xi) d\xi \qquad (2)$$

Средствами Mathcad [6] можно успешно вычислять этот интеграл как функцию координат.

Решение Фламана используется в задаче о жестком штампе на границе гладкой полуплоскости. Считая нормальное перемещение $u_y = v_0 + v(x)$ $(-l < x < l)$ заданным формой штампа, приходят к интегральному уравнению для контактного давления $p(x)$. Длина участка контакта l является неизвестной; она возрастает вместе с прижимающей силой $Q = \int_{-l}^{l} p(x)dx$.

Известно следующее решение интегрального уравнения [4, 5, 7]:

$$p(x) = \frac{1}{\pi\sqrt{l^2 - x^2}}\left(Q - \frac{1}{\pi\beta}\int_{-l}^{l} v'(\xi)\frac{\sqrt{l^2-\xi^2}}{\xi - x}d\xi\right) \qquad (3)$$

Здесь $\beta \equiv (1-\nu)/\pi\mu\,;\mu,\nu$ – модуль сдвига и коэффициент Пуассона. В формуле (3) перемещение штампа v_0 не играет роли. Это странно, но таково свойство плоской контактной задачи: определяется только контактное давление, но не контактная жесткость. Подобных парадоксов нет в пространственной контактной задаче [7].

Далее примем параболическое очертание штампа: $v(x) = \alpha x^2$. Тогда интеграл (3) легко вычисляется. Заметим, что для окружности радиусом R $\alpha = 1/2R$.

Однако остается неизвестной величина l – полуширина участка контакта. Принимается дополнительное предположение: контактное давление ограничено при $x = \pm l$. Тогда получим окончательные важные формулы [4, 5, 7]:

$$Q = \alpha l^2/\beta, \;\; p(x) = (2Q/\pi l)\sqrt{1 - x^2/l^2} \qquad (4)$$

Давление равно нулю на концах зоны контакта. Заметим, что при использовании схемы плоской задачи толщина тела b (в перпендикулярном к плоскости направлении) считается равной единице Величина $Q = F/b$.

По предложению Герца решение задачи о штампе относится и к контакту двух упругих тел произвольной формы. Вблизи точки контакта контуры тел аппроксимируются параболами: $v_{1,2}(x) = \alpha_{1,2} x^2$. И при этом каждое из тел считается полуплоскостью. На сплющенном участке контакта точки тел сливаются, и для суммарного перемещения $u_1 + u_2$ (по оси y) получается граничное условие с суммой $v_1 + v_2$. Значит, можно использовать (3), считая

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2, \;\; \beta = \beta_1 + \beta_2 \qquad (5)$$

Далее определяем размер участка контакта l и давление $p(x)$ согласно (4). По найденному давлению можно определить напряжения как интегралы (2). Их можно вычислить средствами компьютерной математики (Mathcad).

Важнейшими в данной работе являются два вопроса о возникновении пластических деформаций: где они появляются и при какой нагрузке. Начало пластических деформаций определяется условием текучести. Для изотропных материалов рекомендуется следующее условие Мизеса:

$$M(\mathbf{S}) \equiv \sqrt{\frac{1}{2}\mathbf{S}\cdot\cdot\mathbf{S}} = k; \;\; \mathbf{S} \equiv \boldsymbol{\tau} - \frac{1}{3}\sigma\mathbf{E} \qquad (6)$$

Здесь M называется нормой Мизеса; $\mathbf{S}$ – девиатор тензора напряжений, σ – сумма диагональных компонентов $\boldsymbol{\tau}$, $\mathbf{E}$ – единичный тензор. Константа k – это предел текучести материала. Для плоской деформации $\sigma = (1+\nu)(\sigma_x + \sigma_y)$ [7].

Пример рассмотрим контакт жесткого штампа параболического очертания с упругой полуплоскостью. Параметры: $R = 2$ см, $E = 2\cdot 10^{11}$ Па, $\nu = 0.3$, $k = 2\cdot 10^5$ Па. $Q = 2.5\cdot 10^5$ Н/м. По формулам (4) находим полудлину участка контакта $l = 0.17$ мм, определяем давление и вычисляем интегралы (2) для напряжений. Далее находим норму Мизеса как функцию координат $M(x, y)$. Линии уровня этой функции похожи на характерные для задачи Фламана окружности, касающиеся места нагружения. А максимум нормы не на поверхности, а в глубине. Там начинается пластическая деформация – это важнейший качественный результат нашего расчета. Ясно, что максимум нормы будет на оси y. На рис. 1 показан график функции $M(0, y)$.

Видим, что максимум достигается не на поверхности, а в глубине – при $y = 0.12$ мм. И равен этот максимум $3.01\cdot 10^8$ Па, что в полтора раза больше предела текучести. Значит, появились пластические деформации, и они охватили уже некоторую область. Проводя

расчет с другими значениями силы Q, можно уловить момент начала пластической деформации. Это произойдет при силе $Q_* = 1.11$ Н/м.

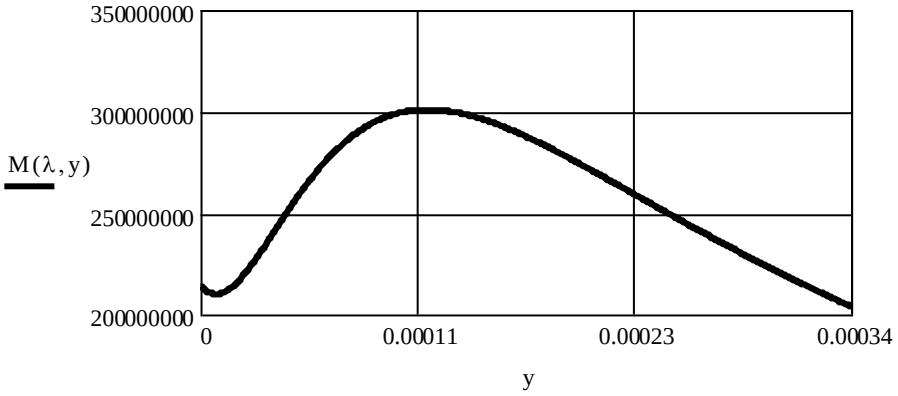


Рис. 1. Зависимость нормы Мизеса от глубины

Эти результаты из задачи о штампе пересчитываются на контакт двух тел. Согласно (5), задаем $\alpha = (R_1^{-1} + R_2^{-1})/2$, $\beta = 2(1-\nu)/\pi\mu$ (для одинаковых материалов). Для контакта зубьев эвольвентного зацепления оказывается, что максимум нагрузки получается в середине этапа контакта.

Итак, в работе: предложена новая методика оценки прочности зубчатых передач, основанная на выявлении очага пластической деформации; установлено, что этот очаг располагается внутри, а не на поверхности; определено, что наиболее напряженное состояние – в середине зацепления; создан алгоритм расчета полей напряжений в зубе, использующий аналитические решения плоской задачи и средства компьютерной математики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин. М.: Высш. шк. 2008. 408 с.
2. Колосова Е.М., Короткин В.И., Чебаков М.И. К вопросу о расчете контактных напряжений и нагрузочной способности эвольвентных зубчатых передач. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. серия: технические науки. 2008. № 3. С. 107-112.
3. Дорофеев В.Л Результаты приложения теории аналитических функций к высокоточному расчёту напряжённо-деформированного состояния зубьев зубчатых передач. // Известия МАМИ. 2015. т. 4. № 3 (25). С. 78-83.
4. Александров В.М., Ромалис Б.А. Контактные задачи в машиностроении. М.: Машиностроение, 1986. 88с.
5. Елисеев В.В. Механика деформируемого твердого тела. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 232 с.
6. Кирьянов Д.В. Mathcad 14. СПб: БХВ-Петербург, 2007. 704 с.
7 Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970. 940 с.

УДК 620.92

Е.А. Андрющенко, В.В. Елисеев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Актуальность. В ряде стран развернуто строительство ветроэлектрических установок (далее – ВЭУ), преобразующих энергию ветрового потока в кинетическую энергию

вращения ротора и далее в электрический ток [1, 2]. Однако обнаружился существенный недостаток ВЭУ – высокий уровень низкочастотных вибраций и шума вблизи ветростанций. В связи с этим становится актуальным математическое моделирование ВЭУ на стадии проектирования для предсказания уровня вибраций и его снижения. *Целью* данной работы является разработка методики такого моделирования.

Рассматривается низкочастотная вибрация ветроэлектрической установки с башней и ротором при наличии дисбаланса масс ветроколеса. Методика расчета опирается на общую теорию механических колебаний [3, 4] и теорию упругих стержней [5]. Стержнем представляется башня, ротор же считается твердым телом. Новизна и эффективность методики связаны с применением уравнений Лагранжа для упругих конструкций в сочетании с компьютерной математикой [6-8].

Объектом исследования является ВЭУ башенного типа с горизонтальной осью вращения ветроколеса. На рис. 1 показана упрощенная расчетная схема:

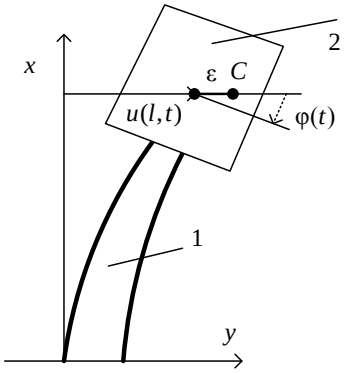


Рис. 1. Расчетная схема (*1* - башня, *2* - ротор)

В основе моделирования лежат уравнения Лагранжа:

$$(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_i})^{\cdot} - \frac{\partial K}{\partial q_i} = Q_i = -\frac{\partial \Pi}{\partial q_i} \qquad (1)$$

с обобщенными координатами q_i, силами Q_i, кинетической энергией $K(q_i, \dot{q}_i, t)$ и потенциальной энергией $\Pi(q_i, t)$ (точка означает дифференцирование по времени t). Для вычисления K определим координаты центра масс ротора и угол поворота (рис. 1):

$$x_c = l - \varepsilon \sin\varphi,\ y_c = u(l,t) + \varepsilon\cos\varphi,\ \varphi = u'(l,t) + \omega t \qquad (2)$$

Здесь l – высота башни, $u(x,t)$ – ее прогиб как балки (функция от координаты x и времени t), ε – эксцентриситет, ω – угловая скорость вращения ротора. Учтен угол поворота конца башни u' при прогибе. Штрих означает производную по x.

Вычисляя энергию ротора по теореме Кенига и добавляя энергию балки с погонной массой ρ, получим:

$$K = \frac{1}{2}[m(\dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2) + J\dot{\varphi}^2 + \int_0^l \rho \dot{u}^2 dx] \qquad (3)$$

$$\dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2 = \varepsilon^2\dot{\varphi}^2 + \dot{u}^2 - 2\varepsilon\dot{\varphi}\dot{u}\sin\varphi \qquad (4)$$

Здесь J – момент инерции ротора относительно оси, проходящей через центр масс.

Пока имеем систему с бесконечным числом степеней свободы. Но для низкочастотных вибраций можно ограничиться одной степенью свободы, вводя аппроксимацию прогиба:

$$u(x,t) = x^2 q(t) \Rightarrow \varphi = 2lq + \omega t \qquad (5)$$

Для кинетической энергии при выбранной аппроксимации получим:

$$2K = (m\varepsilon^2 + J)\dot{\varphi}^2 + (ml^4 + m_t)\dot{q}^2 - 2m\varepsilon l^2 \dot{\varphi}\dot{q}\sin\varphi,\ m_t \equiv \int_0^l \rho x^4 dx \qquad (6)$$

Потенциальная энергия системы складывается из энергии деформации башни Π_t и энергии поля тяжести:

$$\Pi = \Pi_t - mg\varepsilon\sin\varphi,\ \Pi_t = \frac{1}{2}\int_0^l au''^2 dx = \frac{1}{2}cq^2,\ c \equiv 4\int_0^l adx \qquad (7)$$

где $a(x)$ – жесткость башни на изгиб.

Подставив выражения (2) и (3) в уравнение Лагранжа (1), получим следующее обыкновенное дифференциальное уравнение (ОДУ):

$$\begin{aligned}&[4(m\varepsilon^2 + J)l^2 + ml^4 + m_t - 2m\varepsilon l^3\sin(2lq + \omega t)]\ddot{q} - \\ &-m\varepsilon[l^2(2l\dot{q} + \omega)^2 + 2gl]\cos(2lq + \omega t) + cq = 0\end{aligned} \qquad (8)$$

Уравнение (4) нелинейное, хотя колебания малые. При заданных начальных условиях оно решается средствами компьютерной математики. Можно использовать Mathcad с встроенной функцией Rkadapt. На рис. 2 представлен результат расчета для ВЭУ VTR 50 Arctic: прогиб конца башни $u(l,t)$ при следующих параметрах:

$l = 24{,}3\ м,\ m = 10^3\ кг,\ J = 30{,}42 \cdot 10^3\ кг \cdot м^2,\ \varepsilon = 1\ см,\ \omega = 1{,}25\ с^{-1}$.

Материал башни – сталь с плотностью $7800\ кг/м^3$ и модулем Юнга $200\ ГПа$. Башня состоит из двух частей: цилиндрической и конической. Цилиндрическая – высота $h = 1{,}8 м$, сечение – круговое кольцо с наружным радиусом $R(x) = 2{,}2 м$ и толщиной $0{,}012\ м$. Коническая – высота $h = 22{,}5\ м$, сечение – круговое кольцо с наружным радиусом $R(x) = \left(-\frac{1{,}296}{l}\cdot x + 1{,}896\right) м$ и толщиной $0{,}01\ м$.

Расчет носит иллюстративный характер, поскольку не учтены силы сопротивления.

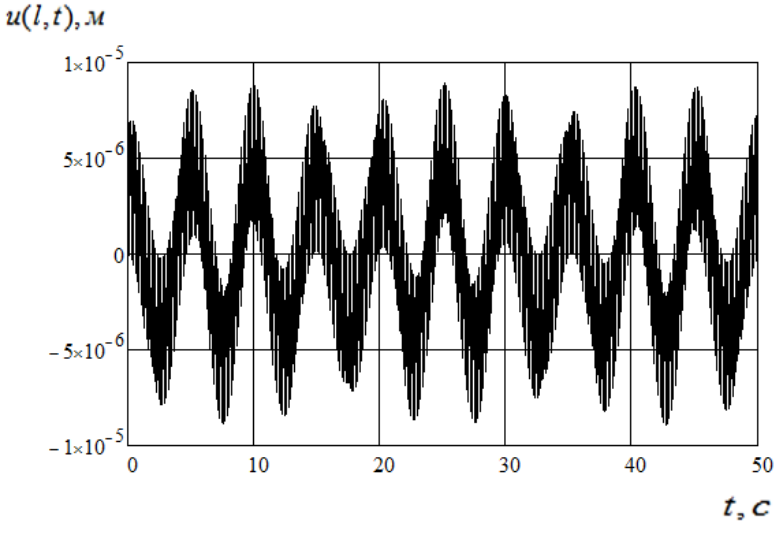


Рис. 2. Прогиб на вершине башни (м)

Выводы. В работе предложена расчетная схема ВЭУ, выведены уравнения ее колебаний от дисбаланса и представлен метод расчета. Результаты могут быть использованы при проектировании ВЭУ.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Елистратов В.В., Константинов И.А., Панфилов А.А. Динамические расчеты системы ветроэнергетическая установка-фундамент-основание. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 49с.
2. Robert Gasch, Jochen Twele eds. Wind Power Plants. Fundamentals, Design, Construction and Operation. Springer, 2012.
3. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. М.: Машиностроение, 1985. 472 с.
4. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1980. 408 с.
5. Елисеев В.В. Механика упругих тел. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 336 с.
6. Москалец А.А., Елисеев В.В. Расчет колебаний турбинных лопаток вариационным методом / Науч. форум «Неделя науки СПбПУ»: мат. науч.-практ. конф. ИММиТ СПбПУ. Ч.2. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. С. 78–81.
7. Елисеев В.В., Москалец А.А., Оборин Е.А. Применение уравнений Лагранжа для расчета колебаний лопаток // Справочник. Инженерный журнал. 8/ 2015. С. 21–24.
8. Кирьянов Д.В. Маткад 14. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 704 с.

УДК 532.614.2, 629.3.023.26-787.3

А.Ю. Анисимов, М.А. Скотникова, Г.В. Иванова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА СМАЧИВАНИЯ СТЕКЛЯННОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ОБРАБОТАННОЙ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИМ СОСТАВОМ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В работе представлены результаты исследования влияния механического воздействия на изменение угла смачивания стеклянной поверхности обработанной гидрофобизирующим составом. Применение таких составов позволяет защищать стекла автомобилей от грязи и воды. Не создает эффекта масляной пленки и не вызывает появление бликов при освещении стекла фарами встречных автомобилей в темное время суток.

Для повышения безопасности автомобильного движения применяют специальные химические средства, входящие в состав таких средств вещества, создают на поверхности стекла очень тонкую гидрофобную пленку, благодаря которой капли дождя не растекаются по ветровому стеклу, а скатываются, не затрудняя водителю видимость. [1]

Как известно, благодаря поверхностному натяжению капля воды стремятся уменьшить свою поверхность, собираясь в сферическую форму, как наименьшую по площади среди всех фигур одинакового объёма. При контакте воды с поверхностью силы сцепления приводят к смачиванию поверхности. Величина смачивания зависит от структуры поверхности и от натяжения жидкости капли, примером такого явления может служить рис. 1.

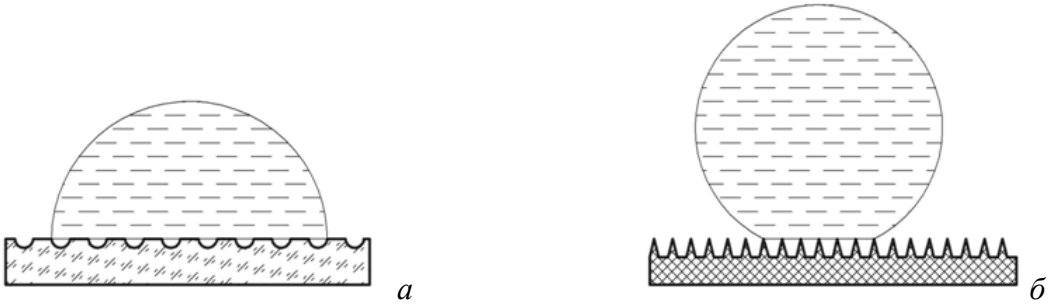


Рис. 1. Пример смачиваемости поверхности каплей воды на гладкой (*а*) и шероховатой (*б*) поверхности

Так же следует отметить, что поверхностное натяжение имеет двойной физический смысл — энергетический (термодинамический) и силовой (механический). Таким образом, поверхностное натяжение можно рассматривать, как удельную работу при увеличении поверхности капли (энергетический смысл) и как силу, действующую на длину по которой ограничена поверхность капли (механический смысл). [2]

Поверхностное натяжение состоит из полярной и дисперсной составляющих. Дисперсионная составляющая включает силы Ван-дер-Ваальса и другие неспецифические взаимодействия, полярная составляющая - сильные взаимодействия и водородные связи. [3]

Целью работы было установить зависимость между механическим воздействием стеклоочистителя автомобиля и изменением угла смачивания водой ветрового стекла, обработанного гидрофобизирующим средством.

Для имитации работы щеток стеклоочистителя автомобиля по обработанному гидрофобным составом стеклу, была разработана испытательная установка возвратно-поступательного движения, представленная на рис. 2.

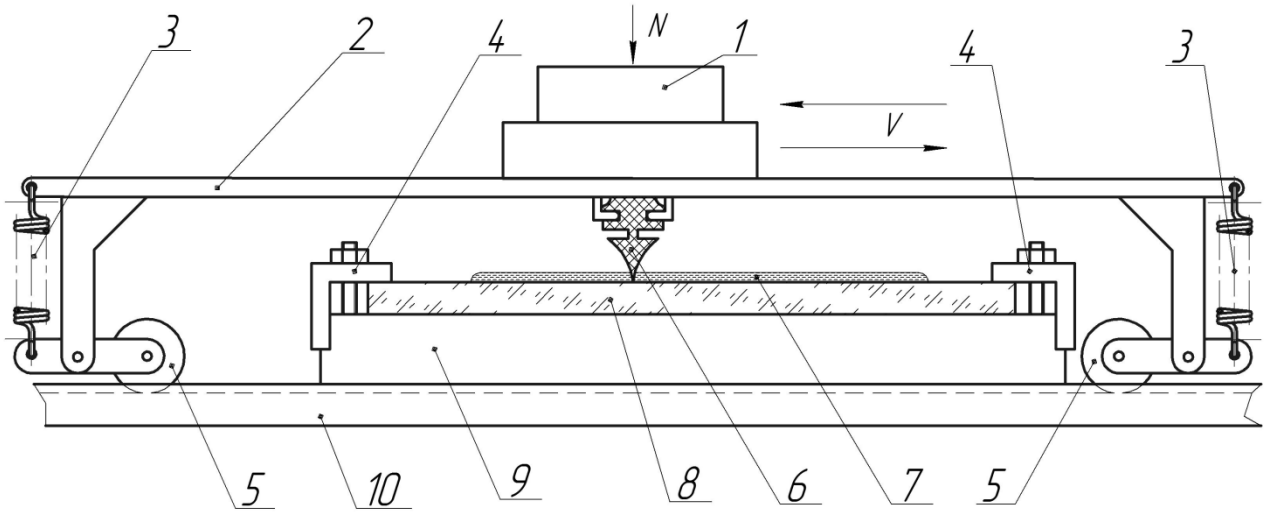
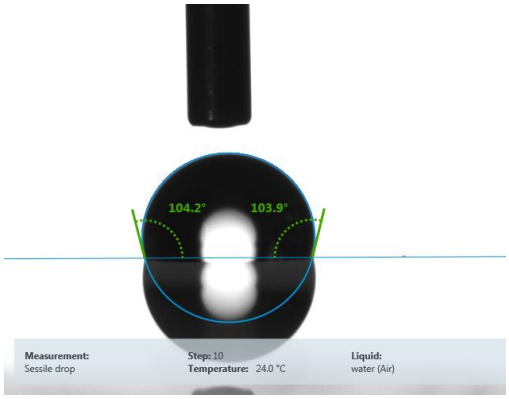


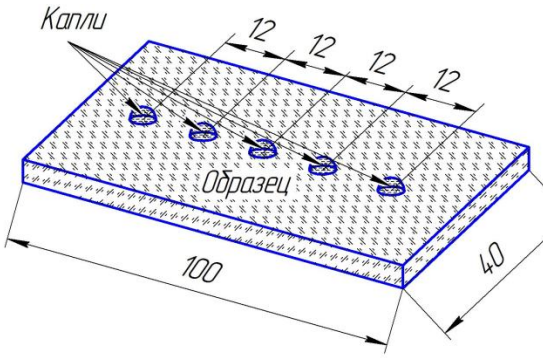
Рис. 2. Схема установки возвратно-поступательного движения:
1 – эквивалент нагрузки, *2* – рама, *3* – пружины сжатия, *4* – прижимы образца, *5* – направляющие ролики, *6* – резинка щетки стеклоочистителя, *7* – рабочая среда (жидкость для стеклоочистителя), *8* – стеклянный образец, обработанный гидрофобизирующим средством, *9* – предметный столик, *10* – направляющие рельсы.

Установка состоит из подвижной рамы *2*, установленной на подпружиненных роликах *5* в направляющие рельсы *10*. По неподвижно закреплённому, на предметном столе *9*, стеклянному образцу *8* с нанесенной рабочей средой *7* (летняя жидкость для стеклоочистителя на водной основе) вместе с рамой *2* перемещается резиновая щётка стеклоочистителя *6*. Усилие прижима резиновой щетки обеспечивается эквивалентом нагрузки *1* и соответствует среднему усилию прижима щёток стеклоочистителя легкового автомобиля (30 граммов на 1 сантиметр длины щётки стеклоочистителя). [4]

Механические испытания стеклянного образца проводились сериями по 300 двойных ходов с последующим измерением угла смачивания. Измерение угла смачивания производилось на приборе Kruss Drop Shape Analysis System DSA25 по 5 точкам на одно состояние (на равных промежутках вдоль образца), затем определялось среднее значение угла смачивания. На рис. 3 представлено окно программы фирмы Kruss для автоматического измерения угла смачивания и схема исследования стеклянного образца.



а



б

Рис. 3. Окно программы Kruss Drop Shape Analysis System -4 (DSA-4) (*а*)
и схема исследования образца (*б*)

На основании собранных данных измерения угла смачивания, была построена кривая зависимости изменения краевого угла смачивания после механического воздействия щётки стеклоочистителя на испытательной установке (рис. 4).



Рис. 4. Изменение среднего значения угла смачивания (вода)
от количества двойных проходов автомобильной щётки по обработанному стеклу
гидрофобинизирующим составом

Следует отметить, что изменения краевого угла смачивания имеют не монотонный характер убывания с увеличением количества двойных ходов щёток стеклоочистителя. Вероятно, это связано с тем, что щётка стеклоочистителя не только удаляет с поверхности стекла гидрофобизирующий состав, но и участвует в перераспределении веществ, отвечающих за гидрофобность, по поверхности стеклянного образца.

По результатам проведенных экспериментов можно спрогнозировать срок службы эффективной гидрофобности обработанного автостекла, оно составит от 2 до 4 недель интенсивной эксплуатации автомобиля в дождливую погоду.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Что нам дождик проливной //Журнал "За рулём" №3 (март), 1997. М.: ООО Издательство "За рулем". С. 80.
2. Б.Д. Сумм. Основы коллоидной химии: Учебное пособие. М.: "Академия", 2007 - 240 с.
3. Г.Г. Хайдаров, А.Г. Хайдаров, А.Ч. Машек. Физическая природа поверхностного натяжения жидкости // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4 (Физика, химия), 2011. Выпуск 1. С. 3-8.

4. Производственно-практическое издание. ВАЗ 2108-09-99 эксплуатация, обслуживание, ремонт, тюнинг // Иллюстрированное руководство. М.: ООО Книжное издательство «За рулём», 2007. – 272 с.: ил.

УДК 621.3.049.77

М.Р. Бахрами, В.Б. Абейгунавардана, Г.В. Иванова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

НОВЫЙ СКАНЕР ДЛЯ АНАЛИЗА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Введение. Атомно-силовой микроскоп (АСМ) был разработан в середине 1980-х годов [1], он используется, чтобы показать свойства поверхности материала. С помощью АСМ, можно создать изображение поверхности объекта с очень высокими увеличениями до 1.000.000X. Одной из наиболее важных особенностей АСМ является то, что сканирование производится в трех измерениях, 3D. АСМ может сканировать любой тип поверхностей, в том числе - полимеров, керамики, композитов, стекла и биологических образцов с атомным разрешением.

Типичный АСМ состоит из микро-кантилевера с острым наконечником, сканер, пьезо и фотодетектор для приема лазерного луча, отраженного от конечной точки луча, чтобы обеспечить обратную связь отклонения микро-кантилевера. На рис. 1 показона схема обычного АСМ.

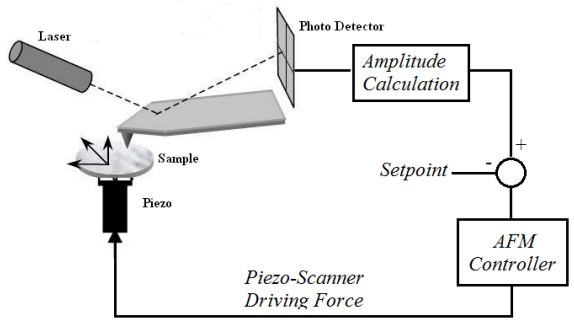


Рис. 1. Схематическая базовая система АСМ

Скорость сканирования существующих АСМ ограничена из-за динамического поведения отдельных компонентов микроскопа. Основные ограничения - (1) время срабатывания датчика силы, (2) динамическое поведение блока сканирования (3) полосы пропускания петли обратной связи, которая контролирует силу взаимодействия между зондом и образцом, и (4) скорость системы сбора данных.

Некоторые работы были предприняты, чтобы увеличить скорость обработки изображений [2-7]. Несмотря на все предыдущие достижения, производительность системы еще нуждается в повышении, особенно в вертикальном направлении.

Цель работы. Эта статья направлена на моделирование механического сканера с целью повышения скорости сканирования. Новая механическая конструкция сканера позволяет ускорить процесс сканирования, чем у существующих обычных АСМ. Резонансная частота нового сканера будет получена с помощью программы ABAQUS / CAE.

Новый механический сканер. Основной целью проектирования нового сканера при сочетании отдельных исполнительных приводов, является получение быстрой реакции с высокой резонансной частотой, предпочтительно выше 20 кГц.

Основная идея новой конструкции данного сканера полагалась на пьезоэлектрические приводы и гибкий механизм, который разъединяет движения по различным осям при

сохранении жесткой механической структуры (рис. 2). Чтобы получить высокие первые резонансные частоты во всех направлениях, позиционирующие особенно в вертикальном направлении, разработан новый сканер, компактный и жесткой, чтобы механические пути стали как можно короче. Для вертикального позиционирования используется пьезоэлектрический привод по оси *Z*, который установлен на центральной части. Эта центральная часть, которая перемещается пьезоэлектрическими приводами по осям *X* и *Y* (для бокового движения) и соединена с внутренней рамкой небольшими параллельными изгибами. Движения по *X* и *Y* разъединены небольшими параллельными изгибами. Внутренний каркас расположен между параллельными изгибами и сканирующим пьезоэлектрическим приводом, соответствующими *X* и *Y*, а также соединена с внешней рамой в качестве ее опоры. Одна из особенностей внутренней части рамки - гибкая по направлении срабатывания соответствующего пьезоэлектрического привода и жесткая в двух перпендикулярных направлениях. Эта функция дает возможное перемещение пьезоэлектрического привода в направлении срабатывания и предотвращает его от винтового типа движения соответствующего привода. Внутренний каркас также играет роль жесткой поддержки пьезоэлектрического привода по оси *Z* [8].

Для бокового движения, по *X* и *Y* направлениям, работает в соответствии с принципом тянуть толкать, то есть для каждого направления сканирования используется пара пьезоэлектрических приводов, которые противоположны по фазе друг с другом. Для того чтобы построить сбалансированную структуру, используются эти пары пьезоэлектрических приводов (рис. 2). Эта конфигурация имеет три основных преимущества: 1) приведение в действие механически сбалансированы; 2) большая сила достигается из-за того, что один пьезоэлектрический привод толкает в то время как другой пьезоэлектрический привод сжиматеся; и 3) положение пьезоэлектрических приводов термически сбалансировно.

По направлению *X* используется двухтактная структура, которая состоит из двух пьезоэлектрических приводов с размерами 5 × 5 × 13,5 мм и номинальным ненагруженным диапазоном позиционирования 11 μм (P-885.30, PI, Inc). Так же, конфигурация используется для приведения в действие по направлению *Y*. Эта симметричная конструкция позволяет полное вращение изображения, то есть, быстрые направления сканирования могут быть выбраны произвольно в плоскости *X*-*Y*. Для того чтобы выполнить приведение в действие в направлении Z, пьезоэлектрический привод установлен на центральной части (размер - 2 × 3 × 9 мм и номинальный ненагруженный диапазон позиционирования - 6,5 μм (P-882.10, PI, Inc)). Схема сканера показана на рис. 2.

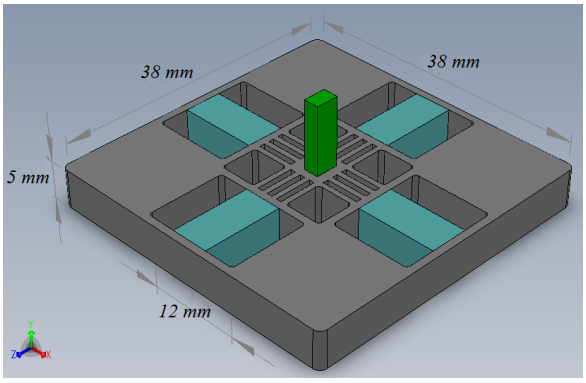
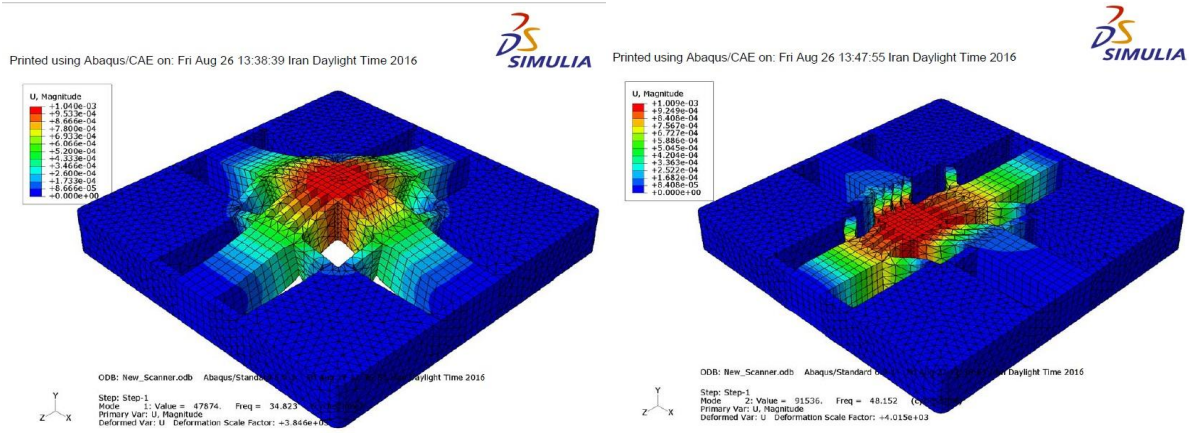


Рис. 2. Схема нового сканера.

Анализ методом конечных элементов. МКЭ (Abaqus / CAE) был использован для того, чтобы проанализировать фактическую конструкцию сканера и прогнозирования резонансной частоты. Резонансная частота в направлении Z - 35 кГц (рис. 3, *а*). Следует отметить, что эта полученная резонансная частота больше, чем резонансная частота существующих сканеров.

Материал центральной части и изгибы - это алюминий и сталь. Центральная часть служит в качестве жесткой опоры из пьезоэлектрического привода, а изгибы используются для основного корпуса. Резонансная частота в X и Y-направлениях - 48 кГц (рис. 3, *b*).



(a) (b)

Рис. 3. МКЭ высокоскоростного сканера показывает что первый резонансный режим сканера в *a* - вертикальном направлении - 35 кГц, *b* - горизонтальном направлении - 48 кГц

Заключение. В данной работе, механический сканер смоделирован, чтобы улучшить скорость сканирования. Новая механическая конструкция сканера позволяет ускорить процесс сканирования, по сравнению с существующими АСМ. Резонансная частота нового сканера получаена с помощью программы ABAQUS / CAE – в вертикальном направлении на 35 кГц. Эта резонансная частота 3,5 раза больше, чем резонансная частота обычных АСМ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Binnig, G., et al., Atomic Force Microscope, Phys. Rev. Letters, 1986; 56 (9): 930.
2. Bahrami, M.R., et al., “Modeling and Simulation of Non-Contact Atomic Force Microscope”, Proceedings of the ASME 2010 10th conference on Engineering System Design and Analysis, ESDA 2010, Volume 5, pp. 565-569, doi: 10.1115/ESDA2010-24394.
3. Fukuma, T., et al., Development of low noise cantilever deflection sensor for multienvironment frequency-modulation atomic force microscopy, Rev. Sci. Instrum. , 2005; 76.
4. Fantner, G.E., et al, Components for High Speed Atomic Force Microscopy, J. Ultramicroscopy, 2006;
5. G. Schitter, Advanced Mechanical Design and Control Methods for Atomic Force Microscopye in Real Time, in Proc. American Control Con., 2007.
6. F. M. Salem, Ultra-High Speed Atomic Force Microscopy: Video-rate and Beyond, NSF, 2008.
7. Schitter, G. and A. Stemmer, Model-base Signal Conditioning for High-speed Atomic Force and Friction Force Microscopy, J. Microelectronic Engineering, 2003; 67-68: 938-944.
8. Schitter, G., et al, Design and Modeling of High Speed AFM Scanner, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2007; 15.

УДК 62-762.4, 62-762.8, 678

Ф.Л. Титов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ РЕЗИНОВОГО ПОКРЫТИЯ ШКИВОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В современном грузоподъемном оборудовании широко применяются полимерные тросы с грузоподъемностью до 60 тонн [1]. Для создания требуемой тяговой способности поверхность стального шкива при контакте с полимерным тросом имеет резиновое покрытие. Целью данной работы являлась оптимизация формы резинового покрытия стального шкива (резиновой подушки), вытягивающего полимерный трос. При этом резина должна отработать (вытянуть) 60000 км троса при максимальной растягивающей трос силе 52 тонны. В данном случае с резиной контактировал трос из высокомодульного полиэтилена (HMPE), состоящий из 12×12 прядей. Для резинового покрытия использовались резины марок Л2-26 и 73975 [2, 3, 4].

На первом этапе было необходимо определить упругие постоянные, описывающие радиальное сжатие троса. Трос состоит из сплетенных между собой более тонких нитей. Переплетение достаточно плотное, кроме того трос находится под натяжением. Эти факторы создают достаточно большую радиальную жесткость [5]. Для решения задачи методом конечных элементов использовалась программа «STAR» [6]. Рассматривалась четверть цилиндра. Длина цилиндра в модели соответствовала длине участка троса, сжимаемого в эксперименте – 40 мм. Резина и трос рассматриваются как нелинейно-упругие материалы, описываемые полиномиальным потенциалом. Постоянные упругости подбирались так, чтобы экспериментальная и расчетная кривые нагружения совпадали. Деформированная модель поджатия на $\Delta = 2{,}5$ мм показана на рис. 1.

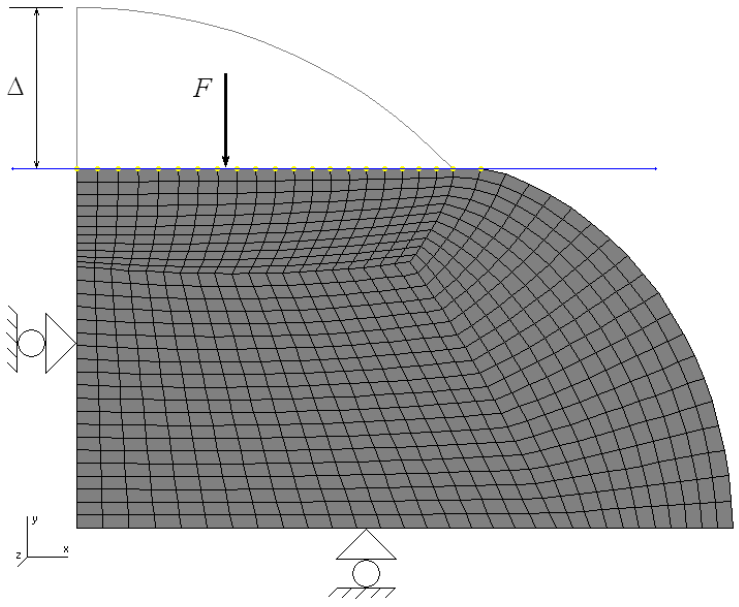


Рис. 1. Деформированная модель троса при поджатии на $\Delta = 2{,}5$ мм

Рассматривалась подушка резины прямоугольной формы со скошенными краями толщиной $h = 12$ мм. В силу симметрии сечения рассчитывалась только половина поперечного сечения (рис. 2). В качестве нагрузки на верхней поверхности троса задаются вертикальные усилия. Величина усилий подбирается таким образом, чтобы вертикальное

усилие троса на резину совпадала с погонной нагрузкой. Для троса используются упругие постоянные, полученные ранее. Упругие постоянные для резин были получены на основе экспериментов [7] по растяжению сжатию стандартных образцов и приведены в табл. 1.

Таблица 1.Величины упругих постоянных троса и резин

Материал	C_{ij}, МПа	E, МПа
Трос	C_{10} = 0,8; C_{01} = 2,41; C_{02} = 4,36; C_{03} = 0,84	19,3
73975	C_{10} = 0,564; C_{20} = 0,0099; C_{04} = 0,0033	3,38
Л2-26	C_{10} = 0,538; C_{20} = 0,0238	3,23

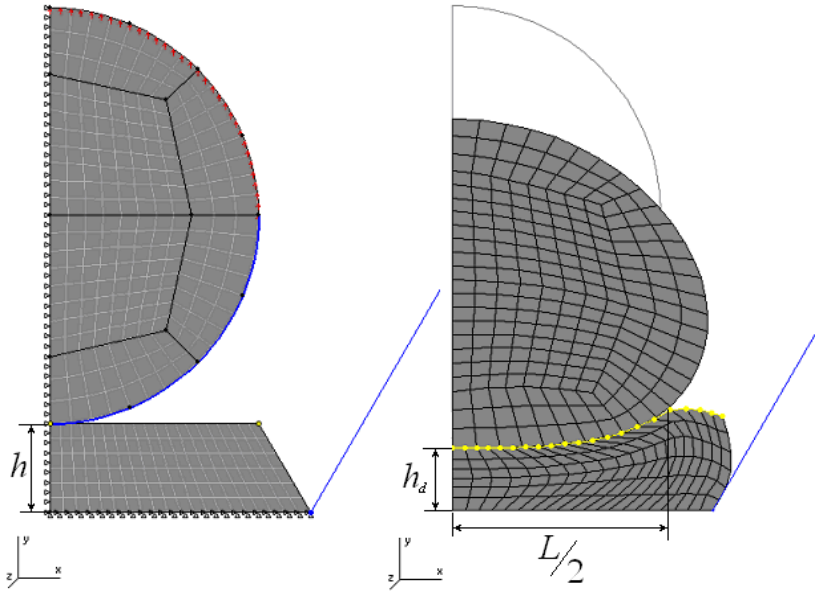


Рис. 2. Модель и деформированная модель сжатия тросом резиновой подушки

В результате расчета получена деформированная форма троса и резиновой подушки. Определена ширина площадки контакта L и минимальная толщина h_d резины для каждой величины натяжения троса. В табл. 2 приведены величины натяжения троса, соответствующая им погонная нагрузка троса на резину q_n и соответствующая этому величина нагружения F. В результате расчетов получено поле распределения главного девиатора напряжений в сечении резиновой подушки. Контактные напряжения показаны на рис. 3, где слева приведены контактные напряжения при максимальном растяжении троса F = 52 т, а справа – при растяжении троса силой F = 33 т.

Таблица 2.Зависимость ширины площадки контакта, минимальной толщины резины и погонной нагрузки от натяжения троса

F, Н	q_n, Н	h_d, мм	L, мм
520000	547	8,35	54,1
410000	432	8,42	53.4
330000	347	8,51	48,6
265000	279	8,62	48,0
190000	200	8,83	43,3
160000	168	8,95	42,9

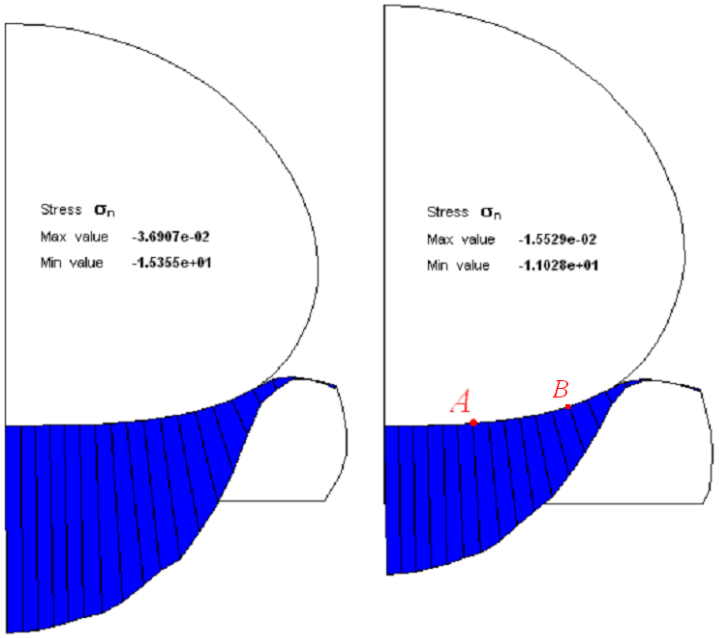


Рис. 3. Контактные напряжения между резиной и кабелем

Из анализа полученных результатов следует, что в случае простого плоского резинового слоя касательные напряжения не смогут удержать трос от скольжения по резине. Это связано с тем, что контактные напряжения в данном случае падают от максимума в середине площадки контакта до нуля (рис. 3). При любом коэффициенте трения возникает участок скольжения в окружном направлении по краям площадки контакта поперечного сечения. Поэтому для резиновых покрытий шкивов следует использовать резиновый слой с вогнутой поверхностью, которая позволит выровнять контактные напряжения по поверхности контакта и понизить максимальные контактные напряжения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ашейчик А.А. Исследование износостойкости и нагрузочной способности резин для шкивов грузоподъемного оборудования / А.А. Ашейчик, В.Л. Полонский // Вестник СибГАУ. – 2016. – Т.17. – №1. С.186-193.
2. Ашейчик А.А. Прогнозирование изменения физико-механических свойств эластомеров при термическом старении / А.А. Ашейчик, В.Л. Полонский // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2013. – № 3. – С. 265-272.
3. Ашейчик А.А. Влияние распределения контактных напряжений на утечки через торцевое уплотнение/ А.А. Ашейчик, В.Л. Полонский // Вестник СибГАУ. – 2015. – Т.16. – №3. – С.705-713.
4. Ашейчик А.А. Основы трибоники. /А.А. Ашейчик. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 1995. – 116 с.
5. Чулкин С.Г. Использование композитных материалов в узлах трения нефтяного оборудования – шаровой запорной арматуры и в кабелях-толкателях / С.Г. Чулкин, А.А. Ашейчик, С.Н. Селин // Вопросы материаловедения. – 2012. – №4 (72). – С.240-244.
Современное машино-строение. Наука и образование. – 2012. – № 2. – С. 805-816.
6. 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.
7. Чулкин С.Г. Применение подшипников из углепластиков в судостроении, турбиностроении, горнодобывающей технике/ С.Г. Чулкин, А.А. Ашейчик, С.Н. Селин //

УДК 621.002.3

А.А. Валиулина, М.И. Кузьмин, А.В. Стукач
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В процессе эксплуатации машин периодически возникает нарушение их нормального функционирования. Причинами являются изнашивание и деградация поверхностей трения вследствие физических и химических процессов, происходящих в узлах машин, а также нарушения правил технической эксплуатации машинных агрегатов.

В настоящее время износ деталей машин в парах трения скольжения является одной из наиболее важных проблем современного машиностроения. Часть работы, развиваемая силами трения, превращается в теплоту, а часть затрачивается на истирание твердых трущихся поверхностей. При этом происходят колебания, появляется нежелательный звук (свист, скрип тормозов) и электрические заряды. Поэтому к подшипниковым узлам предъявляют повышенные требования, обусловленные в первую очередь ростом скоростей вращающихся деталей, увеличением статических и ударных нагрузок, действующих на опоры, и необходимостью значительного увеличения надежности опорных узлов.

В основном причиной отказа подшипников скольжения служит износ вкладышей. Полностью износ устранить невозможно, так как работа любой машины неизбежно сопровождается трением при относительном движении ее частей. Величина износа контактирующих поверхностей прямо пропорциональна работе сил трения. Затраты на ремонт и техническое обслуживание конструктивно сложных механизмов в несколько раз могут превышать их стоимость. В связи с этим возникает необходимость в использовании антифрикционных материалов, в том числе композиционных, в которых искусственно объединены высокопластичные металлические матрицы и тугоплавкие высокопрочные, высокомодульные наполнители. Такие материалы имеют высокую износостойкость, стойкость против абразивного изнашивания, а также возможность пластической и механической обработки, малый вес и низкую стоимость, что обеспечивает экономическую целесообразность и широкое применение в машиностроении, особенно в подвижных сопряжениях механизмов и машин (подшипниках).

Одним из способов получения вышеуказанных свойств является преобразование конструкционных материалов наноразмерными частицами фуллеренсодержащих пород.

Проверить работоспособность таких материалов можно сна специальных исследовательских стендах. Известны конструкции машин трения [1, 2]. Однако перечисленное оборудование не позволяет проводить испытания в агрессивных средах, как например, в морской воде. В тоже время, модернизация конструкции трибометра торцевого типа, представленная в работах [3, 4] позволяет проводить исследования при циркуляционной смазке.

Целью данной работы является создание установки для проведения триботехнических испытаний различных антифрикционных материалов как при сухом трении, так и при смазке различными жидкостями.

Для достижения поставленной цели в среде Компас 3D была спроектирована требуемая конструкция.

Экспериментальная установка включает в себя трибометр торцевого типа, компьютер, мультиметра совместимого с ПК и стабилизированного источника постоянного тока.

Трибометр представляет собой конструкцию, показанную на рисунке 1. он состоит из основания *1*, в верхней части которого размещена плита *2*, служащая монтажным

основанием вертикальных направляющих *3*. На подвижной траверсе *4* расположен электродвигатель постоянного тока *5* снабженного тахогенератором *6*. На валу электродвигателя с помощью переходной втулки закрепляется контртело *7*. Соосно электродвигателю на плите закрепляется испытуемый образец *8* снаружи закрытый стаканом для предотвращения разбрызгивания смазывающей жидкости. Подвижная траверса соединена с противовесом *9* с помощью троса *10* перекинутого через систему блоков стойки *11*.

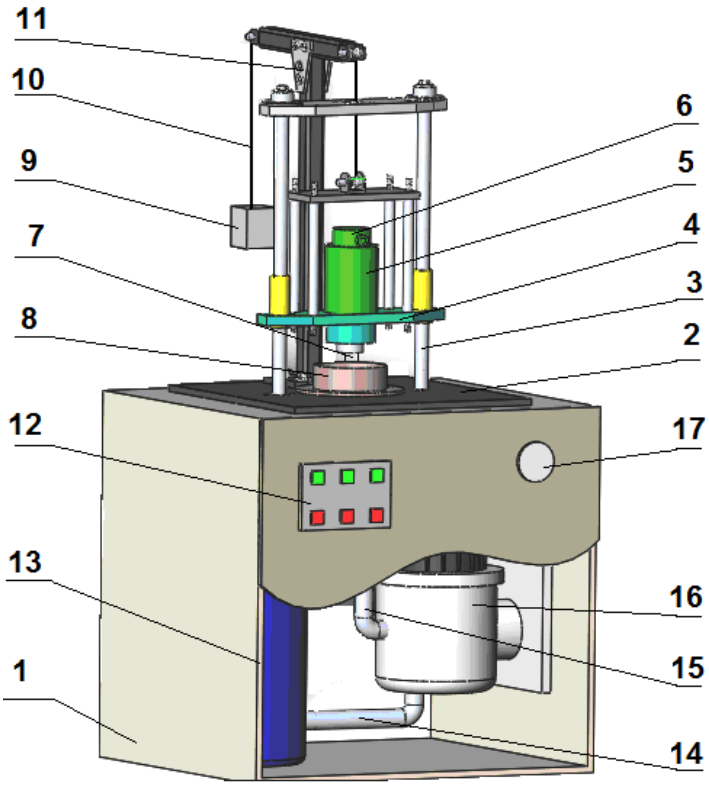


Рис. 1. Общий вид установки для триботехнических испытаний

В основании установки смонтирован пульт управления *12*, гидравлический бак *13*, подводящий трубопровод *14*, нагнетающий трубопровод *15*, насос *16* и манометр *17*.

Установка работает следующим образом.

Перед началом испытания устанавливается требуемое контртело и фиксируется в переходной втулке. Затем, на плите под электродвигателем закрепляется образец из антифрикционного материала. Далее траверса по направляющим опускается на образец. Необходимая нагрузка на пару трения регулируется противовесом соединенного тросом с подвижной траверсой. После выполненных операций включается насос, подающий смазочную жидкость и включается электродвигатель постоянного тока привода контртела. Величина силы тока, затрачиваемого на преодоление сил трения регистрируется с помощью цифрового мультиметра и фиксируется на персональном компьютере в виде Excel – файла. Далее полученные данные обрабатываются в среде Mathcad. Постоянную скорость скольжения контртела по образцу поддерживает источник стабилизированного напряжения. Изменение скорости скольжения обеспечивается подачей требуемого напряжения на электродвигатель.

Спроектированный стенд позволяет проводить испытания при скоростях скольжении от 0,05 до 15 м/с. В качестве смазочных жидкостей используются как минеральные, синтетические масла, так и агрессивные жидкости.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Новиков Г.А. Устройство для трибометрических исследований. /А.А. Абрамзон, Е.И. Степанов, А.А. Сиротенко, А.Б. Федоров, С.К. Козлов. Описание изобретения к патенту №2109268, 1998г.
2. Шалыгин М.Г. Машина трения. / М.Г. Шалыгин, А.Л. Сафонов. Описание полезной модели к патенту №156860, 2015г.
3. Стукач А.В. Стенд торцового трения для изучения антифрикционных характеристик материалов. Трибология и надежность. Труды VI Международной конференции ПГУПС, Санкт-Петербург, 2006, -с. 137-140.
4. Стукач А.В. Исследование антифрикционных свойств тонкослойных покрытий модифицированных дисперсными материалами и С. 60. / А.В. Стукач, Т.В. Столярова, Е.А. Шаманина Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня: Материалы 13-й международной научно-практической конференции 12-15 апреля 2011 г. Ч. 2. - СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2011. - С. 304 - 306.

УДК 629.123

В.А. Суворов, В.В. Елисеев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ДЕФОРМАЦИЯ И ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА КОРАБЛЯ НА ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЕ

Вопросам динамики и прочности корпуса корабля на волнах посвящено много книг и статей [1-7]. Однако развитие механики деформируемого тела [8] и вычислительных средств [9] открывают новые возможности, позволяя решать недоступные ранее задачи.

Цель работы – создание инженерной методики расчета прочности корабля на продольной волне, основанной на современной теории балки и компьютерной математике.

Актуальность и научная новизна работы обусловлены использованием указанных новых основ.

В работе две части: определение гидродинамических нагрузок на корпус при проходе волны и расчет вызванного ими напряженно деформированного состояния корабля как балки [10].

На рис. 1 показано поперечное сечение:

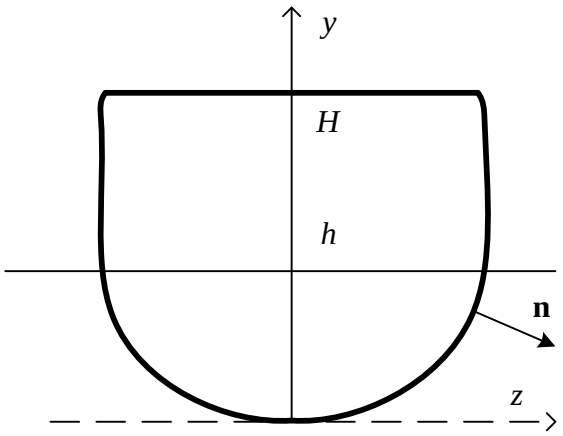


Рис. 1. Сечение корабля

Оно симметрично относительно декартовой оси y и определяется функцией $z = z(y), 0 \le y \le H$. Расстояние h – это осадка; на невозмущенной поверхности воды $y = h$.

В каждой точке контура сечения имеем орт нормали $\mathbf{n}$, компоненты которого можно найти из следующих выкладок:

$$n_y dy + n_z dz = 0,\ n_y = -z'(y)\big/\sqrt{1+z'^2}\ . \tag{9}$$

Рассмотрим силы давления, считая состояние гидростатическим. Давление выражается формулой

$$p(y) = \gamma(h-y),\ 0 \le y \le h\ , \tag{10}$$

где γ – удельный вес воды. Вертикальная суммарная сила давления на единицу длины корабля как балки согласно (1) и (2) будет равна

$$q_0(h) = -2\int_0^h p(y) n_y \sqrt{1+z'^2}\,dy = 2\gamma\int_0^h (h-y)z'dy\ . \tag{11}$$

Но это для случая, когда волны и прогиба корпуса нет (что нереально). Определенная так функция q_0 играет далее важную роль в расчете. Для заданного очертания сечения она находится численно средствами компьютерной математики: можно задать набор точек на линии и сделать интерполяцию с регрессией [9]. При параболическом очертании из (3) найдем

$$z(y) = A\sqrt{y},\ q_0(h) = 8\gamma A h^{3/2}\big/3\ . \tag{12}$$

Профиль волны определим функцией $Y(x,t)$ от декартовой координаты $0 \le x \le l$ (вдоль корабля) и времени t. Прогиб же корпуса как балки обозначим $u(x,t)$ (обе функции положительны при направлении вверх). Тогда интенсивность распределенной нагрузки равна

$$q = q_0(Y(x,t)-u) - f(x)\ . \tag{13}$$

Добавлена статическая нагрузка $f = \rho g$ от веса корабля (ρ – погонная масса, g – ускорение свободного падения).

Далее можно использовать известное уравнение динамического прогиба балки Бернулли-Эйлера:

$$(au'')'' + \rho\ddot{u} = q\ . \tag{14}$$

Здесь $a(x) = EI(x)$ – изгибная жесткость (с модулем Юнга E и моментом инерции сечения I); штрих в (6) означает дифференцирование по x, а точка – по t. Момент инерции определяется формулами

$$\begin{gathered} I = \int_F (y-y_c)^2 dF,\ y_c = F^{-1}\int_F y dF, \\ \int_F (...)dF = 2b[\int_0^H (...)\sqrt{1+z'^2}\,dy + (...)\big|_{y=H}\ z(H)], \end{gathered} \tag{15}$$

где b – толщина стенки. Внеинтегральный член в (7) учитывает сопротивление палубы.

Решение нелинейного уравнения в частных производных (6) сопряжено с большими трудностями из-за сложного строения функции q_0. Однако практический интерес представляет и статическое решение $u(x)$ уравнения:

$$(au'')'' = q_0(Y(x)-u) - f(x)\ . \tag{8}$$

Граничные условия на свободных концах без нагрузки:

$$x = 0, l : u'' = 0,\ (au'')' = 0\ . \tag{9}$$

Краевая задача (8, 9) решается в Mathcad методом стрельбы [9]. Профиль волны можно задать синусоидой: $Y(x) = Y_m \sin(kx+\alpha)$. По найденному прогибу прочность оценивается средствами сопротивления материалов:

$$\sigma = \left| au''y \middle/ I \right| \le \sigma_* . \qquad (10)$$

Здесь $y = \max(y_c, H - y_c)$; в правой части – допускаемое напряжение.

Результаты. Получена методика расчета прочности корабля на продольной волне, основанная на современной теории балки и компьютерной математике. Уравнение (3) определяет интенсивность распределенной нагрузки на корпус при проходе волны. Уравнения (6-10) позволяют провести расчет вызванного напряженно деформированного состояния корабля как балки.

Выводы. Полученная методика позволяет повысить качество и точность расчетов прочности корпуса корабля при воздействии гидродинамических нагрузок, что позволит улучшить уровень проектирования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Крылов А.Н. Вибрация судов. Л.; М.: ОНТИ НКТП СССР, 1936. 441 с.
2. Барабанов Н.В. Конструкция корпуса морских судов. Том 2. Местная прочность и проектирование отдельных корпусных конструкций судна. СПб.: Судостроение, 1993. 336 с.
3. Чижиумов С.Д. Основы динамики судов на волнении. Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2010. 110с.
4. Постнов В.А., Калинин В.С., Ростовцев Д.М. Вибрация корабля. Л.: Судостроение, 1983. 248 с.
5. Бойцов Г.В., Кноринг С.Д. Прочность и работоспособность корпусных конструкций. Л.: Судостроение, 1972. 264 с.
6. Бойцов ГВ., Палий О.М. Прочность и конструкция корпуса судов новых типов. Л.: Судостроение, 1979. 360 с.
7. Курдюмов А.З., Локшин Р.А., Иосифов В.В., Козляков А.А. Строительная механика корабля и теория упругости. Том 2. Л.: Судостроение, 1968. 419 с.
8. Елисеев В.В. Механика упругих тел. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 336 с.
9. Кирьянов Д.В. Маткад 14. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 704 с.
10. Бельгова М.А. Изгибающие моменты для судов внутреннего плавания на волнении. Л.: Судостроение, 1966. 207 с.

УДК 669.295: 621.9.079

Ван Юйин, М.О. Тирская, М.А. Скотникова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СТРУКТУРНЫЕ - ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВЕ ТИТАНА ПРИ СКОРОСТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Методами оптической и электронной микроскопии, испытаний на микротвердость исследованы субструктурные изменения и механизмы разрушения, происходящие в материале заготовок - образцов из титанового сплава ВТ-23, испытанных при лезвийной обработке при скоростях деформации $10^5 \ldots 10^6$ $с^{-1}$. Показано, что сжимающая ударная волна модулирует структуру материала, разбивая ее на мезо-объемы размером 250…350 мкм, по границам которых разгрузочная волна, подключая ротационные (поворотные) моды, совершает локализованные адиабатические сдвиги.

В настоящее время применение высокоскоростной лезвийной обработки металлических заготовок является одним из основных направлений повышения производительности труда и качества получаемых поверхностей. При этом возникает проблема снижения износостойкости инструмента, его преждевременного разрушения и усиления интенсивности этого процесса с увеличением скорости резания сверх определенного уровня. Существует

гипотеза о наличии здесь связи с изменением степени локализации пластической деформации в металле заготовки в результате диссипативных процессов, происходящих в зоне стружкообразования.

Как следует из ранее проведенных работ, на основе комплексного исследования структурных и фазовых превращений, физических и механических свойств деформированных машиностроительных сплавов разного легирования, а также установленных закономерностей, была предложена обобщенная термо - кинетическая модель формирования диссипативных структур при нагреве, с использованием представлений о механизмах формирования и распада неравновесных твердых растворов, перераспределения между ними легирующих элементов [1-5].

Материалом для исследования служил сплав на основе титана ВТ-23. Его лезвийная обработка проводилась без смазки резцом ВК8 при подаче S = 0,26 мм/оборот и глубиной резания t = 3мм, в диапазоне скоростей резания $V_{РЕЗ}$ = 2…275 м/мин. Геометрические параметры резца составляли углы: $\varphi = 45°$; $\varphi_1 = 15°$; $\alpha = 6°$; $\gamma = 12°$.

Морфологический и структурный анализ образующейся стружки на макро-, микро- и субмикро- уровнях выполняли в продольном и поперечном ее сечениях с помощью методов микротвердости, оптической металлографии, электронной микроскопии.

Морфология формирующейся стружки. При резании металлических заготовок, в зоне контактного взаимодействия обрабатываемой детали и резца возникает сложный многофакторный процесс взаимодействия деформации, трения, адгезии и разрушения, на соотношение величин которых влияют физико-механические и химические свойства контактирующих материалов, геометрия резания, скорость и температура деформирования.

На рис. 1. изображены обрабатываемая заготовка, резец и формирующаяся стружка с отмеченными на прирезцовой стороне, местами локализации деформации ($\varepsilon_{ЛОК}$).

Как показали результаты растровой электронной микроскопии рис. 2, свободная поверхность стружки из сплава титана формировалась по сложному механизму с признаками разрушения в условиях сверхпластичности. Формировалась стружка локального (адиабатического) сдвига. При этом износ резца резко возрастал с увеличением скорости обработки резанием [1-2].

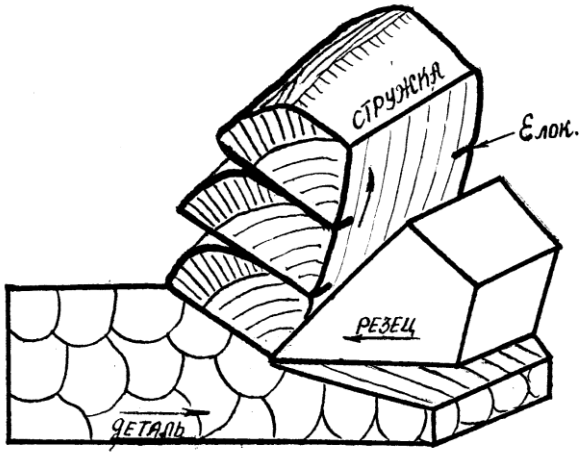


Рис. 1. Схема образования элементной стружки при обработке металлической заготовки резанием

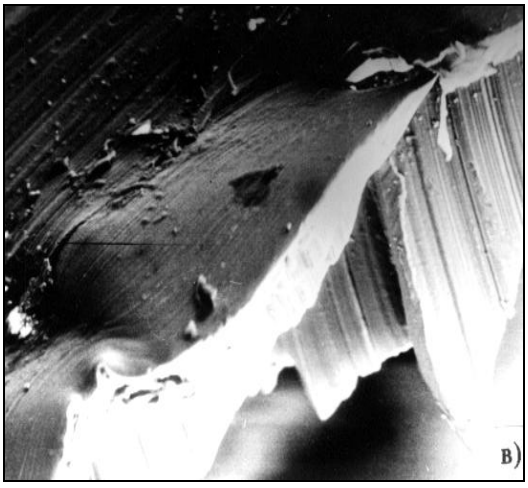


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение стружки из сплава ВТ-23 после лезвийной обработки со скоростью 120 м/мин. х 400

Оценка микротвердости стружки. Оценка микротвердости производилась на шлифах приготовленных в продольной плоскости стружек в долевом их направлении с интервалом 20 мкм при нагрузке 20 г. Результаты измерения микротвердости стружек имели

волнообразный характер, особенно вблизи их свободного края, рис. 3. Максимальные значения микротвердости приходились на места сочленения сегментов стружек, в которых с помощью просвечивающей электронной микроскопии была обнаружена локализация пластической деформации по механизму формирования узких зон сверхмелкой структурой.

Здесь абсолютные значения микротвердости для сплавов ВТ-23 достигали 4381 МПа при средней твердости стружек и металла в исходном состоянии, соответственно 3761 и 3903 МПа. Следует отметить, что указанные изменения структуры и модуляция микротвердости, рис. 3, вблизи свободного края стружки были более существенны, чем в при резцовой зоне, что свидетельствовало о прохождении там более интенсивных релаксационных процессов.

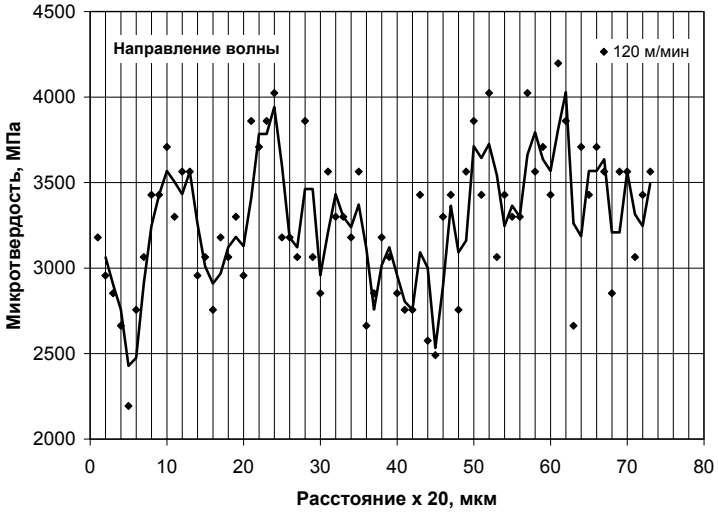


Рис. 3. Распределение микротвердости вблизи стружке из сплава ВТ-23 вдоль направления движения резца со скоростью 120 м / мин.

Структура металла стружки из сплава ВТ23. В исходном состоянии структура заготовки из сплава ВТ-23 представляла собой колонии параллельных пластин α- и β- фаз. При лезвийной обработке резанием, начиная уже со скорости 2 м/мин, в металле наблюдалась неоднородная пластическая деформация, ее сильная локализация в узких периодически повторяющихся объемах металла по механизму формирования сверхмелких дислокационных ячеистых структур, рис. 4.

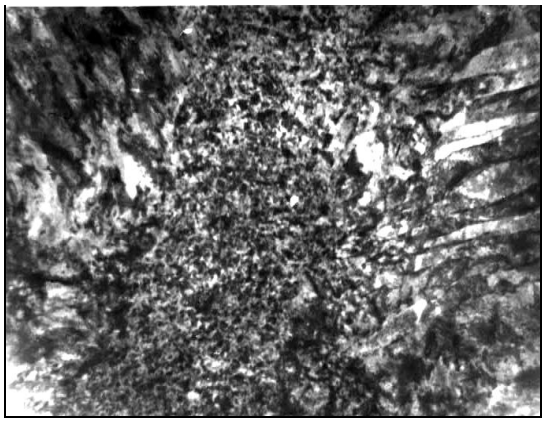


Рис. 4. Электронно-микроскопическое структуры стружки сплава ВТ-23 после лезвийной обработки со скоростью 120 м/мин. х 13000

В сплаве ВТ-23 следы локализации пластической деформации шириной 1…10 мкм наблюдали по всей ширине от края до края стружек с периодом 250…350 мкм. В таких микрообластях формировались вторичные не травящиеся структуры («светлые зоны») с повышенной микро-твердостью. Появление, наряду с упрочнен-ными микрообластями (Нμ = 4381 МПа) – разупрочненных (Нμ= 3700 МПа), твердость которых оказалась меньше чем в исходном состоянии (3903 МПа), свидетельствовало о прохождении здесь структурной и концентрационной модуляции материала заготовок из сплава ВТ-23 при скоростях резания сверх определенного уровня.

Таким образом, резец при своем движении вдоль обрабатываемой заготовки, формирует волну сжатия, которая модулирует структуру материала, разбивая ее на мезо-объемы размером 250…350 мкм. Отразившись от поверхности заготовки, формируется разгрузочная волна пластической деформации, обеспечивающая подключение ротационных (поворотных) мод пластической деформации и совершая локализованные адиабатические сдвиги вдоль границ образованных мезо-объемов. В контактной зоне формируется износостойкая вторичная структура, существенно снижающая износ металла обрабатываемой детали, но повышающая износ режущей кромки инструмента.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Skotnikova M.A., Voinov K.N., Martynov M.A., Ushkov S.S. About Nature of Dissipative Processes at Cutting Treatment of Titanium Blanks // The 9th World Conference on Titanium 7-11 June 1999, S9-33, Saint Petersburg, Russia
2. Скотникова М.А., Касторский Д.А., Строкина Т.И. Структурные превращения в металлах при скоростном резании Вопросы материаловедения. 2002. № 1. С. 199-215.
3. Скотникова М.А., Виноградов В.В., Крылов Н.А.Учет волновой теории пластической деформации при высокоскоростной механической обработке поверхностей заготовок. Металлообработка, СПб, 2005, № 4 стр. 12-17.
4. Скотникова М.А., Крылов Н.А., Мотовилина Г.Д., Ланина А.А. Превращения в двухфазных титановых сплавах в условиях высокоскоростного механического нагружения.
Вопросы материаловедения. 2007. № 4. С. 359-365.
5. Скотникова М.А., Миронова Е.В., Крылов Н.А., Соколов А.В. Высокотемпературный распад твёрдых растворов при полиморфном превращении деформированных сплавов титана. Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. № 166. С. 138-145.

УДК 621.89.017, 621.892.5

О.А. Мальцев, В.В. Медведева, Р.Л. Залещанский
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЧШМ-3,2 ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА

Существует большой ряд испытательного оборудования для оценки триботехнических свойств пластичных смазочных материалов. Как правило, машины трения делятся на три основные группы по испытаниям: точечный контакт, линейный контакт и конформный контакт (по плоскости или криволинейной поверхности). Эти три типа могут реализоваться в огромном количестве модификаций. Часть этих вариантов реализована в испытательных машинах серийного производства разных стран. [1, 2, 4]

В частности для испытаний на несущую способность и противозадирные свойства пластичного смазочного материала используется машины трения ЧШМ-3,2. Четырехшариковая машина трения (ГОСТ 9490-75) предоставляет возможность испытаний только трения скольжения, когда в реальном узле трения, например, в подшипнике качения, преимущественно возникает трение качения в сочетании с трением скольжения между сепаратором и телами качения. [2]

Необходимость модернизации универсальной машины трения заключается в испытаниях соответствующих реальному виду трения в подшипниках качения.

Цель работы: Разработка оснастки для ЧШМ-3,2 увеличивающую функционал испытательных возможностей стандартной машины трения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующий комплекс задач:

1. Разработка оснастки для ЧШМ – 3,2;
2. Проведение пробных испытаний.

Описание конструкции и принцип работы

1 - винт М3х45;
2 - цанга;
3 - шар с отверстием;
4 - нажимная оправка;
5 - кольцо-оправка;
6 - подшипник 8102 (51102);
7 - гайка М3;
8 - чаша.

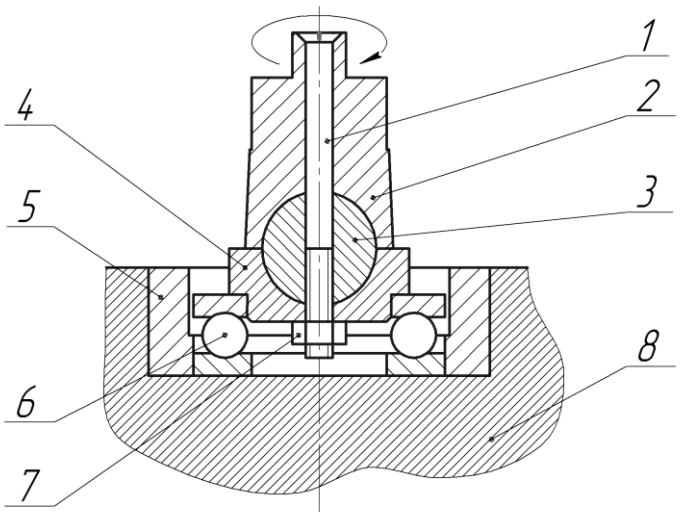


Рис. 1. Конструкция разработанной оснастки

Конструкция оснастки (рис. 1) включает в себя стандартную чашу *8*, в который помещен испытательный образец – подшипник *6*, удерживаемый кольцом-оправкой *5*. Нажимная оправка *4* совмещена с цангой *2* посредством шара с отверстием *3* и винтом *1* с гайкой *7*.

Данная конструкция позволяет передавать нормальную нагрузку от стандартного механизма нагружения машины трения ЧШМ-3,2 на испытываемый упорный подшипник качения.

В качестве образца для испытаний выбран подшипник 8102 (51102) из-за соответствия своих габаритных характеристик под стандартную испытательную чашу ЧШМ-3,2 и динамической грузоподъемности сопоставимой с максимальной нагрузкой развиваемой машиной трения [3]. Технические характеристики подшипника приведены в табл. 1, габаритные размеры и внешний вид представлены на рис. 2

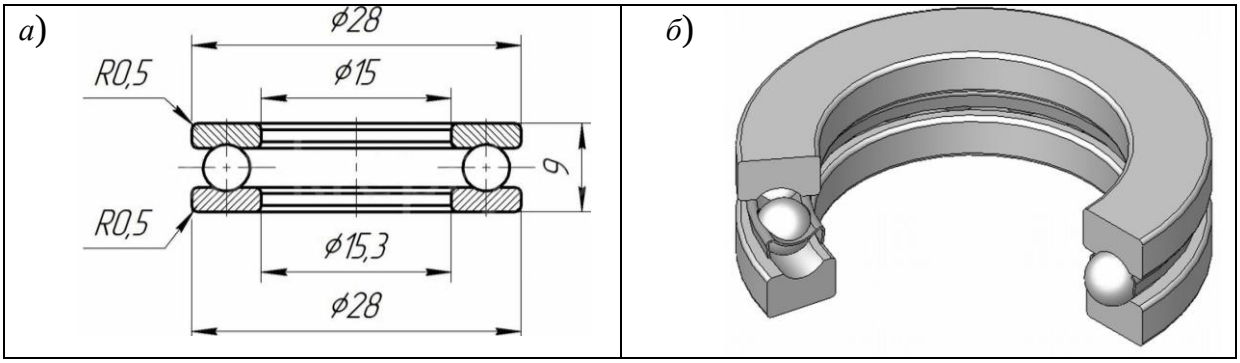


Рис. 2. Упорный подшипник качения 8102 (51102)
а) Эскиз; *б*) Трехмерное изображение

С помощью изготовленной оснастки были произведены предварительные оценочные испытания подшипника с консистентным смазочным материалом (Литол-24). Результаты представлены на рис.3.

Таблица 1. Размеры и основные характеристики подшипника 8102(51102)

Параметр	*Обозначение*	*Значение*	*Единицы*
Диаметр отверстия тугого кольца	d	15	мм
Наружный диаметр свободного кольца	D	28	мм
Наружный диаметр тугого кольца	d_1	28	мм
Диаметр отверстия свободного кольца	D_1	15,3	мм
Высота подшипника	H	9	мм
Радиус монтажной фаски подшипника	r	0,5	мм
Масса подшипника	m	0,024	кг
Динамическая грузоподъемность	C	9360	Н
Статическая грузоподъемность	C_0	13300	Н
Предельная частота вращения, при пластичном смазочном материале	$N_{пред.п}$	6300	об/мин
Предельная частота вращения, при жидком смазочном материале	$N_{пред.ж}$	8500	об/мин
Количество шариков в подшипнике	Z	12	штук
Диаметр шарика	D_w	4,76	мм

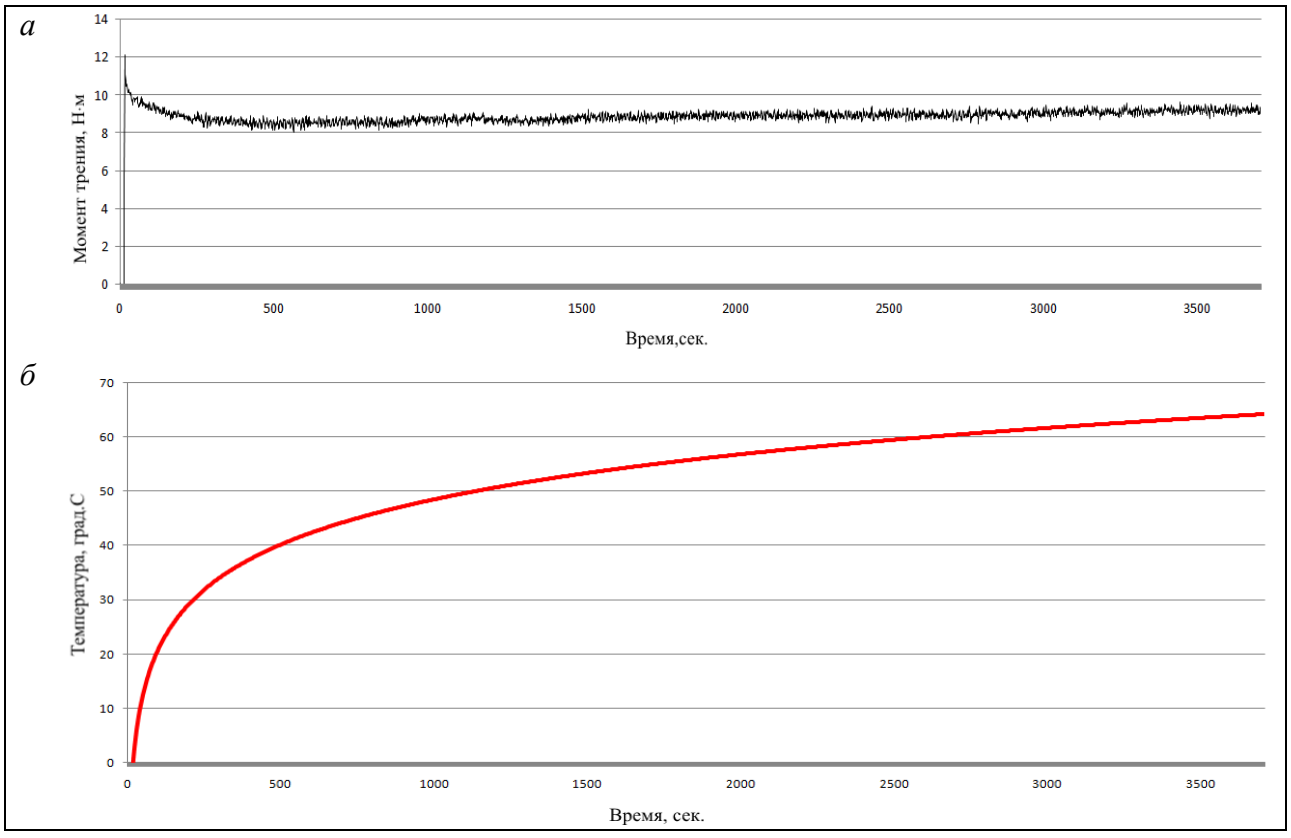


Рис. 3. Результаты экспериментального исследования работоспособности упорного подшипника качения при нагрузке 1002 кгс. *а*) Зависимость изменения момента трения в подшипнике от времени работы; *б*) Кинетика нарастания температуры в паре трения

В ходе работы были проведены проверочные испытания модернизированной машины трения, результаты которых подтвердили работоспособность такого решения.

Разработанная оснастка позволила получить данные (момент трения, температура смазочной среды, износ составных частей подшипника) с реального узла трения – упорного подшипника качения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов. Комбалов В.С. Справочник. — под ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко — М.: Машиностроение, 2008. — 384 с.
2. Хебда М., Чичинадзе А.В. Том 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения — М.: Машиностроение, 1990. — 416 с.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.3. 7-е изд.М.: Машиностроение, 1992.
4. Стукач А.В. Исследование свойств металлополимерные и фуллеренсодержащих композитов при трении. // Технико-технологические проблемы сервиса. № 13 /2010 – С.10-19

УДК 620.179.112.001

Ф.Л. Титов, Е.В. Заборский
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕВЕРСИВНОГО ТРЕНИЯ

Шарнирные соединения возвратно-вращательного (реверсивного) действия являются конструктивными элементами большинства силовых машин и технологического оборудования, например,строительно-дорожных, подъемно-транспортных, горных. Отмечается сравнительно низкая износостойкость деталей таких соединений, которая наряду с фактором абразивности, обусловлена особенностью механизма изнашивания в условиях реверсивного трения. Установлено, что основной причиной повышенного износа деталей является наличие сдвиговых деформаций под действием знакопеременных сил трения, влияющих на изменение свойств трущихся поверхностей. Вместе с тем, как показали результаты литературного обзора, количество технической литературы, посвященной указанной теме, оказалось весьма ограниченным, а вызывающие наибольший интерес литературные источники относятся к 60 – 70-м годам прошлого века [1, 2, 3]. Поиск существующего лабораторного оборудования для исследования реверсивного трения [4] также не принес результатов. Учитывая всеэто, предлагаемая работа представляется актуальной.

В основу лабораторной установки для исследования реверсивного трения был положен четырехзвенный шарнирный механизм [5] (рис. 1).

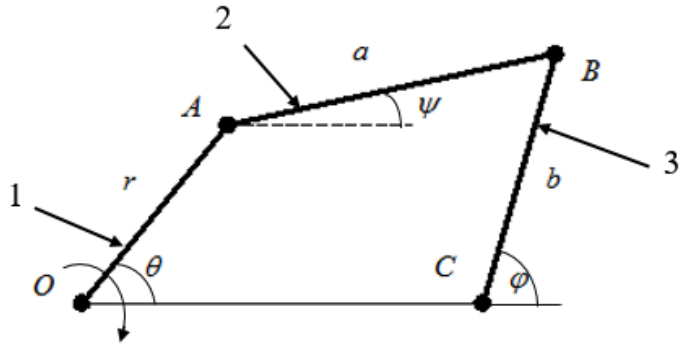


Рис. 7. Схема шарнирного четырехзвенного механизма

(*1* - кривошип; *2* - шатун; *3* - коромысло), где θ - угол текущего положения кривошипа, ψ - угол текущего положения шатуна, φ - угол текущего положения коромысла

По результатам проведенного энерго-кинематического расчета были установлены энерго-кинематические параметры, необходимые для выбора электродвигателя. Для их оценки учитывались: диапазон варьируемой нагрузки на узел трения, размеры торцевых образцов и обоймы, коэффициент трения скольжения; размеры элементов установки: кривошипа, шатуна, коромысла.

По результатам расчетов был выбран асинхронный электродвигатель АИР56А4 мощностью 0,12 КВт и частотой вращения 1350 об/мин, для регулирования частоты вращения которого применяется частотный преобразователь, который позволяет изменять частоту вращения в пределах ±10%.

Разработанная 3D-модель лабораторной установки представлена на рис. 2.

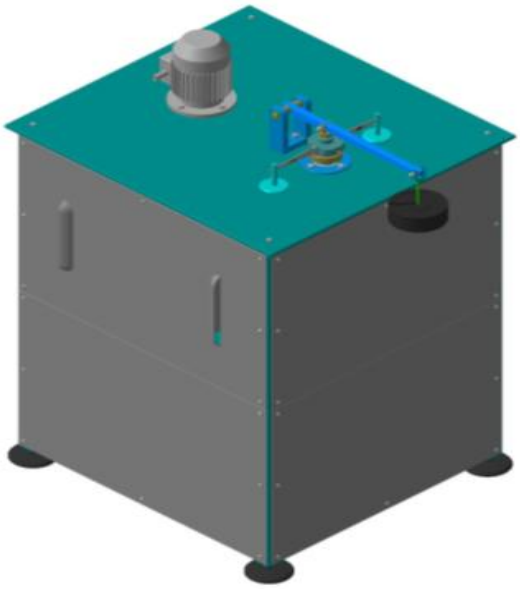


Рис. 2. Установка реверсивного трения

Конструкция установки напольного типа для исследования торцевых образцов в условиях реверсивного трения включает в себя силовой каркас с опорными элементами и установочную плиту с узлом трения сизмерительной системой. На обратной стороне установочной плиты размещены элементы шарнирного четырехзвенника, положенного в основу установки.

Электродвигатель вращает кривошип, соединенный шарниром с шатуном, совершающим сложное движение.

Качательное движение коромысла передается на узел трения, в котором закреплена обойма с испытуемыми образцами. Сверху к образцам прикладывается контртело, нагружаемое посредством рычажной системы.

Момент трения регистрируется посредством измерительного устройства, которое включает в себя две симметрично расположенные относительно узла трения балки равного сопротивления с тензодатчиками.

Регулировка чувствительности измерительной системы осуществляется перемещением стоек. Стойки закрепляются на установочной плите.

Конструкцией установки предусмотрена регулировка угла качания узла трения путем изменения длин кривошипаи шатуна.

Решением системы уравнений (1), определяющих функции углов механизма, была получена зависимость угла качания коромысла от времени, при трех разных длинах кривошипа [5].

$$\begin{aligned} x_c &= r\cos\theta + a\cos\psi - b\cos\varphi \\ y_c &= r\sin\theta + a\sin\psi - b\sin\varphi \end{aligned} \qquad (1)$$

Из полученных данных следует, что угол качания обоймы зависит от длины кривошипа, при этом, наибольший угол качания составляет 55 градусов, что соответствует длине кривошипа - 100 мм; наименьший угол - 13 градусовсоответствует длине кривошипа 25 мм, (рис. 3);

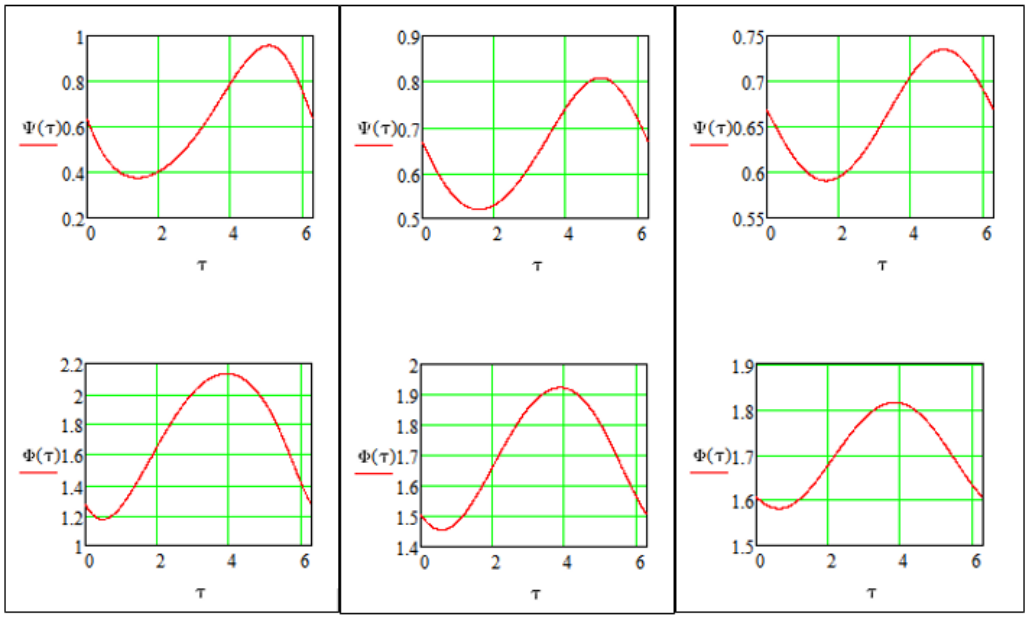


Рис. 3. Зависимость углакачания механизма
от длины кривошипа
а) - 100 мм, *б*) - 50 мм, *в*) - 25 мм.

Спроектированная установка является универсальной. На ней возможно проведение исследований различных машиностроительных материалов, применяемых в промышленности, например [6, 7].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Евдокимов В.Д. Реверсивность трения и качество машин. Киев: Техніка. 1977. -175 с.
2. Евдокимов В.Д. Реверсивность трения скольжения и свойства поверхностных слоев. В сб. "Теория трения и износа", М. "Наука". 1965. - с.50-53
3. Евдокимов В.Д. Износостойкость поверхностного слоя в условиях знакопеременных сдвиговых деформаций при трении скольжения. "Доклады АН СССР", т.143, №1. 1962. с.84-86
4. Ашейчик А.А. Основы трибоники. /А.А.Ашейчик. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 1995. – 116с.
5. Евграфов А.Н., Коловский М.З., Петров Г.Н. Теория механизмов и машин. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. -248с.
6. Чулкин С.Г. Использование композитных материалов в узлах трения нефтяного оборудования – шаровой запорной арматуры и в кабелях-толкателях / С.Г. Чулкин, А.А. Ашейчик, С.Н. Селин // Вопросы материаловедения. – 2012. – №4 (72). – с.240-244.
7. Ашейчик А.А. Исследование износостойкости и нагрузочной способности резин для шкивов грузоподъемного оборудования / А.А. Ашейчик, В.Л. Полонский // Вестник СибГАУ. – 2016. – Т.17. – №1. С.186-193.

УДК 621.926.88

Ю.С. Смельчакова, Е.А. Тарасенко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТРУЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Струйные мельницы используются для измельчения горных пород, химических компонентов, сельскохозяйственной продукции и т.д. и может быть, тонкодисперсных порошков.

Струйные мельницы относятся к технике измельчения твердых порошкообразных материалов и нашли применение для тонкого измельчения материалов с частицами крупностью размером менее 5 мм до 10-40 мкм и используются в горно-металлургической, химической, лакокрасочной, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности.

Достоинством устройств является отсутствие движущихся частей, простота конструкции, отсутствие подшипниковых узлов, как в других типах мельниц. Однако, в связи с турбулентным режимом и высокими скоростями движения частиц, значительному износу подвергаются конфузор, который расположен в начале разгонной трубки, отбойная плита и камера помола. Для снижения износа локальные участки, выполняют из твердых сплавов или керамики с антиабразивыными свойствами. [1, 2, 3, 4]

Применение износостойких резин в качестве материала рабочих поверхностей мельниц сдерживается тем, что не всегда имеются научно обоснованные методики расчета футеровочных элементов, работающих в конкретных условиях ударного и истирающего нагружения.

Конструктивно схемы мельниц самоизмельчения можно разделить на две группы [7]:

1 – это устройства, в которых организован прямолинейный разгон частиц и измельчение происходит при лобовых соударениях частиц материала (схемы прямоточной одноструйной и противоточной двух – струйной мельниц)

2 – это устройства с тангенциальным круговым движением энергоносителя (схемы мельницы с плоской и трубной кольцевой камерами.

В процессе перемещения абразивного материала по рабочей поверхности мельницы происходят многочисленные контакты частиц технологической нагрузки с элементами футеровки. Поскольку контакты носят стохастический характер, то и углы атаки частиц с рабочей поверхностью могут изменяться от нуля до 90 °. Известно, что изменение угла атаки от 90 до 30 градусов увеличивает износ поверхности в 4-5 раз. Для резиновых защитных покрытий случае нулевых углов атаки или близких к ним наблюдается изнашивание микрорезанием, при углах атаки близких к 90 ° - ударные разрушения.

Целью данной работы является разработка конструкции футеровки из износостойкой резины для рабочей поверхности камеры помола, что снизит затраты на остановку мельницы из-за необходимости замены камеры измельчения.

Известна струйная мельница рис. 1 [5, 6], которая имеет четыре сопла *1*, соединенных общим коллектором *2* в нижней части цилиндрической помольной камеры *3*, которая соединена с накопителем *4*. В верхней части цилиндрической помольной камеры *3* установлен классификатор *5* с разбрасывающей тарелью 6, по радиусу которой установлены отбойные лопасти *7*. Классификатор приводится во вращение электродвигателем *8*. Камера помола *3* футеруется сопряженными кольцами *9* с переменным внутренним профилем в виде конфузора, причем каждый из конфузоров выполнен с увеличением его малого диаметра на 0,1D от нижней части помольной камеры к верхней. В верхней конусной части мельницы

установлено загрузочное устройство *10* для подачи измельчаемого материала и патрубок *11* для отвода готового продукта.

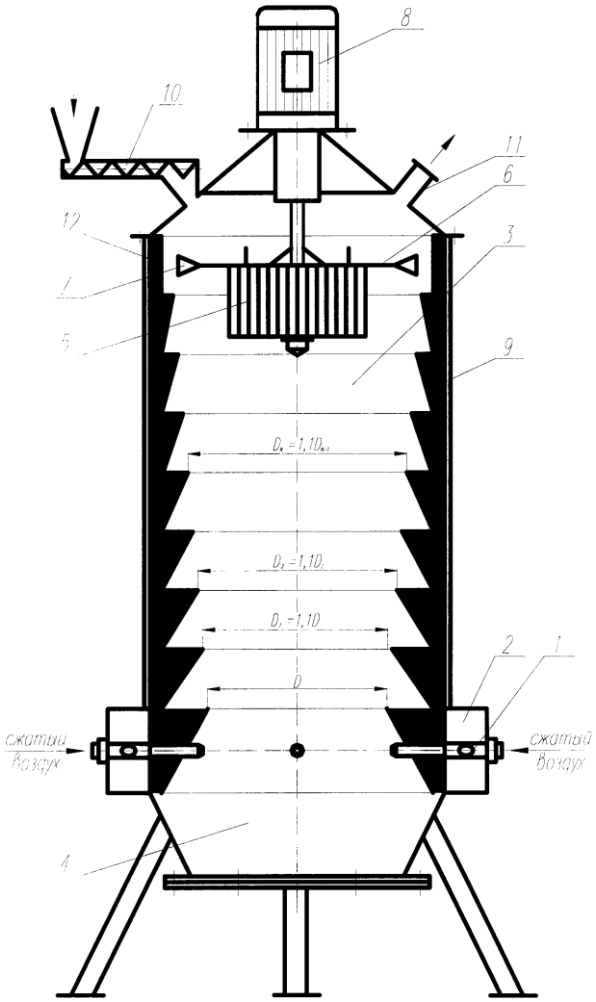


Рис. 8. Струйная мельница с цилиндрической самофутерующейся камерой помола

Струйная мельница с цилиндрической самофутерующейся камерой помола работает следующим образом. Энергоноситель, например сжатый воздух от компрессора, подается в коллектор 2 и поступает через сопла 1 во внутреннюю полость помольной камеры 3. Измельчаемый материал загрузочным устройством 10 подается на вращающуюся разбрасывающую тарель *6* откуда за счет центробежной силы попадает на лопатки *7* и равномерно сбрасывается на цилиндрическую отбойную плиту *12*, где происходит первая стадия измельчения частиц материала. Далее материал, пересыпаясь за счет силы тяжести последовательно по выступам, образованным сопряженными футеровочными кольцами *9* с переменным внутренним профилем в виде конфузора, заполняет карманы и образует дополнительный самофутерующийся слой материала защищающий основную футеровку от износа. Материал по этому слою соскальзывает в зону действия истекающих из сопел *1* струй, захватывается ими и сталкивается в центральной части помольной камеры, где происходит измельчение. Измельченный материал поступает в верхнюю часть камеры помола в зону действия вращающегося ротора классификатора *5*, где грубый продукт отбрасы-вается на стенки камеры и возвращается на домол, а тонкий продукт, достигший заданной степени измельчения, проходит через классификатор и удаляется через патрубок *11* отработанным энергоносителем на осаждение и пылеочистку.

Для определения наиболее эффективных режимов работы струйной мельницы при измельчении материалов с различными физико-механическими авторами предлагается футеровочные элементы выполнять в виде тороидальных оболочек, соединенных с источником воздуха, что позволяет за счет изменения давления в их полости изменять диаметр футеровочных колец относительно друг друга, шаг и угол наклона, по которому измельчаемый материал соскальзывает по самофутерующемуся слою в зону разрушения.

Учет при конструировании таких свойств резины как упругость, способность восстанавливать форму детали при деформировании, возможность получать детали сложной формы и разработка методов расчета таких деталей позволят создать резиновые футеровки струйных мельниц, в том числе и футеровки специальных конструкций, что позволит снизить энергопотребление и уровень шума, простои мельницы и трудозатраты на ремонт или замену ее цилиндрической части при повышении технологических показателей мельниц.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Акунов В.И. Струйные мельницы. Теория. Рациональный типаж. Применение: Автореф. дис. док. техн. наук: 05.02.13 / В.И. Акунов // МИСИ.-М., 1989.-44 с.
2. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов / Г.С. Ходаков -М.: Стройиздат, 1972. 239 с.
3. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности / П.М. Сиденко М.: Химия, 1977-368 с.
4. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород / Ю.И. Протасов. М.: Изд. МГГУ, 2002. - 453 с.
5. Старчик Ю.Ю. К расчету конструктивно-технологических параметров цилиндрической камеры помола струйной мельницы /Ю.Ю. Старчик // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова / Белгор. гос. технол. ун-т. Белгород, 2009. -№ 1.-С. 104-106.
6. Полезная модель 7/75326 B02C19/06 Струйная мельница с самофутерующейся камерой помола Ю.Ю. Старчик, Д.В. Карпачев, А.В. Уваров
7. Технология самоизмельчения материалов с использованием струйных мельниц /Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Часть 1 . – СПб .: Изд-во Политехн. ун-та. 2015 , с. 85-87.

УДК: 621.89.017

В.В. Данковцев, Е.К. Иванов, М.А. Скотникова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИДКИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОМПРЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В современной компрессорной технике высокого давления существует проблема повышенного износа и энергетических затрат в основных узлах трения машин и механизмов. Поэтому, выбранная тема исследования, состоящая в поисках путей повышения эффективности работы современных машин и их механизмов, и конкретно - поршневых компрессоров высокого давления, является актуальной. Полученные результаты работы могут быть применены в промышленных турбоагрегатах, для одноступенчатых и много ступенчатых компрессоров, в автомобилях.

Целью данной работы являлась подборка оптимального смазочного материала для повышения эксплуатационных характеристик компрессоров высокого давления.

Для достижения поставленной цели, были сформулированы следующие задачи:

- анализ путей уменьшения износа и потерь на трение в основных узлах трения, посредством выбора марок смазочных материалов;
- проведение экспериментальных исследований, для определения триботехнических свойств масел;
- разработка рекомендаций для практического использования полученных результатов.

Объектами исследования являлись 4 марки жидких смазочных материалов для поршневых компрессоров.

Предметом являлось влияние жидких смазочных материалов на трение и изнашивание в узлах трения поршневого компрессора.

В качестве материала для исследования были выбраны 2 марки компрессорных масел: Mobil rarus 425 и К4-20 и 2 марки моторных масел: ТНК 20W-50 и Castrol EDGE 0W-40. Физико-химические свойства масел представлены в таблице 1.

В качестве методов исследования были использованы: машина трения СМЦ-2; инвертированный металлографический микроскоп MEIJI TECHNO IM7500 для замера размеров пятен износа; калибровочное стекло с микрометрической шкалой с разрешением 0.01 мм.

Таблица 1. Физико-химические свойства исследуемых масел

Физико-химические свойства масел	К4-20	Mobil rarus 425	ТНК 20W-50	Castrol EDGE OW-40
Кинематическая вязкость при 100°С, мм2/с	19,5-22	6,9	16,6	13,5
Кинематическая вязкость при 40°С, мм2/с	240-310	46	-	79,3
Плотность при 15°С, г/см^3	0,900	0,873	0,890	0,841
Индекс вязкости	112	105	112	169
Зольность сульфатная, %	0,5-0,8	0,01	0,9	-
Щелочное число, мг·КОН/г	-	6,6	6,6	10,2
Температура вспышки в открытом тигле, °С	225	238	228	240
Температура застывания, °С	-15	-	-22	-57

В работе были проведены испытания на паре трения, состоящей из двух образцов: верхнего образца в виде неподвижного металлического шара диаметром 8 мм и нижнего образца в виде подвижного кольца роликового подшипника 7205 с внутренним диаметром 52 мм. Образец шар закрепляли в колодке пластиной, а кольцо насаживается на конус, и притирали с прилеганием не менее 80% по площади. Нагрузка на образцы составила 147 Н. Схема установки образцов для испытаний показана на рис. 1.

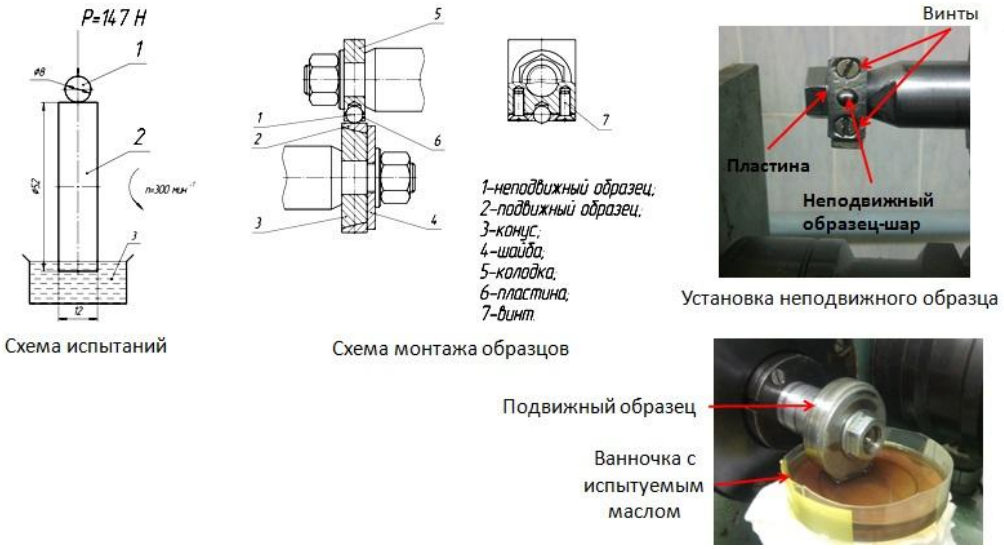


Рис. 1. Схема установки и испытания образцов

По результатам исследования, были построены графические зависимости интенсивности изнашивания образца-шарика в зависимости от приложенной нагрузки, рис. 2.

Показано, что самая большая величина давления, при котором практически прекращается износ (P_0 = 109,4 МПа) оказалась при испытании в масле ТНК 20W50. Таким образом, оно имеет хорошие противоизносные свойства.

Масло Castrol EDGE 0W-40 по результатам триботехнических испытаний, показало удовлетворительные результаты (P_0=20,3 МПа). При его работе замечается стабильность в трении, что отражает короткая длина кривой.

Величина давления при котором практически прекращается износ для масла Mobil rarus 425 составила P_0=68,3 МПа. При этом характер кривой интенсивности изнашивания от

давления резко спадающий, что говорит о быстром росте пятна износа и быстром выходе на режим равномерного износа.

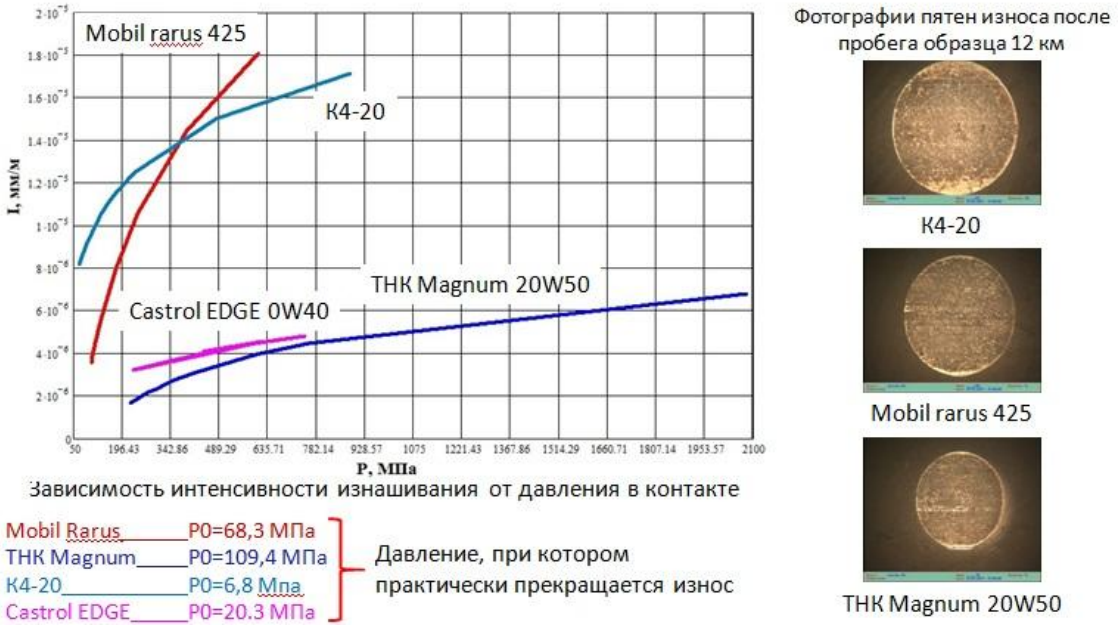


Рис. 2. Результаты исследования и фотографии пятен износа

Масло К4-20 показало худшие результаты по триботехническим испытаниям (P_0 = 6,8 МПа), выход на оптимальные режим трения дольше (более пологая кривая I (P).

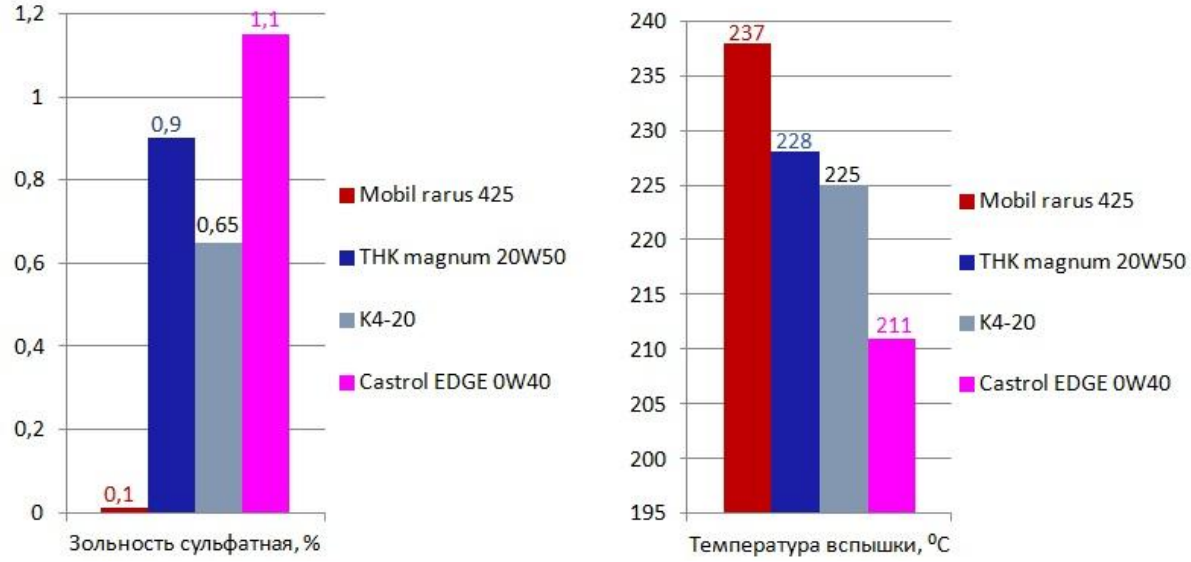


Рис. 3. Сравнение паспортных характеристик масел

По результатам сравнения паспортных данных, которые показаны на рис. 3, самую большую величину сульфатной зольности имеют масла Кастрол и ТНК с величинами 1,15 и 0,9%, соответственно. Это объясняется тем, что в этих маслах самое большое содержание присадок, которые могут образовать зольные отложения на парах трения, на клапанах, что может привести к снижению параметров компрессора (давление в ступенях,

производительность). Температура вспышки в открытом тигле данных масел 211◦С у Кастрол и 228◦С у ТНК.

У масла Mobil rarus 425 величина сульфатной зольности по паспорту составляет 0,01%. Масло К4-20 имеет средний результат по зольности - 0,5-0,8% по паспорту. Температура вспышки составляет по паспорту 225°С.

Таким образом, из перечня испытанных масел рекомендуется применять для общепромышленных компрессоров масло Mobil rarus 425, а для компрессоров военного назначения масло К4-20. Допускается применять для смазывания поршневых компрессоров моторные масла с низким значением сульфатной зольности. Рекомендуется найти и применить аналог масла К4-20 с более лучшими триботехническими свойствами для повышения работоспособности компрессоров военного назначения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. К.И. Страхович, М.И. Френкель, И.К. Кондряков Компрессорные машины, Москва 1961, 600 с.
2. П.И. Пластилин. Поршневые компрессоры, т. 1. Теория и расчет. изд. №3 Москва. 2006, 392 с.
3. Компания "Эксперт-Ойл" [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.expert-oil.com/articles/kompressornie_masla.html
4. Компрессорные масла. Информационный-инженерный портал «Веб-Механик» [Электронный ресурс] http://web-mechanic.ru
5. Типы компрессоров.Компания «ПЛ-ТЕХНО» [Электронный ресурс] Режим доступа: http://ac-compressors.ru/about.

УДК 621.01

Д.С. Пелупесси, М.В. Жавнер
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРУЖИННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ ДЛЯ ПРИВОДОВ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ

В шаговых приводах для уменьшения затрат энергии можно использовать пружинные приводы с рекуперацией энергии, построенные на базе пружинных аккумуляторов. При этом в некоторых случаях использование пружинных механизмов позволяет упростить конструкцию и уменьшить массогабаритные характеристики. Пружинные аккумуляторы можносоздавать на базе пружин растяжения и сжатия в сочетании с гибким элементом.

В технической литературе отсутствует информация о характеристиках пружинных аккумуляторов и методиках их расчета, и они не находят широкого воплощения в конструкторских разработках [1–4].

Использование пружинных аккумуляторов в приводах с рекуперацией энергии для шаговых перемещений позволяет снизить энергозатраты в 5–10 раз по сравнению с таковыми в традиционных шаговых приводах. Пружинные приводы характеризуются высокими показателями быстродействия и надежности.

Цель работы — анализ динамических и геометрических характеристик пружинных аккумуляторов с выходным поворотным звеном на базе пружин растяжения и сжатия с углом поворота 2π, которые можно использовать в качестве основного двигателя поворотных столов технологического оборудования.

На рис. 1 приведена схема нереверсивного приводана базе комбинированного привода, включающего в себя пружинный аккумулятор и пневмоцилиндр. Данный привод используется для обеспечения дискретного угла поворота поворотного стола различного технологического оборудования.

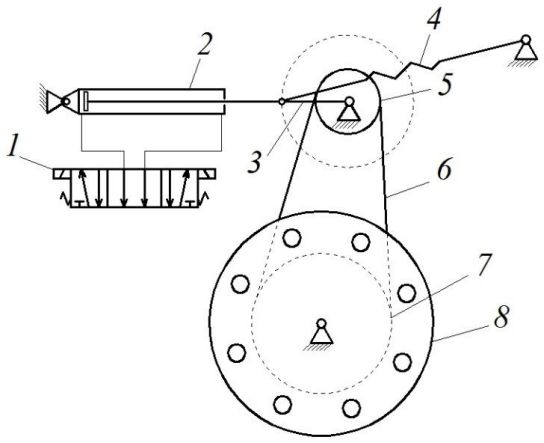


Рис. 1. Схема нереверсивного пружинного привода для поворотного стола:
1 — распределитель; *2* — пневмоцилиндр; *3* — поворотное звено;*4* — пружина;
5 и *7* — ведущий и ведомый шкивы; *6* — ремень; *8* — поворотный стол

В приводе, представленном на рис. 1 пружинный аккумулятор, состоящий из поворотного звена и пружины, может быть заменен пружинным аккумулятором, на базе гибкого элемента. На рис. 2 представлена схема пружинного аккумулятора, в котором поворотное звено соединено с пружиной через гибкий элемент, например, через трос или стальную ленту.

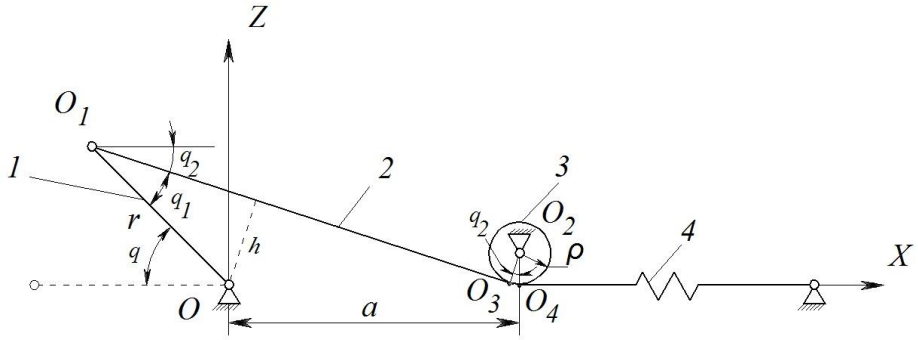


Рис. 2. Схема пружинного аккумуляторас гибким элементом:
1 — поворотное звено; *2* — гибкий элемент; *3* — отклоняющий блок; *4* — пружина

Основными геометрическими характеристиками пружинных аккумуляторов являются:
r — радиус выходного звена;
a — межосевое расстояние;
L_0 — минимальная длина пружины;
L_{max} — максимальная длина пружины;
q — угол поворота выходного звена.
Для пружинного аккумулятора основными характеристиками являются:

- закон изменения потенциальной энергии в зависимости от угла поворота;
- зависимость усилия пружины от угла поворота выходного звена;
- жесткость и максимальное усилие пружины;
- закон изменения движущего момента, который при постоянном приведенном моменте инерции аналогичен по виду закону ускорения;
- зависимость скорости выходного звена от угла поворота;

• время поворота на заданный угол при заданном моменте инерции поворотного стола, приведенном к оси поворотного звенапружинного аккумулятора, и при определенной жесткости пружины;

• диссипативные потери.

Нагрузка на пружинный аккумулятор определяется моментом инерции поворотного стола, приведенным к оси поворотного звена. Технологическая нагрузка в поворотных столах и шаговых приводах отсутствует, а нагрузка на привод зависиттолько от массовых характеристик конструктивных элементов.

Изменение геометрических параметров, в частности, увеличение межосевого расстояния приводит к повышению быстродействия и уменьшению времени поворота.

Наилучшее приближение к синусной моментной характеристике можно получить в пружинном аккумуляторе с гибким элементом, представленном на рис. 2.

Пружинные аккумуляторыимеют рабочий угол поворота $q = 2\pi$ и отличаются благоприятными динамическими режимами. В отношении плавности поворота пружинные аккумуляторы с углом поворота 2π являются идеальными. Применение таких пружинных аккумуляторов оправдано их малыми габаритными размерами и высоким быстродействием.

При анализе изменения геометрических характеристик пружинных аккумуляторов можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение межосевого расстоянияпружинного аккумулятораприводит к повышению быстродействия при заданной жесткости пружины. Однако приопределенных параметрах, время поворота уменьшается незначительно, что позволяет сделать вывод о нецелесообразности дальнейшего увеличения габаритных размеров привода.

2. При проектировании поворотных столов фасовочно-упаковочного оборудования без ограничения ускорения дляповышения быстродействияданы рекомендации по подбору геометрических параметров пружинных аккумуляторов. При ограничении ускорения следуетприменятьпружинные аккумуляторы, имеющий характеристики, близкие к характеристикам для синусного аккумулятора.

3. Использование пружинного аккумулятора, созданного на базе гибкого элемента, позволяет получать наилучшее приближение к синусной моментной характеристике, а также осуществлять различные компоновочные решения необходимые для различного технологического оборудования.

4. При фиксации поворотного звена в точке неустойчивого равновесияпружинные приводы применимы как для нереверсивного, так и для реверсивного движения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Семеноженков В.С. Разработка теории, методов проектирования и создание рекуператорных средств механизации кузнечно-штамповочного производства. Дис. ... д-ра техн. наук. Воронеж, 1999. 366 с.

2. Сысоев С.Н. Повышение эффективности вспомогательных операций в автоматизированных производствах на основе создания быстродействующих цикловых механизмов агрегатно-модульного типа.Дис. … д-ра тех. наук. Москва, 1999. 401 с.

3. Глушков А.А. Исследование и разработка быстродействующих поворотных цикловых приводов колебательного типа. Дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2006. 148 с.

4. Болотин Л.М., Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Механическая рука. А.с. 1323378 СССР, опубл.15.07.87, бюл. № 26, 4 с.

УДК 621.89.017, 621.892.5

Р.Л. Залещанский, В.В. Медведева, О.А. Мальцев
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК К ПЛАСТИЧНЫМ СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Для уменьшения трения и износа сопряженных поверхностей широко используют консистентные смазочные материалы с антифрикционными наполнителями. В качестве добавок часто используют так называемые геомодификаторы, к которым относятся дисперсные кварциты, серпентинит, тальк и др. Обработка поверхностей трения с помощью природных гидросиликатов зародилась во второй половине прошлого века и в настоящее время широко распространена в практике упрочняющей антифрикционной обработки тяжело нагруженных передач. [1]

Подавляющее большинство природных минералов непригодно для производства добавок к смазочным материалам из-за повышенного наличия абразивов, а также из-за несоответствующего элементного состава или структуры. Таким образом, используя гидросиликаты неизвестного состава можно получить отрицательный результат. В связи с этим существует необходимость дополнительных исследований данных дисперсных материалов на соответствие триботехническому назначению.

Для триботехнических целей часто ограничиваются применением в качестве геомодификаторов трения группой серпантинитов класса гидросиликатов магния. Однако в этот класс входит широкая группа минеральных соединении, имеющая схожий химический состав и совокупность свойств.

Цель работы – оценка противоизносных свойств пластичных смазочных композиций, содержащих дисперсные добавки гидросиликатов магния группы талькитов.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

1. Провести сравнительные исследования противоизносных свойств смазочных композиций, содержащих дисперсные частицы.
2. Выработать рекомендации по применению пластичных смазочных материалов с талькитами на основе полученных экспериментальных зависимостях.

В качестве базы для проведения исследований использовался консистентный смазочный материал Литол-24. В качестве добавок применялись минералы группы талькитов, химические составы которых представлены в табл. 1. Добавки вводились в количестве 0.05%, 1%, 5% и 10% от веса консистентного смазочного материала. Испытания выполнены на машине трения ЧШМ – 3,2 в соответствии с ГОСТ 9490-75.

Таблица 1. Химический состав талькитов

Исследуемая добавка	Вес.% оксида								
	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	CaO	CrO	FeO	NiO	Cu_2O
Талькит №1	31.31	0.5	62.10	0.10	0.10	0.11	2.20	0.55	0.41
Талькит №2	31.27	0.42	62.64	0.09	0.22	0.10	4.33	0.54	0.39

Для определения оптимального содержания гидросиликата магния в смазочной композиции построены графики зависимости интенсивности изнашивания стальных шаров ЧШМ-3,2 от концентрации порошков талькитов в Литол-24 (рис. 1).

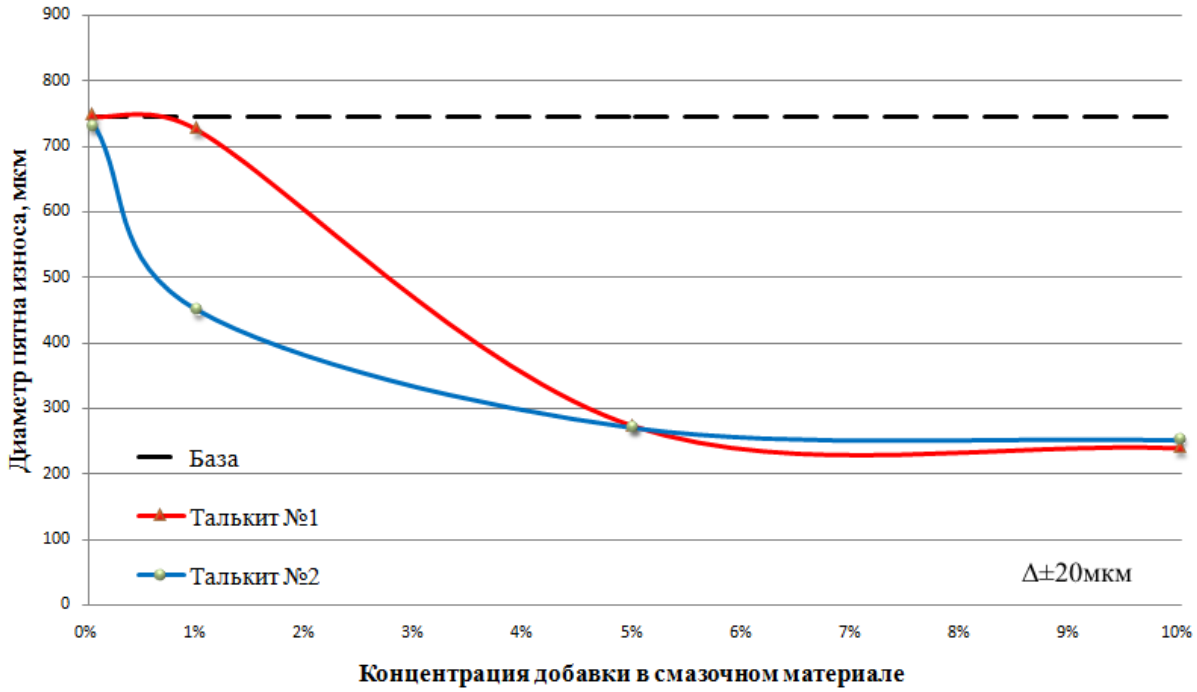


Рис. 2. График зависимости диаметра пятна износа от процентного содержания талькитов №1 и №2 в базовом смазочном материале Литол-24

Как видно из графика в диапазоне малых концентраций (0.05-5%) резкое снижение износа наблюдается у талькита №2. При 5% содержании талькитов показатель износа (диаметр пятна) для всех исследуемых добавок одинаков. Концентрация добавок свыше 5% показывает схожие результаты по уменьшению износа (разброс в пределах погрешности измерений).

Столь разное поведения добавок на малых концентрациях можно объяснить различием химического состава выбранных талькитов (см. табл. 1). Талькит №2 можно отнести к железистым минералам из-за большего содержания оксида железа. Как известно, способность частиц оксида железа к намагничиванию задерживает частицы модификатора в зоне трения. Смазочный материал уже в меньшей степени выдавливается из зоны контакта, а наличие дисперсных составляющих приводит к увеличению вязкости смазочной композиции, следовательно, несущей способности. [2]

Так же при сравнении химических составов образцов минеральных пород в образце талькита №2 наблюдается повышенное содержание оксида кальция. Положительное влияние этого химического соединения на износ может выражаться в его взаимодействие с основным загустителем Литол-24 (12-оксистеариновой кислоты) [3]. В процессе трения происходит нагревание смеси стеариновой кислоты, жирных кислот и оксида кальция:

$$2C_{17}H_{35}COOH + CaO \rightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Ca + H_2O$$

В результате этого взаимодействия образуется стеарат кальция, который часто применяется в качестве смазочно-стабилизирующей добавки и загустителя смазочных материалов. [4]

На основании полученных результатов экспериментальных исследований можно сделать следующий вывод:

Проведенные исследования показали высокую эффективность уменьшения износа посредством введения в консистентный смазочный материал дисперсных частиц талькитов.

Полученные результаты могут быть рекомендованы в качестве противоизносных добавок в пластичные смазочные материалы, при условии предварительного контроля химического состава используемых гидросиликатов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Маринич Т.Л. В природных зеркалах скольжения отражается наше завтра, / «Инициатива», СПб.: НТО КИ. №1. 1994. С. 7–15.
2. Погонышев В.А., Романеев Н.А. Исследование добавок к смазочным материалам / Вестник ФГОУ ВПО МГАУ № 1'2011.- С.76-77.
3. Медведева В.В., Бреки А.Д., Крылов Н.А. О механизме противоизносного действия смазочного композиционного материала, содержащего смесь гидросиликатов магния / Сборник трудов международной конференции «Современное машиностроение: Наука и образование MMESE 2016». — С.486-498.
4. Кнунянц И.Л. Химическая энциклопедия / М.: Советская энциклопедия, 1995.— Т.4.— 639с.

УДК 669:539.2: 621.791.9

В.М. Баданин, Н.Ю. Сахно, М.Н. Сурикова, Г.В. Цветкова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ НАПЛАВОК НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКИЕ СВОЙСТВА

Увеличение срока службы деталей машин и механизмов, их долговечности и надежности имеет большое значение. Для этого используют различные способы поверхностного упрочнения. Многослойные *наплавки* широко применяются в производстве разнообразных изделий – от крупногабаритных, например, валки прокатных станов, до мелких деталей типа лопаток смесителей. [1]. Применение наплавок из износостойких хромистых сталей системы Fe–C–Cr–Mn–Si–Ni–W–Mo, является эффективным способом повышения сопротивления абразивному изнашиванию на рабочих лопатках смесителей [2]. Недостатком высоколегированных наплавочных материалов является снижение пластических и прочностных свойств из-за структурной неоднородности по сечению наплавки и появления трещин, в процессе наплавки и при эксплуатации детали.

Цель настоящей работы заключалась в изучении структурно-фазового состояния многослойных наплавочных материалах для повышения износостойкости деталей машин.

Материалом для исследования явились 8 опытных износостойких наплавок, нанесенные на сталь 45 с помощью электродов типа УОНИ 13 под опытными флюсами с различными химическими составами системы Fe–C–Cr–Nb–Mo–V–B–Si–Mn (см. таблицу 1)[3].

Полученные наплавки обладали высокой концентрацией карбидообразующих легирующих элементов в твёрдом растворе по сравнению с содержанием углерода (ЛЭ / %С), вызывая твёрдорастворное упрочнение наплавочных материалов.

Износостойкость 8-ми наплавленных материалов изменялась от 0,63 до 5,89. Критерием оценки износостойкости (ε) являлось отношение весового износа эталона (сталь 45) к весовому износу исследуемого образца. Полученные структуры имели размер зёрен D_3 = 10…50 мкм, при твердости металла (26 – 61) HRC и микротвердости (3600 - 12500) H_{50}. В табл. 2 и на рис. 1, 2 наплавки расположены в порядке возрастания их относительной износостойкости (ε), в сравнении с микротвердостью (H_{50}), твердостью (HRC) и размером зерна (Дз).

Таблица 1. Химический состав исследованных материалов наплавок

ЛЭ	Номера наплавок							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C	0,8	1,8	0,9	1,7	0,8	1,5	0,8	1,6
Si	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Mn	0,7	0,8	0,9	0,7	0,5	0,8	0,7	0,9
Cr	7,1	6,7	6,6	6,3	10,0	10,4	9,6	10,3
Nb	2,0	0,5	2,2	0,4	0,5	1,8	0,4	2,4
Mo	7,8	4,4	4,4	7,3	7,6	4,5	4,3	7,7
V	2,7	2,6	1,1	1,0	1,2	1,1	1,6	2,7
B	0,05	0,25	0,25	0,05	0,25	0,05	0,05	0,32
□ ЛЭ	21,8	17,5	16,8	18,1	21,3	20,8	18,1	26,3
□ ЛЭ / %C	27,3	9,7	18,7	10,7	26,6	13,9	22,6	16,4

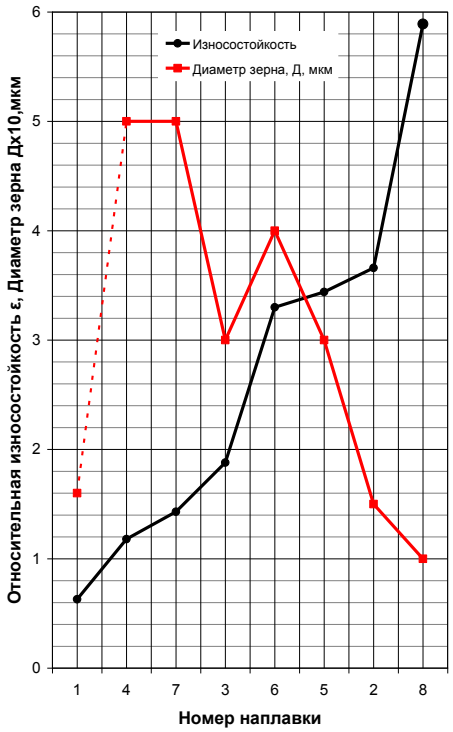


Рис. 1. Размер зерна исследованных наплавок по мере возрастания их износостойкости ε. (N - номер наплавки)

Наблюдалось ступенчатое возрастание износостойкости образцов наплавок 1, 4, 7, 3 (I ступень), 6, 5, 2 (II ступень), 8 (III ступень). Как видно из рис. 1, относительная износостойкость наплавок возрастала с уменьшением размера аустенитных зёрен (Dз), что вызывало зернограничное упрочнение наплавочных материалов. [4].

Металлографические исследования наплавочных материалов проводили с помощью оптического микроскопа ММР-4 (см. рис. 2). По мере увеличения износостойкости наплавок, в зернах и по границам, растет число вторичных фаз, меняется их размер и форма.

Образцы наплавки 1 обладали самой низкой износостойкостью (ε = 0,63). В их ферритокарбидной структуре отсутствовал аустенит, рис. 2, *а*.

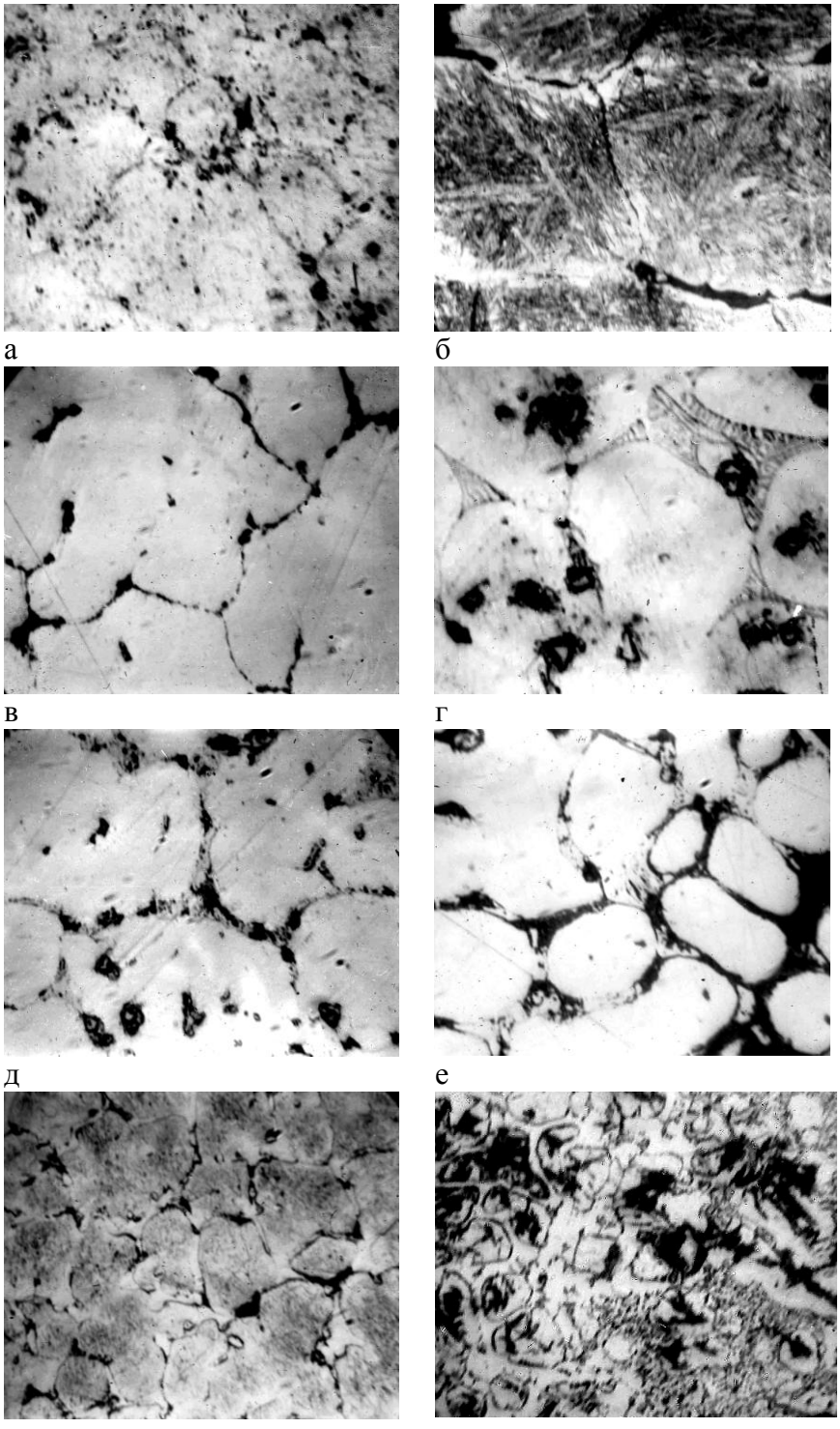


Рис. 2. Структура исследованных номеров наплавок (N) 1(а), 4(б), 7(в), 3(г), 6(д), 5(е), 2(ж), 8(к) по мере возрастания их износостойкости ε. х1000.

В структуре образцов наплавок 4, 7, 3, соответствующих I ступени повышения износостойкости (ε=1,18-1,88), по границам мартенситных зерен образовывались участки аустенита, в котором заклинивались крупные частицы рис. 2, *б - г*.

У образцов наплавок 6, 5, 2, *II* ступени повышения износостойкости (ε=3,30-3,66) по границам твёрдых зерен с мартенситной структурой, появилась окантовка из аустенита, который удерживал твердые частицы карбидов. Наплавки имели высокую износостойкость, рис. 2, *д-ж*.

Наплавка 8, соответствующая III ступени повышения износостойкости (ε = 5,89), имела структуру с мелкими зернами, окантованными аустенитом с большим количеством карбидов, которые обеспечивали наибольшее сопротивление абразивному изнашиванию, рис. 2, *к*.

Таким образом, износостойкость наплавочных материалов повышается не только с увеличением общего количества, твёрдости и размеров частиц упрочняющих фаз, но и с формированием оптимальной морфологии.

Таблица 2. Свойства исследованных материалов наплавок

Номер наплавки	Свойства исследованных наплавок			
	Размер зерна, Дз, мкм	Макротвёрдость, HRC	Микротвёрдость, H_{50}	Относительная износостойкость, ε
1	16	27,5	3600	0,63
4	50	50	10640	1,18
7	50	47	12140	1,43
3	30	60	8440	1,88
6	40	33,5	7450	3,3
5	30	55	12500	3,44
2	15	58	7740	3,66
8	10	61	7540	5,89

Максимальная износостойкость достигается при таком структурно-фазовом состоянии наплавок, когда мелкие зерна с мартенситной структурой, окружены пластичной аустенитной фазой с карбидами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гордиенко В.Н., Попов С.Н. Износостойкие материалы для защиты лопаток асфальтосмесителей - Строительные и дорожные машины. - 1988, №8, С. 18.
2. Лившиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла. Абразивный износ. М: Машиностроение, 1969, 186 с.
3. Скотникова М.А., Белов Ю.М., Сокирянский Л.Ф., Цветкова Г.В. Механические свойства и структура наплавленного износостойкого металла. // Металловедение и термическая обработка металлов, 1994, № 8, с. 20-23.
4. Цветкова Г.В., Скотникова М.А., Белов Ю.М., Крылов Н.А., Иванов Е.К. Структурное и фазовое состояние наплавочных материалов, предназначенных для рабочих лопаток смесителей // Научно-технические ведомости СПбГПУ, Спб, 2010, № 110, С.129-137.

УДК 921.01

Л.В. Ефремов. А.В. Тикалов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ

Актуальность. При изучении пар трения машин применяется широкий арсенал методов и средств, среди которых особый интерес вызывают виброакустические измерения. Различные модификации виброметров широко используются при диагностировании подшипников качения [1], но для пар трения скольжения они еще находятся на стадии экспериментального применения и в основном для решения ряда проблем науки о трении. В частности, возможность решить такую проблему появилась у нас при комплексных исследованиях методов искусственных баз путем испытаний круглых стальных дисков с колодкой на машине трения СМЦ-2 [3, 4].

Цели и задачи работы. Цель исследования заключалась в разработке методики оценивания коэффициента трения и износостойкости по вибрационным характронам при испытаниях на упомянутой машине трения. Прежде всего необходимо было решить задачу о

выборе диагностического параметра. В этом случае к таким параметрам относятся среднеквадратичные или пиковые вибрационные перемещения в мм, скорости в мм/сек или ускорения в м/сек^2, которые могут также выражаться через уровни вибрации в децибелах. Вторая наиболее важная задача состояла в определении диапазона частот в вибрационном спектре, где возникает составляющая звука именно от трения в зависимости от твердости и шероховатости поверхностей диска и колодки. В-третьих, необходимо было изучить зависимости этих параметров от скорости вращения и нагрузки пары трения.



Рис. 1.

Методы исследования. Для решения поставленных выше задач в первую очередь у поставщика фирмы ВАСТ (Вибро-Акустические системы и технологии) был приобретен виброметр СМ-21 (рис. 1), который является легким переносным прибором с питанием от встроенного аккумулятора предназначенным для измерения указанных выше параметров [1].

В состав оборудования виброметра входит основной блок с дисплеем и кнопками управления *1*, акселерометр с магнитным держателем *2*, наушники *4*, датчик оборотов *3* и кабели с креплениями *5*. Измеряемые вибрационные параметры при выборе варианта частотных диапазонов приведены в таблице 1.

Перед началом испытаний были замерены следующие исходные данные о диске и колодке: диаметр - 50 мм, ширина диска - 12 мм, ширина колодки -10 мм, твердость 100 НВ, шероховатость 2 Rz. Твердость поверхностей оценивалась прямо на рабочем месте ультразвуковым методом портативным твердомером NOVOTEST Т-УД2 со шкалами твердости по Роквеллу HRC, Бринеллю НВ и Виккерсу HV.

Таблица 2

№	Название	Частоты	Единицы измерения	Параметр
1	Низкая частота НЧ	2-1000 Гц	Ускорение м/с^2	СКЗ/Пик/Размах
		10-1000 Гц	Скорость мм/с	СКЗ/Пик/Размах
		10-2000 Гц	Перемещение мкм	СКЗ/Пик/Размах
2	Высокие частоты ВЧ	6.4 - 25 КГц	Ускорение м/с^2	СКЗ
		10 - 25 КГц		Пик
		15 - 25 КГц		Пик-фактор
3	Низкая частота НЧ (50-300) Средняя частота СЧ (300-1800) Высокая частота ВЧ (1800-10000)	50-300 Гц	Ускорение м/с^2 (дБА) Скорость мм/с (дБV)	СКЗ
		0.3-1.8 КГц		
		1.8-10 КГц		

Были подготовлены бланки для записи результатов каждого сеанса испытаний, которые характеризовалась тремя режимами нагрузки 2, 15 и 35 Н. При каждой нагрузке уровни вибрации измерялась при четырех вариантах частоты вращения 100, 200, 350 и 500 об/мин. Обороты контролировались датчиком оборотов 3 (рис. 1) и по прибору машины трения, наряду с величиной нагрузки.

При наладочном этапе испытаний в первую очередь был выбран оптимальный вариант диапазона спектральных частот по табл. 1. Изначально была принята гипотеза о том, что признаки трения должны проявляться в диапазоне высоких частот. Поэтому проверялась два варианта частот по разделам 2 и 3 таблицы 1. Сначала были отброшены варианты по разделу 2 из-за того, что показания СКВ и пиковых уровней ускорения резко и часто менялись. Это затрудняло фиксацию показаний. В итоге за основу был принят третий вариант одновременных измерений трех уровней виброускорений при НЧ (50-300 Гц), СЧ (0.3-1.8 КГц) и ВЧ (1.8-10 КГц). Отметим, что одновременно с записью вибрации прослушивался шум от нее с помощью наушников.

Результаты испытаний. Основные результаты испытаний при указанных выше условиях приведены в таблице 2.

Таблица 2

об/мин	$м/с^2$ при нагрузке 2 Н			$м/с^2$ при нагрузке 15 Н			$м/с^2$ при нагрузке 35 Н		
	НЧ	СЧ	ВЧ	НЧ	СЧ	ВЧ	НЧ	СЧ	ВЧ
100	0.244	0.246	0.129	0.235	0.36	0.17	0.3	0.4	0.25
200	0.305	0.62	0.23	0.35	0.66	0.44	0.35	0.7	0.50
350	0.46	1.27	0.5	0.47	1.3	0.7	0.5	1.37	1.1
500	0.7	2.17	0.82	0.7	2.2	1.2	0.7	2.2	1.7

Перед окончанием испытаний произошел задир узла трения при максимальной нагрузке 35 Н и 500 об/ми. Перед этим событием в наушниках возник сильный высокочастотный звук.

Различные варианты функциональных зависимостей, указанных табличных данных, были проанализированы в математическом редакторе MathCAD [0]. Наиболее наглядные и интересные корреляционные зависимости ускорения от частоты вращение при трех уровнях нагрузки приведены на рис. 2.

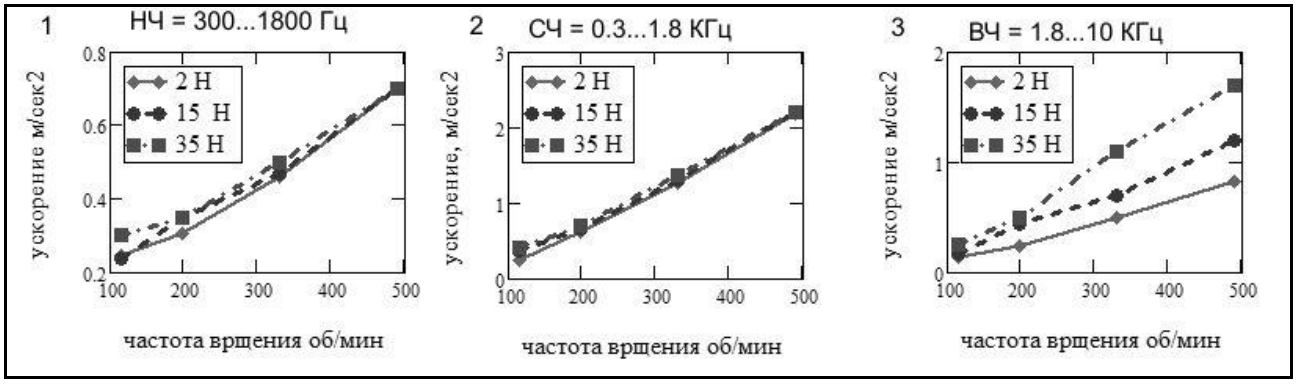


Рис. 2.

Рассмотрение этих графиков показывают, что уровни вибрации при низкой 1 и средней 2 частотах вращения практически совпали, т.е. они не зависят он нагрузки. Видимо источником этой вибрации является работа механизма машины трения. Очень важные выводы следуют из третьего графика для высокочастотной вибрации до 10 КГц, где кривые

явно зависят от нагрузки – чем она больше, тем более круто возрастает ускорение. Скорее всего источником высокочастотного «шуршания» при перемещении поверхностей тел в данном случае является их трение, которое естественно увеличивается при возрастании нагрузки. Как показывают предыдущие измерения вибрации при изучении износа от напильника [4] их уровень при ВЧ явно зависит от шероховатости и твердости поверхностей. Эта проблема требует дальнейшего исследования

Вывод. Приведенные выше результаты позволяют сделать однозначный вывод о возможности и целесообразности включения приборов для измерения высокочастотной вибрации [1] в арсенал средств исследования трибологических характеристик пар трения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: Учеб. Пособие. /СПб. СЕВЗАПУЧЦЕНТР, 2013. 152 с.
2. Ефремов Л.В. Проблемы управления надежностно-ориентированной технической эксплуатацией машин. СПб: Art-Xpress, 2015. 206 с.
3. Ефремов Л.В., Тикалов А.В. Измерение износов деталей машин в полевых условиях на основе метода искусственных баз // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 3. С. 237—242.
4. Ефремов Л.В., Тикалов А.В. Бреки А.Д. Ускоренные испытания стальных образцов на износостойкость методом искусственных баз // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 8. С. 671—676.

УДК 621.791

Д.В. Башилова, Е.А. Тарасенко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ «СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ»

В рамках подготовки студентов по специальностям направления «Прикладная механика» по кафедре «Машиноведение и основы конструирования» ИММиТ предусмотрены дисциплины «Теоретические основы повышения износостойкости и восстановления деталей машин», «Оборудование для повышения износостойкости и восстановления деталей машин»

Однимиз видов работ является лабораторный практикум по изучению оборудования для сварки трением с перемешиванием, режимов работы установки, характеристик материалов образов и их сварных соединений, методов теоретических расчетов для определения тепловой мощности при обработке, влияние режимов резания таких как скорость вращения инструмента, усилия и скорости подачи инструмента на распределение температуры в зоне сварного шва. Практикум проводится в Лаборатории легких материалов и конструкций научно-исследовательского центра сотрудничества Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого и Бранденбургского технического университета Котбус-Зефтенберг (Бранденбург, Германия)на установке импульсной сварки трением с перемешиванием МТ1. Оборудование используется для сварки трением с перемешиванием алюминиевых и медных сплавов, титановых сплавов, сталей и разнородных материалов.

Сварка трением выполняется без объемного плавления в зоне сварки за счет тепла выделяемого при трении. Большинство металлов и сплавов могут быть сварены между собой практически без потери прочности. Основными достоинствами сварки трением с перемешиванием является возможность сварки деталей из материалов различной природы, не свариваемых традиционными способами; сквозное сваривание; малая узкая нагретая

зона;высокое качество сварки за счет отсутствия пористости и включений; возможность сварки с высокой производительностью деталей сложной формы практически без газовых выделений; деталь после сварки требует минимальной механической обработки или может использоваться без нее, малый расход энергии (25…100 Вт на квадратный сантиметр шва) и минимальное машинное время сварки; экологическая чистота процесса. Ограничением применения данного вида сварки является сварка материалов имеющих неметаллические включения, например, сталей, содержащих серу. Режимы процесса сварки зависят от типа соединяемых материалов и отрабатываются экспериментально [1, 2].

На рис. 1 представлен схема сварки трением с перемешиванием. При сварке перемешиванием происходит локальное размягчение заготовок посредством тепла, выделяемого за счет трения вращающегося инструмента (без плавящегося элемента), благодаря чему происходит пластификация свариваемых материалов, позволяющая перемешивать их в зоне стыка [3, 4, 5].

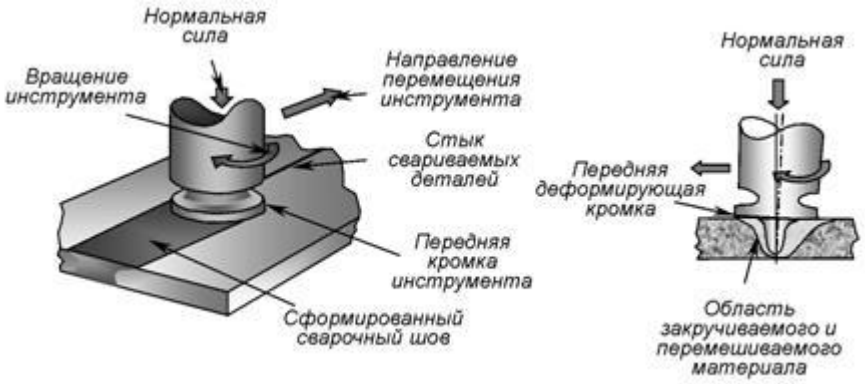


Рис. 1. Схема сварки трением с перемешиванием

Инструменты, применяемы для сварки представлены на рис. 2.



Рис. 2. Рабочие части инструментов: *а* – традиционная конструкция инструмента; *б* – инструмент для получения глубоких швов; *в* – инструмент со специальной формой торца

Основными параметрами сварки трением перемешиванием является :

1. скорость вращения инструмента;
2. характер вращения инструмента (вращательный, возвратно-вращательный, направление и скорости вращения наружных и внутренних частей инструмента);
3. скорость сварки;
4. конструкция, форма и геометрические характеристики рабочей части инструмента;
5. угол наклона инструмента к поверхности детали.

В ходе выполнения лабораторного практикума студенты изучают теоретические основы сварки трением с перемешиванием, оборудование для осуществления данного процесса, свойства свариваемых материалов, а также свойства материалов из которых изготовлены инструменты для сварки и их геометрические особенности (инструмент без или

с заплечиками). Студенты совместно с преподавателем и сотрудниками Лаборатории научного Центра проводят эксперимент и записывают необходимые для последующего расчета параметры: частоту вращения рабочего инструмента (затем определяют его угловую скорость ω), геометрические характеристики инструмента $R_{\text{плечо}}, R_{\text{пин}}, H_{\text{пин}}$, и марку сплава и значение его τ , коэффициент теплопроводности λ.

1. Рассчитывают тепловую мощность по формуле:

$$Q = \frac{2}{3}\pi\tau\ \ \omega\left((R_{\text{плечо}}^3 - R_{\text{пин}}^3) + R_{\text{пин}}^3 + 3R_{\text{пин}}^2 H_{\text{пин}}\right)$$

2. Рассчитывают распределение температуры в заготовке при помощи формулы для нагрева полубесконечного тела точечным источником тепла:

$$T(R) = \frac{Q}{2\pi\lambda R_{\text{плечо}}}$$

3. Сравнивают расчетную температуру с температурой, замеренной термопарами

4. Делают выводы о влиянии режимов работы установки на функцию распределения температуры в сварном шве.

Процесс сварки трением с перемешиванием является одним из самых перспективных направлений материаловедения и машиностроения и изучение данного процесса, направленное на совершенствование технологии и оборудования, позволяет подготовить интегрировать научный и образовательный процессы, осуществить фундаментальную подготовку практико-ориентированных инженеров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Friction stir welding for the transportation industries W.M. ThomasU, E.D. Nicholas TWI, Abington Hall, Abington, Cambridge CB1 6AL, UK / accepted 17 June 1997

2. Штрикман М.М. — Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений. Ч. 1,2,3 Сварочное производство № 9,10,11 (874,875,876) 2007

3. Friction Stir Welding – Process Developments and Variant Techniques. W.M. Thomas, I.M. Norris, D.G. Staines and E.R. Watts. Paper presented at SME Summit, Oconomowoc Milwaukee USA Aug 3rd – 4th 2005.

4. Fatigue of Friction Stir Welded 2024-T351 Aluminium Alloy D. Booth and I. Sinclair School of Engineering Sciences, University Of Southampton, Southampton, SO17 1BJ, UK

5. Friction Stir Welding – An Update on Recent Developments. W.M. Thomas, S.A. Lockyer, S.W.Kalee and D.G. Staines. From a paper presented at ImechE Stressed Components in Aluminium Alloys 2nd April 2003. Birmingham UK.

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА И ДИЗАЙН»

УДК 681.3.016

Д.А. Щемелинин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СОЗДАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА МОНИТОРИНГА ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С АЛГОРИТМОМ ГРУППИРОВКИ СОБЫТИЙ

Введение. Большинство IT компаний, обслуживающих информационные вычислительные среды, построенные по принципу «облака», сталкиваются с проблемой эффективности средств мониторинга с точки зрения визуализации состояний информационных систем (ИС). Обзор источников [1–3] показал, что существующие средства мониторинга не способны полностью удовлетворить требования обслуживающего персонала по группировке сообщений и подавлению так называемого шума событий, состоящего из множества триггеров, происходящих в ИС. Так, например, в ИС, состоящих из десятков тысяч виртуальных компьютерных серверов, отказ любой компоненты сетевого оборудования способен вызвать масштабный перерыв в предоставлении IT услуг. Однако системы мониторинга в случае подобного отказа отображают множество событий, обычно являющихся следствием, а не первопричиной поломки. Для обслуживающего персонала это ухудшает наглядность, затрудняет визуализацию и распознавание корневой проблемы из-за большого объема информационного шума на графическом интерфейсе мониторинга.

Цель работы. Практическое исследование и реализация графического интерфейса мониторинга облачной инфраструктуры с алгоритмом подавления информационного шума и группировки событий, происходящих в ИС, для непрерывного обеспечения различных телекоммуникационных сервисов клиентам через Интернет с минимальными операционными затратами.

Исследования проводились на виртуальном тестовом оборудовании распределенной вычислительной сети телекоммуникационной компании RingCentral Inc. (США), одной из крупнейших на мировом рынке Интернет услуг виртуальной телефонии для организаций малого и среднего бизнеса во многих географических зонах земного шара [4]. На начальном этапе исследований были изучены текущие бизнес процессы компании, используемое виртуальное и физическое оборудование, программные продукты и предоставляемые услуги RingCentral, средства управления и обслуживания облачных сервисов. После чего были поставлены и решены следующие научно-технические задачи:

1. Уменьшить общее число событий во время отказов компонентов ИС.
2. Повысить качество средств мониторинга с точки зрения визуализации корневой причины отказа ИС.
3. Уменьшить стоимость и время, затраченное на устранение поломок в ИС.

Для решения поставленных задач предложена и реализована новая технология построения среды мониторинга ИС, основанная на непрерывной интеграции используемых программно-инструментальных средств, – Zabbix API, Attlassian Jira, vCenter, MS MySQL, Laravel, собственное программное обеспечение на языке PHP. На интегрированном графическом интерфейсе (рис. 1) формируется сводный отчет в формате HTML, где весь информационный шум (как, например, триггеры C04 на рис. 1) представлен методами [5, 6] в виде иерархического дерева триггеров, сгруппированных под одним корневым событием.

Результаты. Основным результатом работы является создание графического интерфейса мониторинга облачной инфраструктуры с алгоритмом подавления шума и

группировкой событий, который служит единым центром мониторинга удаленных вычислительных ресурсов в облачной инфраструктуре и качественно отличается лучшей визуализацией происходящих в системе событий.

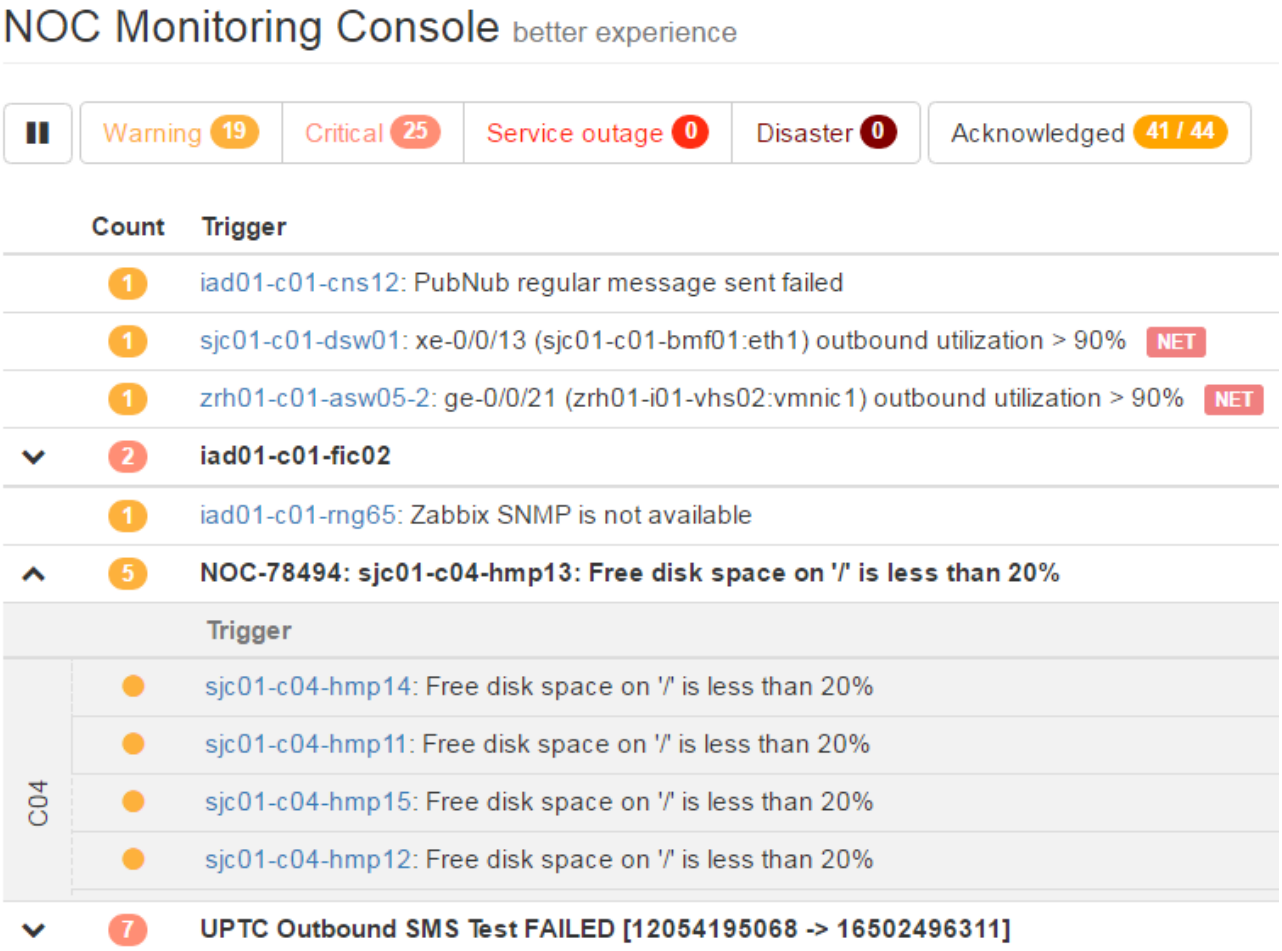


Рис. 1. Интегрированный интерфейс визуализации состояния ИС

Практическая реализация и внедрение нового графического интерфейса в крупной телекоммуникационной компании RingCentral позволили улучшить визуализацию системы мониторинга глобально распределенных процессов в режиме реального времени, повысить эффективность регламентного обслуживания ИС, экономить эксплуатационные ресурсы, снизить издержки на устранение неполадок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кучерова К.Н., Мещеряков С.В., Щемелинин Д.А. Сравнительный анализ систем мониторинга глобально распределенных вычислительных комплексов // Системный анализ в проектировании и управлении: Сб. науч. тр. XX Международной научно-практической конференции, Ч. 2, СПб, СПбПУ, 2016.– С. 303-309.
2. Сравнение систем мониторинга // Профессиональный блог Прудницкого, 14.11.2013. https://prudnitskiy.pro/2013/11/14/monitoring-comparsion/
3. Лавлинский Н.Е. Мониторинг сайта — отказоустойчивость и качество обслуживания // МетодЛаб, 2015. https://www.methodlab.ru/articles/monitoring_saita
4. RingCentral Inc. Official Web Site. http://www.ringcentral.com/
5. Мещеряков С.В. Сравнительный анализ вариантов организации иерархии в базах данных // Системы управления и информационные технологии.– 2009.– № 1 (35).– С. 34-37.

6. Мещеряков С.В., Иванов В.М. Реализация модели данных для описания иерархических объектов с произвольными атрибутами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление.– 2009.– № 1 (72).– С. 139-143.

УДК 539.12

К.Н. Кучерова, В.В. Ефимов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНИТОРИНГА ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Введение. В настоящее время с быстрым развитием и глобализацией облачных Интернет сервисов все более актуальной становится проблема повышения эффективности мониторинга и визуализации процессов на удаленных серверах в облачной инфраструктуре. Современные глобально распределенные информационные системы (ИС) состоят из десятков тысяч виртуальных машин, которые требуют все больше ресурсов на поддержку работоспособности, регулярное обновление, своевременное обнаружение сбоев и предотвращение отказов ИС. Для этого используются различные системы мониторинга [1], с помощью которых можно автоматизировать превентивное обнаружение ошибок, а также оценить остаточный ресурс работоспособности ИС и своевременно устранить проблему.

Цель работы. На основе анализа экспериментальных данных известных Интернет компаний разработать математические модели, которые позволяют улучшить визуализацию огромных массивов статистических данных и тем самым повысить эффективность мониторинга и точность прогноза.

Экспериментальные данные для анализа взяты в крупных международных IT компаниях RingCentral [2] и Genesys Telecommunications Laboratories [3], которые предоставляют Интернет услуги в различных регионах мира – Северной Америке, Западной Европе, Юго-Восточной Азии. В этих компаниях для контроля и обслуживания облачной инфраструктуры используется мониторинговая система масштаба предприятия Zabbix [4], свободно распространяемая и с открытым программным кодом. Поэтому эта система выбрана для реализации следующих моделей прогнозирования данных:

– Линейная: $y(t) = a + b\,t$; (1)
– Полиномная: $y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \ldots + a_n t^n$; (2)
– Степенная: $y(t) = a\,t^b$; (3)
– Экспоненциальная: $y(t) = a \exp(b\,t)$; (4)
– Логарифмическая: $y(t) = a + b \log(t)$. (5)

На первом этапе реализована линейная модель прогнозирования (1) и проверена на практическом примере всемирно известной проблемы утечки памяти в Java приложениях [5] (рис. 1). На следующем этапе реализованы нелинейные прогностические модели (2)–(5), для которых выбор оптимального варианта по критерию коэффициента корреляции $R^2 \rightarrow 1$ осуществляется по следующему алгоритму (рис. 2):

1. Определение метрики в системе мониторинга, которая будет использована для визуализации и прогнозирования.

2. Подбор математической функции (2)–(5), которая будет моделировать реальные данные. Этот процесс является итерационным и состоит в циклическом выполнении следующих операций до достижения максимально возможной точности R^2:

а). Выгрузка статистики из базы данных системы мониторинга и ее анализ любыми математическими средствами MS Excel, MathCad, Mathematica, R, WolframAlpha [6, 7, 8].

б). Выделение участков с периодами нормальной работы, деградации и появления аномалии для их отдельного анализа.

в). Построение прогностической модели на основе заданного типа математической функции и ее параметрических коэффициентов.

г). Вычисление коэффициента корреляции R^2 для заданной прогностической модели.

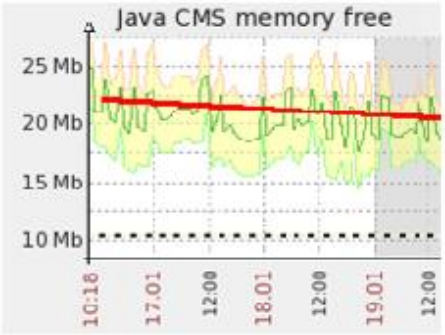


Рис. 1. Линейная модель прогноза

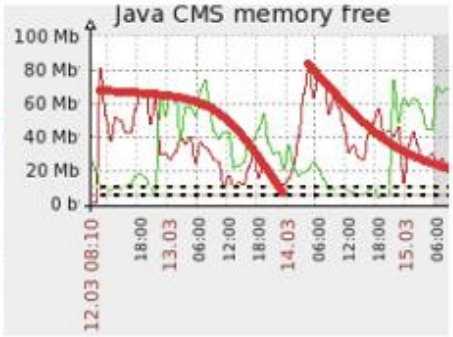


Рис. 2. Нелинейные модели

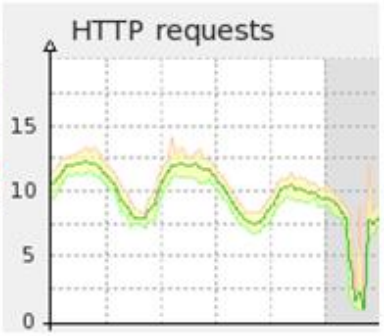


Рис. 3. Циклическая модель

3. Добавление в систему мониторинга новой метрики, которая вычисляется на основе прогностической модели данных, и задание видимого горизонта прогноза.

4. Настройка в системе мониторинга триггеров на автоматическое оповещение в случае прогнозирования аномалии в обозримом будущем.

В настоящее время этап 2 полностью автоматизирован и программно реализован в системе Zabbix, начиная с версии 3.0 [4]. На начальном этапе включения прогностических функций, а также в результате изменения рабочей нагрузки в процессе эксплуатации, в системе мониторинга может возникать шум по причине неточности прогноза и ложных срабатываний триггеров. Данная проблема решается отладкой логических выражений в триггерах либо выбором другой прогностической модели.

Результаты. В результате выполненных исследований разработаны и программно реализованы прогностические модели данных (1)–(5), которые покрывают статистическое большинство встречающихся в реальной практике распределений. Наличие прогностической функции на графике (рис. 1 и 2) улучшает визуализацию и зрительное восприятие больших данных в системе мониторинга. Дальнейшие исследования предполагается развивать в направлении разработки математического и программного обеспечения для случая циклической нагрузки (рис. 3), при которой ни одна из прогностических моделей (1)–(5) не эффективна по причине многочисленных ложных срабатываний вблизи точек экстремума (максимума или минимума).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кучерова К.Н., Мещеряков С.В., Щемелинин Д.А. Сравнительный анализ систем мониторинга глобально распределенных вычислительных комплексов // Системный анализ в проектировании и управлении: Сб. науч. тр. XX Международной научно-практической конференции, Ч. 2, СПб, СПбПУ, 2016.– С. 303-309.

2. RingCentral Inc. Official Web Site. http://www.ringcentral.com/

3. Genesys Telecommunications Laboratories Inc. Official Web Site. http://www.genesys.com/

4. Прогнозирующие функции триггеров // Zabbix Documentation 3.0. http://www.zabbix.com/documentation/3.0/ru/manual/config/triggers/prediction

5. Mescheryakov S., Shchemelinin D. Capacity Management of Java-based Business Applications Running on Virtualized Environment // 39th Intern. Conf. by CMG, La Jolla, USA, 2013. http://www.cmg.org/conference/
6. Wolfram Mathematica Computations http://www.wolfram.com/mathematica/
7. Мещеряков С.В. Сравнительный анализ вариантов организации иерархии в базах данных // Системы управления и информационные технологии.– 2009.– № 1 (35).– С. 34-37.
8. Мещеряков С.В., Иванов В.М. Реализация модели данных для описания иерархических объектов с произвольными атрибутами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление.– 2009.– № 1 (72).– С. 139-143.

УДК 7.02

А.Л. Михайлова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИК ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ СО СХОЖИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ КОНВЕРТАЦИИ ДВУХМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ТРЕХМЕРНУЮ СЦЕНУ

Работа является вводной к серии статей по формализации и обобщению различных методик послойного разделения плоского изображения и частью большой работы по адаптации технологий конвертации плоских многослойных растровых изображений в псевдотрехмерные анимированные сцены.

Более конкретно речь идет о проблеме сегментации, трактуемой как стадия автоматического выделения на изображении, доступных для анализа и распознавания вложенных изображений, именуемых объектами, которые обнаруживает на исходном изображении компьютер. Допускается, что в общем случае, пиксели объекта составляют на изображении кластер из того или иного числа несмежных связных сегментов [1].

Необходимо отметить важность разрабатываемых методик в современных реалиях — технологии компьютерной графики развиваются с максимально возможными темпами в связи с невероятной востребованностью в различных областях деятельности человека: это и медицинская сфера, и обучение, и различные музейные инсталляции, и бизнес, и многое другое. Технологии, позволяющие воспроизвести трехмерную составляющую — наиболее используемые, с их помощью разработчики имеют возможность приблизить восприятие той или иной информации к близкой для человека трехмерной форме [2].

Исходя из того, что человек так или иначе видит трехмерно, есть практический смысл в том, чтобы подавать информацию (особенно графическую) в подобном виде. Таким образом, возможно значительно увеличить эффективность и скорость восприятия комплексных данных.

В данном цикле работ конвертация двухмерных изображений в псевдотрехмерные сцены будет происходить на примере произведений искусства — картин известных классических художников. Можно долго спорить об уместности подобных экспериментов в мире классического искусства, однако очевиден факт, что картина одновременно является и плоскостью, и репрезентацией трёхмерного пространства. Это признаётся всеми без исключения исследователями, но, как правило, при этом плоская и пространственная составляющие не считаются равноправными: обычно первый аспект рассматривается лишь как средство для конструирования второго. Зритель может сильнее всего ощутить себя вовлечённым в геометрию картины, когда его позиция совпадает с положением наблюдателя, что соответствует правилу двойной ширины в живописи и концепции нормальной съёмочной оптики в фотографии и кино [3].

Итак, существует возможность максимального вовлечения зрителя в пространство плоского изображения, вне зависимости от ракурса посредством трехмерной реконструкции трехмерного пространства, возникает вопрос — как именно получить трехмерную составляющую? Создание объектов с помощью средств трехмерной графики невозможно без глубокого понимания сущности форм объектов и расположения этих объектов в пространстве. В связи с этим, в качестве варианта в предыдущих статьях и пособиях предложен метод ручного послойного разделения художественных произведений [4], [5].

Однако подобный метод применим далеко не во всех ситуациях. Часто, ручная работа по разделению изображения по слоям невозможна, либо требует огромных временных затрат. Поэтому необходимо разработать более автоматический и универсальный способ, который позволял бы разделять изображения на объекты. Критериев для отделения областей растрового изображения могло бы быть несколько: анализ графической составляющей по цветам пикселей, по визуальному признаку, по размеру объектов, по перспективным искажениям, руководствуясь физической моделью в оптике.

В литературе описано достаточное количество различных алгоритмов анализа изображения по цветам пикселей. Алгоритм, который определяет отношение пикселя к заданной области, называется «Выращивание регионов, дробление-слияние». Смысл метода в том, чтобы постепенно добавлять к определённой области пиксели, удовлетворяющие характеристикам области. Для присоединения пикселя к области существует несколько алгоритмов. Это и алгоритм «k-средних», и «watershed» алгоритм. Смысл алгоритмов определить критерий, границу, по которой будет происходить отбор пикселей [6].

Несмотря на то, что данные методы просты в реализации и дают конкретный результат, они учитывают распределения пикселей по значению, не учитывая геометрические и пространственные характеристики. Минус такого подхода в том, что присутствует большая вероятность того, что часть области изображения по цветовым характеристикам будет различаться от родительской, однако по факту должна будет принадлежать ей (чаще всего подобная ситуация будет возникать в случаях, когда внутри одного слоя будут встречаться контрастные сочетания цветов).

В таком случае будет уместно применять ряд дополнительных критериев, приведенных выше, например, критерий визуальной принадлежности. В случае, если в алгоритм послойного разделения внести фактор прямого человеческого воздействия (примерный выбор пользователем областей различных слоев), итог автоматического разделения будет на порядок более качественным.

Также результат значительно улучшится при добавлении в алгоритм разделения опции выбора объектов по размеру и перспективным искажениям. Однако внедрение столь сложных математических расчетов в базовый алгоритм может значительно увеличить время обработки изображения и затруднить анализ областей со смазанными или сближенными цветами пикселей. Исходя из этого функции анализа объектов по размеру и перспективным искажениям следует сделать опциональными, т. е. активировать их исключительно по запросу пользователя, который сам будет оценивать качество и особенность художественного произведения и необходимость применения тех или иных алгоритмов.

Последний критерий выделения областей изображения, который следует упомянуть, это — критерий разделения изображения, основанный на физических моделях в оптике. Это, несомненно, наиболее проблемный с точки зрения математики и программирования критерий, который требует длительной проработки и на данном этапе является исключительно теоретическим. Основная идея применения данного критерия состоит в том, чтобы использовать реальные оптические явления в качестве базы для отделения различных планов изображения. Например, понятие «воздушной перспективы», которая характеризуется исчезновением четкости и ясности очертаний предметов по мере их

удаления от глаз наблюдателя. При этом дальний план характеризуется уменьшением насыщенности цвета (цвет теряет свою яркость, контрасты светотени смягчаются), таким образом — глубина кажется более светлой, чем передний план [7].

Результаты. Таким образом, на данный момент разработан набор критериев и примерный порядок их применения для разбиения растрового изображения послойно, в зависимости от различных цветовых значений пикселя. Часть из вышеописанных этапов уже имеют математическое описание и без затруднений внедряются в любую разработку, часть требует совершенствования и контроля пользователя, однако методика включает в себя множество критериев (что позволит максимально избавиться от ошибок) и является крайне перспективной, т. к. при должной реализации и доработке приведет к результату сравнимому с ручной работой.

В рамках настоящей работы написан и находится на стадии тестирования алгоритм анализа изображения по цветам пикселей. Алгоритм основывается на поканальном (анализируется отдельно каждый канал модели RGB — красный, зеленый и синий) исследовании всех пикселей изображения. За базу берется предположение о том, что большое количество пикселей одного цвета в том или ином канале, скорее всего, принадлежит к одной логической области изображения (например, обилие пикселей в зеленом канале говорит о том, что они преимущественно находятся в области, где на художественном произведении располагается травяной покров, синих — небо, вода и т. п.). После того, как изображение делится на области, согласно предположению выше, используется метод наращивания областей, для того, чтобы учесть участки с плавным переходом цвета. Последним этапом (в настоящий момент он находится в фазе разработки) необходимо создать обучающуюся систему, которая на базе массива изображений будет корректировать области наращивания, в зависимости от цветовых различий рядом стоящих пикселей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Харинов М. Кластеризация пикселей для сегментации цветового изображения [Текст] / «Программирование». Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН) — Москва.: «Наука», 2015. —Т.41. №5. — С. 258-256.

2. Рожков С.Н., Рожкова Г.И., Грачева М.А. Стереоскопическое зрение: основные термины. [Текст] / Мир техники кино. 2016. № 2. С. 26-32.

3. Филиппов С. Что мы видим в глубине картины? Природа и функции пространственности в плоских визуальных искусствах. [Текст] / Артикульт. 2011. № 1. С. 188-243.

4. Автюшенко А.Л., Стрелков С.В. Мультимедиа и компьютерная графика в цифровом искусстве [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по программам магистерской подготовки по направлению "Digital Art" / Москва : Аватар, 2015. - 171 с.

5. Автюшенко А.Л., Иванов В.М. Разработка и адаптация технологий конвертации двухмерного изображения в трехмерную сцену [Текст] / Неделя Науки СПбПУ. Научный форум с международным участием, материалы научно-практической конференции. Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ. / Издательство: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" (Санкт-Петербург) 2015. – С. 146-149

6. Выделение областей изображения со схожими цветовыми характеристиками [Электронный ресурс] / Работа для программистов. Вакансии, вопросы статьи. Режим доступа: http://job-interview.ru/articles/post/362 — Загл. с экрана. — На рус. яз.

7. Алексеев П.К., Короткова А.Л. Основы изобразительной грамоты [Текст] / Учебное пособие. СПб: НИУ ИТМО, 2011. – 70 с..

УДК 004.514

В.В. Гололобов, П.А. Орлов, В.В. Лаптев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОБЛЕМЫ МАСШТАБИРОВАНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Введение. Термин «генерализация» происходит от французского слова generalization — обобщение, которое в свою очередь являются производным от латинского слова generalis, что значит общий, главный. Лингвистические корни хорошо выражают картографическую сущность генерализации [1].

По мере уменьшения масштабов рисунок местности становится более мелким и потому трудно читаемым. Для сохранения наглядности изображения необходимо устранить второстепенные элементы местности, а также обобщить и обеспечить выразительную передачу ее основных черт и особенностей. В этом основной смысл картографической генерализации — отображение картографируемой части действительности в ее основных типических чертах и характерных особенностях. Понимание карт как моделей геосистем или их частей позволяет увидеть в генерализации средство к выделению их главных элементов, связей и процессов, а также путь к отображению систем более высокого ранга и получение о них качественно новых знаний в результате абстрагирования и устранения информации, излишней для анализа этих систем. Таким образом, генерализация будет различной для различных масштабов, что делает ее неотъемлемой частью масштабирования.

Одно из основных противоречий процесса картографической генерализации состоит в частом нарушении геометрической точности, так как в ходе генерализации происходят изменения и смещения контуров и линий, исключение или объединение некоторых объектов, преувеличение характерных деталей — все это не может не сказаться на геометрической точности картографируемого изображения.

Но что, если вообще не использовать генерализацию данных? На карте мелкого масштаба, охватывающей значительное пространство, детали теряют значение и, если их сохранить, затруднится восприятие основного содержания. Изобразить местность во всех масштабах с одинаковой подробностью и насыщенностью невозможно. Неизбежно исключение деталей и менее значимых объектов, возрастающее по мере уменьшения масштаба. Кроме того, высокая детализация на картах мелкого масштаба в большинстве случаев попросту не востребована. Также отсутствие генерализации карты вызывает трудности восприятия всего разнообразия информации [2]. Это связано с наличием большого числа объектов, одинаково отображаемых на топографических картах, которое необходимо отобразить на небольшой площади. Карта оказывается перегружена информацией, и это основная проблема, которую генерализация решает. Нельзя забывать и о факторе, учитывающем особенности картографируемой области. Ярким примером генерализации может служить ситуация, когда при спортивном ориентировании на местности, в труднопроходимом лесу находится контрольный пункт, поляна размером 10 на 10 метров. Визуально это вполне чёткая поляна, но изобразить её невозможно, так как при масштабе 1:10000, на карте она займёт не более одного миллиметра, что весьма недостаточно для нанесения её на карту [3].

Актуальность. В XX веке человек от генерализации, иными словами от упорядочения и унификации накопленных сведений смог приступить к их концептуальной организации в виде различных глобальных систем хранения и использования информации. Так появились геоинформационные системы (ГИС) — системы сбора, хранения, обработки, доступа, анализа, интерпретации и графической визуализации пространственных данных [4]. Используя передовые возможности систем управления базами данных и обладая

широчайшим инструментарием для проведения аналитических операций, ГИС зарекомендовали себя в качестве эффективного средства решения задач в области картографии, геологии, муниципального управления, землеустройства, экологии, транспорта, промышленности, сельского и лесного хозяйства.

Взаимодействие с ГИС традиционно осуществляется с помощью масштабирования, приближения или отдаления, и перемещения, влево-вправо-вверх-вниз. Масштабирование осуществляется тремя способами: через интерфейс пользователя, частично загораживая рабочую область, с помощью устройств ввода, используя клавиатуру либо же колесико мыши. Некоторые пользователи испытывают неудобства в ситуациях, когда расстояние между объектами требует использования меньшего масштаба, а сами объекты отображаются на более крупном масштабе. Например, портал «Спутник» с целью не столкнуться с избытком информации при доступных уровнях масштабирования от 3 до 19 начинает отображать кафе и рестораны только на 17-18 уровне [5]. Позиционироваться в городе пользователю также удобно на этих уровнях. Но, когда расстояние от пользователя до кафе достаточно велико, смотреть на карту нужно на уровнях 15-16, чтобы видеть текущую и целевую позиции (Рис. 1). Все это вынуждает пользователя слишком много использовать масштабирование с перемещением. В такой ситуации удобным будет использование различных уровней генерализации на одном экране одновременно.

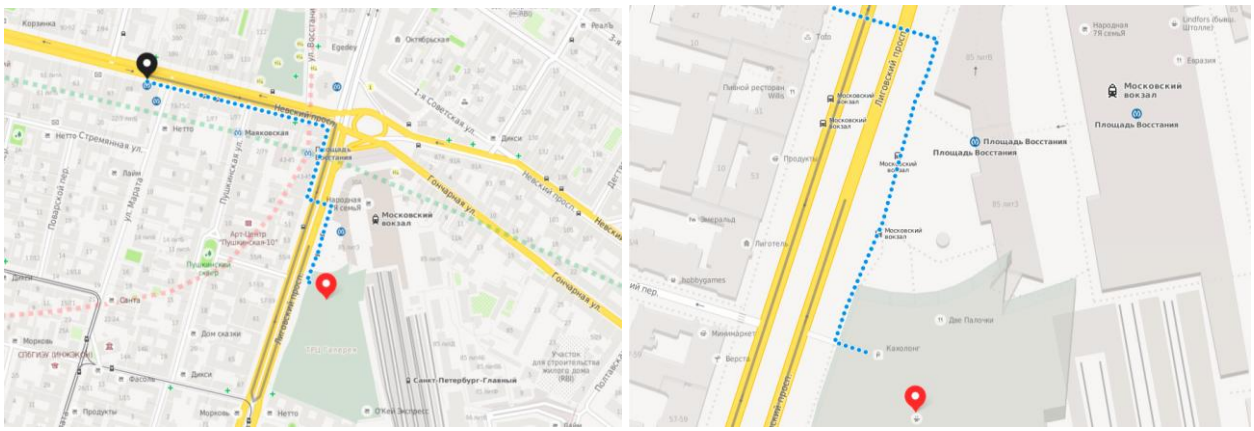


Рис. 1. Масштаб, при котором отображаются кафе, и при котором виден весь маршрут

Составить конкуренцию существующим традиционным методам взаимодействия с ПК могут глазодвигательные интерфейсы — современные пользовательские интерфейсы, некоторые функции которых или управление которыми осуществляются взором пользователя с помощью специфических технических устройств [6]. Разработка подобных интерфейсов стала возможна благодаря бурному развитию технологий бесконтактной регистрации движений глаз.

Результаты. Соединив интерфейс, использующий несколько уровней масштабирования в зависимости от удаленности от положения курсора, управляемого мышью, и изображений из ГИС, был создан прототип (Рис. 2), который призван проверить эффективность такого интерфейса в ситуациях, подобных описанным выше.

Проверить эффективность представленного интерфейса путем вычисления скорости решения поисковых задач и количества ошибок на представленном прототипе, взаимодействуя с ним с помощью мыши, а затем и взгляда, добавив к прототипу интерфейс, чувствительный к положению взора на экране, ориентирующийся на некомандную парадигму взаимодействия, и сравнить полученные результаты с результатами решения поисковых задач в ГИС, используя текущий их интерфейс. Конечной целью является разработка из прототипа полноценного приложения, способного решать широкий спектр

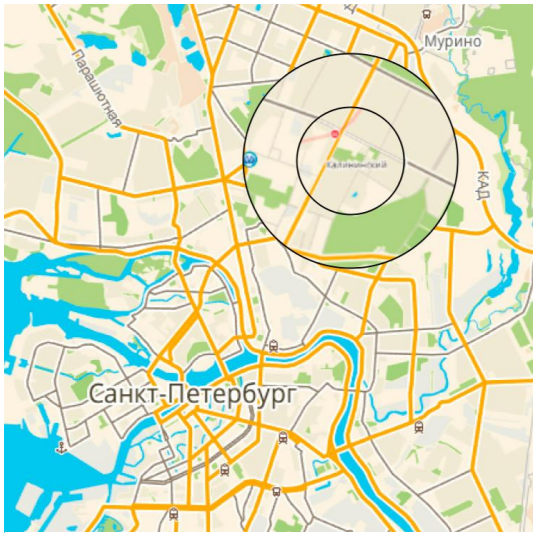


Рис. 2. Изображение прототипа

задач на картах, используя глазодвигательный интерфейс, основываясь на принципе использования различных уровней масштабирования одновременно, с целью развить эффективность некомандных глазодвигательных интерфейсов ближайшего будущего.

Вывод. Масштаб играет важную роль в генерализации карт, именно от масштаба зависит, что изображается на карте, в соответствии с методами генерализации. При взаимодействии с ГИС возникают ситуации, в которых эффективность текущих методы масштабирования подвергается сомнению. Разработанный прототип приложения призван проверить интерфейс, в котором в зависимости от положения курсора используется несколько уровней масштабирования одновременно.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Салищев, К.А. Картоведение: Учебник, - М., 1990 г. – 400 с.
2. Кочуров, Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. – М., 1999 г. – 86 с.
3. Генерализация карты, и её значение в спортивном ориентировании [Электронный ресурс], URL: http://lugasport.info/2015/01/generalizaciya-karty-i-eyo-znachenie-v-sportivnom-orientirovanii
4. Капралов, Е.Г. Геоинформатика: учеб. для студ. вузов / Капралов Е.Г., Кошкарев А.В. – М., 2005 г. – 480с.
5. «Спутник/Карты» в новом стиле [Электронный ресурс], URL: https://habrahabr.ru/company/rostelecom/blog/280159/
6. «Новый подход к проблеме «прикосновения Мидаса»: идентификация зрительных команд на основе выделения фокальных фиксаций» / Б.Б. Величковский, М.А. Румянцев, М.А. Морозов // Вестник Московского университета, серия 14: психология, №3, - М., 2013 г. – 33-45с.

УДК 7.048.38

А.Н. Кольцова, С.В. Стрелков
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ КЕЛЬТСКОГО ОРНАМЕНТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМА ЕГО АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Введение. Кельтский орнамент зародился до IV века до н.э. Исследователи всего мира по сей день изучают его, выискивая новые закономерности и интересные особенности. Они изучают структуру орнамента, его математическую составляющую для того, чтобы разработать алгоритмы построения. В результате этого алгоритмы были разработаны, причем такие, которые позволяют строить его как вручную, так и автоматически [1]. Они нужны для быстрого, корректного и удобного создания орнамента. Данное исследование необходимо для того, чтобы понять, как генерировать орнамент не только на плоскости, но и в трехмерном пространстве, например, на украшениях. Основная задача состоит в том, чтобы выявить параметры, на основании которых можно построить орнамент в объеме. Это актуально для автоматического создания украшений с кельтским орнаментом, которые в дальнейшем можно печатать на 3D-принтере.

Предпосылки формирования кельтского орнамента. Кельтские орнаменты — это символические карты Пути. Законы кельтов строго запрещали совершенствовать или менять ключевые детали орнаментов, считая, что их дали боги. Каждый орнамент составлен из отдельных узлов. Каждый узел создается из отдельной нити — нити жизни. Нить жизни, нить орнамента нигде не прерывается, она переходит из одного элемента в другой, а потом, через множество переплетений, возвращается обратно. Это символ непрерывности и связи всех вещей во вселенной.

Характеристика элементов кельтского узора. Информации по данному вопросу много, но она не структурирована, поэтому имеет смысл собрать ее воедино и выстроить последовательность.

Согласно В.И. Ивановской в книге [2] кельтские орнаменты составлены из отдельных элементов. Линейный орнамент использовался для улучшения эстетического вида. Таким узором украшали посуду, вазы, кольца, браслеты и т. д. Геометрический прямоугольный использовали для обрамления орнамента, а также на браслетах, поясах и т. п., где узор представляет собой длинный прямоугольник.

Спиральный орнамент использовали повсеместно: начиная со всевозможных украшений посуды [3] и заканчивая культовыми предметами [4]. Спирали символизируют духовный рост. Кельтские спирали обычно тройные. Это демонстрирует тройственную природу духа, сконцентрированную в центральной точке, фокусе.

Крест, или плетенка, символизируют Путь, земной и духовный, лабиринты. Символ непрерывности и связи всех вещей во вселенной. Крест является универсальным древним символом союза небесных и земных сил, мужского и женского начала. Концы кельтского креста символизируют бесконечное духовное расширение сознания. Внутренний круг символизирует объединение и консолидацию земных и небесных сил в центральной точке, источнике духовной энергии.

Зооморфные мотивы – это символы магических сил. Например, змея – целительные силы, связь с водной стихией; олень – солнечное животное, символизирующее Древо Жизни; лошадь – символ Эпоны и Махи, богинь плодородия.

Ручное построение конструкции орнамента. С практической точки зрения наиболее интересны линейный и прямоугольный орнаменты. Для их построения и отрисовывания от руки существует алгоритм (см. рис. 1). Он заключается в следующем:

1. Построить каркас.
2. На его основании наметить линии.
3. Придать им объем.
4. Определить последовательность пересечений нитей между собой.

Рисовать орнамент от руки бывает неудобно, этот процесс трудоемкий, к тому же результат не всегда получается таким, как автор задумывал. Исходя из этих причин, имеет смысл строить кельтский орнамент автоматически.

Автоматическая генерация конструкции орнамента. Орнамент строится на основании планарного графа. Согласно статье [1] его можно построить по алгоритму Мерката, описанному ниже.

1. Построить планарный граф.
2. Найти серединные точки на каждом ребре.
3. Пометить их крестиками (см. рис. 2).
4. Выстроить нити, которые составляют узор, путем соединения пометок.
5. Придать нитям объем.
6. Подсчитать последовательность пересечения нитей и смещение значений их высот, в соответствии с их пересечениями.

В результате анализа элементов кельтского узора, например, на рис. 2, и рассмотренных алгоритмов можно определить 6 основных параметров, на основании которых будет автоматически генерироваться орнамент в трехмерном пространстве.

1. Размер изделия, которое пользователь хочет получить.
2. Длина узора.
3. Ширина узора.
4. Ширина границ узора, т.е. пользователя есть возможность выбрать сплошное покрытие орнаментом или узор в виде рамки (а также выбрать толщину этой рамки).
5. Тайлинг (англ. *tiling*), т.е. орнамент может тайлиться (повторяться) либо только вертикально, либо только горизонтально (см. рис. 1), либо одновременно горизонтально и вертикально.
6. Симметричность, т.е. узор может быть симметричным относительно центрального элемента (если ширина нечетная), и относительно центра (если ширина четная). Кроме того, узор может отражаться либо только по вертикали, либо только по горизонтали, либо и по вертикали, и по горизонтали, например, как на рис. 2.

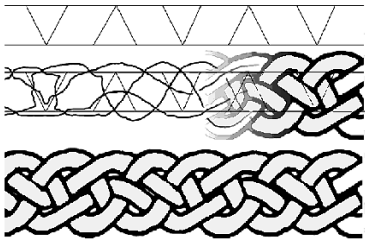


Рис. 1

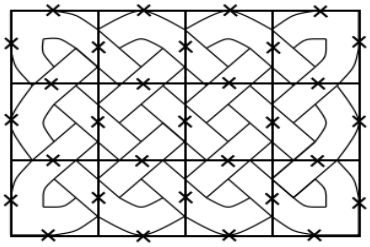


Рис. 2



Рис. 3

Для проверки правильности построения воспользуемся знаниями из статьи [5]. Существуют теоремы, используя которые можно верифицировать орнамент, в зависимости от его типа. Нам необходимо посчитать количество компонент в базовой конструкции орнамента.

Теорема. Число компонент в прямоугольном (см. рис. 3) орнаменте размера *pxq* равняется наибольшему общему делителю *НОД(p,q)*.

Доказательство: каждому типу орнамента сопоставляется способ построения перестановки. Этот способ хорош тем, что в получившейся перестановке количество циклов равно количеству компонент.

Выводы. Таким образом, в кельтском орнаменте есть упорядоченная структура и упорядоченные элементы. Кроме того, он имеет модульную структуру. На основании анализа были выявлены следующие параметры: размер изделия, длина и ширина узора, ширина границ узора, тайлинг, симметричность узора. Все это является предпосылками для его автоматической генерации в трехмерном пространстве, что в дальнейшем позволит быстро и эффективно подготавливать изделия к печати на 3D-принтере.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kaplan M., Cohen E. Computer generated celtic design //Rendering Techniques. – 2003. – Т.3. – С. 9-19.
2. Ивановская В.И. Кельтские орнаменты: Монография. – М.: Изд-во В. Шевчук, 2003. – 287 с
3. Bain, G., Celtic Art: The Method of Construction, Dover, New York, 1973
4. Laing, L. and J., Art of the Celts, Thames and Hudson, London, 1992
5. Fisher G. et al. On the topology of celtic knot designs //Proc. Bridges Conference: Mathematical Connections in Art, Music, and Science. – 2004.
6. Cromwell, P.R., "Celtic Knotwork: Mathematical Art", Mathematical Intelligencer, Vol. 15, No. 1, 1993, pp. 36-47.

УДК 004.514

А.И. Ильин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ДИЗАЙН ВИЗУАЛЬНЫХ ЗНАКОВЫХ СИСТЕМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

Сегодня мы ежедневно взаимодействуем с десятками различных интерфейсов, с их помощью решаем огромный диапазон задач той или иной степени сложности. Вы не задумываясь регулируете температуру и напор воды в кране, возможно, совершенно инстинктивно переключаете каналы телевидения на пульте, многие из нас управляют курсором мыши точнее и чаще, чем карандашом. Интерфейсы настолько глубоко вплелись в нашу жизнь, что мы, порой, не обращаем внимания на их использование – и это один из главных критериев качества интерфейса. Если инструмент становится продолжением вашей руки, если вы перестаёте замечать его во время работы, значит это хороший инструмент. То же самое можно отнести и к визуальным коммуникациям. Например, стандарт «ISO 7001» поможет вам без проблем сориентироваться в аэропорту или любом другом общественном месте по пиктограммам, даже если вы не знаете языка [1]. В идеальных условиях такая визуальная коммуникация должна происходить интуитивно, но так происходит не всегда.

Ключевое влияние на развитие графических знаковых систем в начале XX века оказали художник-график Герд Арнтц и философ Отто Нейрат в своей работе «Isotype» (International System of TYpographic Picture Education) [2]. Фактически, они стремились создать максимально упрощённый интернациональный графический язык, который будет способствовать максимально быстрому распространению информации во всём мире, вне зависимости от культуры и языка.Однако, Isotypeни в коем случае не был полноценным языком, а рассматривался лишь как дополнительный коммуникационный элемент в процессе обучения или просто восприятия информации. Уже тогда, на заре становления инфографики, обозначились проблемы восприятия графических данных: схематичные иллюстрации просты в исполнении, но могут иметь разную трактовку; детальные иллюстрации и фотографии более конкретны, но неудобны в производстве и тиражировании; текст имеет однозначную трактовку, но создаёт языковой барьер, к тому же уступает в наглядности. Позже разработки Герда Арнтца и Отто Нейрата легли в основу современных визуальных знаковых систем, таких как стандарт «ISO 7001». Они так же оказали влияние на всю современную культуру визуальной коммуникации и, как следствие, пользовательских интерфейсов, являющихся продуктом данной культуры.

В конце XX века происходит переломный момент в истории интерфейсов: графические знаковые системы становятся электронными, и, как следствие, интерактивными. Первые компьютерные пользовательские интерфейсы были текстовыми в силу вычислительной возможности техники тех времён. Текстовый интерфейс имеет ряд преимуществ в юзабилити перед графическим интерфейсом, поэтому программы с текстовым интерфейсом создаются и используются по сей день, особенно в специфических сферах и на маломощном оборудовании. Недостатком подобного типа интерфейса является ограниченность изобразительных средств по причине ограниченности количества символов, включённых в состав шрифта, предоставляемого аппаратурой. Программы с текстовым интерфейсом могут имитировать оконный интерфейс, чему особенно способствует применение псевдографических символов.

Следующим этапом развития пользовательских интерфейсов стали графические интерфейсы, основанные на концепции WIMP. WIMP («window, icon, menu, pointingdevice» — окно, значок, меню, манипулятор) – концепция взаимодействия с компьютером по средствам данных элементов [3]. Данная концепция была разработана

Мерзугой Уильбертсом в 1980 году. Хотя его популярность постепенно падает, это слово часто используется в качестве приближённого синонима «графического интерфейса пользователя». WIMP был разработан в корпорации Xerox PARC и популяризирован компьютером Macintosh в 1984 году, в котором были добавлены понятие «строка меню» и концепция расширенного управления окном.Критики утверждают, что для некоторых приложений WIMP не подходит, а отсутствие технической поддержки создаёт трудности для развития новых интерфейсов. Сюда относятся приложения, обеспечивающие обработку непрерывных входных сигналов, а также отображающие 3D-модели или просто отображающие взаимодействия, для которых нет стандартных виджетов. Так же стоит отметить сложность в освоении данной системы для человека, не имевшего ранее опыта взаимодействия с компьютерами, потому такая система не самым лучшим образом подходит для бытовых электронных систем и приборов, рассчитанных на массовую аудиторию пользователей.

В начале XXI века становится популярным новый способ взаимодействия с электронными устройствами через сенсорный ввод, что приводит к появлению новых жестовых и мультитач (реже – мультикасаемых) интерфейсов [4]. Такие интерфейсы целиком основаны на модели WIMP, однако, в них отсутствует указатель мыши, так как все манипуляции с интерфейсом происходят непосредственно пальцами. Так же возможности интерфейса расширились различными жестами, которые чаще всего имитируют реальные физические действия (перелистывание страниц, скроллинг, увеличение – растягивание).

Огромную роль в развитии пользовательских интерфейсов и способов их взаимодействия сыграл интернет и беспроводные технологии в частности. Развитие последних сместило классические десктопные ПК в сторону узкоспециализированной техники и послужило причиной появления на рынке огромного количества компактных и вездесущих устройств всевозможных размеров, форм-факторов и стоимости. Теперь разработчики ПО и веб-дизайнеры должны заботиться об адаптивности дизайна, если они намерены сделать продукт, охватывающий максимальное количество платформ [5]. Формат экрана более не создаёт узких рамок для дизайна, но в то же время, дизайн должен быть пригоден для всех существующих форматов, что означает принципиально иной подход к проектированию интерфейсов.

Самое важное для культуры визуальной коммуникации состоит в том, что кроме технического развития пользовательских интерфейсов, происходит и их стилистическая эволюция. Первые пользовательские интерфейсы (как текстовые, так и WIMP-интерфейсы) явно испытали на себе воздействие модернистких течений. Такие интерфейсы были минималистичны, использовали шрифты без засечек, флаговый набор текста и выключку по левому краю. Графическая выразительность достигалась в них минимальными средствами, что конечно же было обусловлено и техническими ограничениями техники тех времён.

Развитие графических возможностей компьютеров в начале XXI века ознаменовало эпоху скевоморфизма в пользовательских интерфейсах операционных систем. Впервые скевоморфизм появился в Mac OS X 10.0 Cheetah компании Apple, вышедшей в 2001 году. Производитель компьютеров стремился отразить во внешней оболочке интерфейса всю вычислительную и графическую мощность своего продукта.

Иконки приложений стали объёмными, появилось множетсво графических эффектов, градиентов, бликов, теней и прочих средств художественной выразительности. Внешний вид элементов интерфейса активно подражал фактурам реального мира, перенося их на экран в виде интерактивных элементов. Кроме репрезентации графических возможностей новой системы, в таком подходе был и практический смысл: пользователи, не имевшие ранее опыта взаимодействия с компьютером, могли относитьно легко сориентироваться в интерфейсе, проецируя свои ассоциации из реального мира наэ лементы системы. Позднее такой же

подход применила и Microsoft в своей Windows Vista (2006). Один из наиболее известных представителей скевоморфизма в области нтерфейсов – мобильная операционная система iPhone OS, вышедшая в свет одновременно с первым iPhone. Скевоморфизм оказал огромное влияние на всю медиа-индустрию в период с 2000 по 2010 год – позже в этом стиле проектировались не только операционные системы, но и приложения, веб-сайты и дажетитры и заставки телепередач, реклама и полиграфия. Скевоморфичные пользовательские интерфейсы являются яркими представителя микультуры постмодернизма [6].

В 2010 первеснство в создании визуальных тенденций переходит к Microsoft. В этом году компания анонсирует мобильную ОС Windows Phone, а двумя годами позже – десктопную Windows 8, которая стала своего рода революцией в линейке систем Windows. Обе операционных системы были основаны на дизайнерском языке Metro (позже Modern UI). Со стилистической точки зрения Metro представляет собой современное переосмысление типографских правил швейцарского стиля: в интерфейсе используются модульные сетки для расположения элементов, шрифты без засечек с выключкой по левому краю и монохромные геометрические пиктограммы. Однако, при этом интерфейс богат яркими цветами, иногда используются градиенты, эффекты полупрозрачности элементов, а иконки некоторых приложений перекочевали из предыдущих версий Windows, сохранив при этом скевоморфичность. Тем не менее, тенденция на «плоский» дизайн быстро захватила рынок и получила название «Flat design», что в переводе с английского и означает плоский (или ровный, нерельефный) дизайн. Под новое направление адаптировалась и Apple в принципиально переработанной iOS7, а позже и доработав дизайн элементов в Mac OS, сделав их более плоскими [7].

Одним из самых ярких представителей направления Flat design можно по праву считать дизайн-язык Material Design от компании Google. Стилистически он представляет из себя гибрид скефоморфичного и модернистского интерфейса – в его основе лежит метаформа бумажных карточек. Все элементы (окна, иконки, переключатели), как будто вырезаны из бумаги – но при этом, в них отсутствует какая-либо фактура, блики или имитация реальных поверхностей. Художественная выразительность достигается минимальными средствами – допускается использование лёгких теней и многослойность элементов, иллюзию пространства между ними. В остальном, в MaterialDesign вновь применяются правила швейцарской типографики, такие как модульность, гротескные шрифты и выключка по левому краю.

Вывод. Сегодня существует множество различных подходов к дизайну визуальных знаковых систем и пользовательских интерфейсов. Все эти подходы складывались исторически, и во многом определялись техническими возможностями управляемых ими компьютеров и устройств. Однако, каждый из них может применятся и по сей день при проектировании пользовательского интерфейса в зависимости от задачи, решаемой данным интерфейсом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ISO 7001:2007 – Graphical symbols – Public information symbols, 2007. P. 56.
2. Neurath, O., International Picture Language, 1936. P. 117.
3. van Dam, A., Post-WIMP user interfaces, MagazineCommunications of the ACM, 1997. V. 40(2): P 63-67.
4. Derboven, J., Semiotic analysis of multi-touch interface design: The MuTable case study. International Journal of Human-Computer Studies, 2012. V. 70(10): P. 714–728.
5. Page, T., Skeuomorphism or flat design: future directions in mobile device User Interface (UI) design education. Inderscience, 2014. V. 8: P. 21-48.
6. Gross, S., Bardzell, J., Bardzell, S., Skeu the evolution: skeuomorphs, style, and the material of tangible interactions. 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction, 2013. P. 53-60.
7. Apple Inc., OS X Human interface guidelines, 2016. P. 618.

УДК 378.147: 004.92

Р.Р. Гайсин, М.А. Гуков, И.А. Колодько, Г.А. Красильникова, Т.В. Маркова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫПОЛНЕНИЯ ОЛИМПИАДНОЙ РАБОТЫ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ

Введение. Ежегодно в осеннем семестре проводится Региональная студенческая олимпиада по инженерной и компьютерной графике. Студенты разных вузов города соревнуются в умении читать чертеж сборочной единицы, умении создавать 3D-модели деталей и сборок, а также оформлении чертежа и спецификации. Таким образом, содержание олимпиадных заданий охватывает все разделы курса инженерной графики. При этом студенты должны продемонстрировать не только знание стандартов ЕСКД [1], но и навыки использования современных средств разработки конструкторской документации [2, 3].

Исходные данные для выполнения типового задания на олимпиаде представляют собой [4]: незавершенный сборочный чертеж изделия из 15-20 составных частей, на котором отсутствуют изображения стандартных резьбовых изделий, шпонок, шплинтов и т. д.; незавершенную спецификация (в разделе "Стандартные изделия" отсутствует информация о всех размерах соответствующих изделий). Предлагается: выполнить модель и чертеж корпуса (ассоциативный чертеж корпуса дополнить аксонометрией с вырезом одной четверти); выполнить по ГОСТ 2.317-69 аксонометрию (с вырезом одной четверти) соединения двух деталей стандартными крепежными изделиями (в "сборку" может входить третья деталь типа простейшей уплотнительной прокладки); создать сборочный чертеж; создать спецификацию к сборке. Время выполнения – 3 … 4 часа в зависимости от сложности задания, определяемого случайным выбором из графической базы, содержащей 45 … 60 вариантов.

По условиям олимпиады принять участие в ней может студент любого курса, однако очевидно, что для успешного выступления необходимо иметь хорошую базовую подготовку по инженерно-графическим дисциплинам и, кроме того, в условиях ограниченного времени уметь работать быстро и безошибочно.

Поэтому *целью работы* является разработка приемов по оптимизации процедур создания конструкторской документации на базе автоматизированной системы 3D-моделирования и алгоритма самоконтроля в процессе работы над олимпиадным заданием.

В любом деле, чтобы достичь высоких результатов, необходимо «набить руку», поэтому при подготовке к олимпиаде были проанализированы представленные на сайте вуза-организатора примеры выполнения работы и критерии оценивания, рассмотрен ряд типовыхолимпиадных заданий, проведен анализ форм различных деталей сборок и сравнительный анализ формообразующих операций создания их 3D-моделей.

Главной проблемой, с которой столкнулись участники олимпиады еще в отборочном туре, была ограниченность времени, отведенного на выполнение задания. Поэтому на первых этапах подготовки четко отслеживались и фиксировались отдельные элементы заданий, выполнение которых вызывало наибольшие трудности и в дальнейшем отрабатывались именно они, чтобы свести потери времени к минимуму.В частности, прорабатывались специальные приемы создания моделей деталей и сборок, способы выполнения крепежных соединений на базе библиотек автоматизированной системы. Особое внимание уделялось наиболее сложной части предстоящей работы, требующей знания не только инженерной графики, но и начертательной геометрии, – чтению чертежа, т. е. определению форм деталей и их позиционных отношений [3].

В *результате* исследования были выработаны рекомендации для оптимизации процесса создания моделей и чертежей:

1. *Работать одновременно над всеми конструкторскими документами*. В самом начале создать все 4 документа-заготовки – 3 чертежа и спецификацию, а при выполнении 3D-моделей сразу создавать ассоциативные виды деталей и сборки, отслеживая и устраняя допущенные ошибки при создании модели.

2. *Оптимизировать процедуру создания 3D-модели детали*, т. е. выбрать оптимальную стратегию формирования детали для создания модели самым простым способом, с самым коротким «деревом» построения:

- рационально расположить модель относительно начала координат;
- обоснованно выбрать плоскость проекций для создания эскиза первого формообразующего элемента детали;
- предварительно спланировать формы эскизов с целью минимизации количества формообразующих операций, необходимых для создания модели;
- максимально использовать геометрические данные задания для формирования эскиза (копировать формообразующий контур или обводить его другим типом линии в режиме ОРТО, а затем вставлять в эскиз с последующей доработкой);
- использовать библиотеку CAD-системы для вставки стандартных конструктивных элементов деталей (отверстий, канавок, проточек и т. п.);
- использовать соответствующую команду для создания ребер жесткости.

3. *Оптимизировать процедуру создания 3D-модели сборки:*

- рационально расположить модель корпуса относительно координатных плоскостей;
- создавать модели деталей, соединяемые крепежными изделиями с корпусом, в контексте сборки;
- использовать команду «Проецировать» для обеспечения сопряжений элементов деталей;
- вставлять крепежные соединения (шпилечное, болтовое и т.д.) из библиотек CAD-систем, использовать массивы элементов.
- настроить параметры команды «Сечение по эскизу» так, чтобы не рассекать крепежные компоненты сборки.

4. *Оптимизировать процедуру создания ассоциативных чертежей:*

- определить минимальное количество необходимых изображений для прочтения чертежа детали (сборки) и сформировать их на поле чертежа;
- отслеживать изменения чертежей в ходе работы над моделями детали и сборки;
- использовать «дерево» чертежа для удобства работы с компонентами сборки.

Правильность выполнения олимпиадных работ оценивается по специальным критериям. Наибольшее количество баллов можно потерять за невыполнение или ошибочное выполнение компонентов задания. Также стоит отметить, что штрафные баллы суммируются, в случае, если одинаковая ошибка допущена несколько раз (например, при отсутствии осей отверстий). Поэтому в ходе подготовки к олимпиаде были выявлены, зафиксированы иобобщены типичные ошибки и на их основе разработан алгоритм самоконтроля (рис. 1).

Выводы. Проведенная работа позволила выработать приемы оптимизации процесса создания конструкторской документации в соответствии с типовыми вариантами заданий олимпиады по инженерной и компьютерной графике,а также определить стратегию и тактику подготовки к ней.



Рис. 1. Блок-схема контроля качества конструкторской документации

ЛИТЕРАТУРА:

1. Единая система конструкторской документации. Общие правила выполнения чертежей: сборник. – М.: Издательство стандартов, 2011. – 384 с.

2. Инженерная и компьютерная графика. Компьютерные технологии разработки конструкторской документации : учеб. пособие / Т.В. Маркова[и др.], – СПб.; Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 92 с.

3. 3D-моделирование как средство самоконтроля знаний геометрии форм и позиционных отношений компонентов сборочной единицы машиностроительного изделия / Г.А. Красильникова, Т.В. Маркова // Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 5-й Международной научно-практической конференции. / Под ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С. 90-95.

4. Большаков В.П. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D. Практикум. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010.– 496 с.

УДК 621: 004.92

А.В. Мищук, Н.А. Филиппов, Т.В. Маркова, Г.А. Красильникова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СРЕДСТВАМИ СОВРЕМЕННЫХ CAD-СИСТЕМ

Актуальность. Проектирование с использованием CAD-систем(computer-aideddesign), называемых также системами автоматизированного проектирования (САПР), стало повсеместной практикой при разработке самых разных изделий. Конструкторская работа при этом поднимается на качественно другой уровень: наличие встроенных расчетных модулей, библиотек стандартных изделий, элементов деталей и табличных величин значительно ускоряет процесс выпуска документации; ассоциативная связь между 3D-моделями и формируемыми чертежами и спецификациями позволяет контролировать их правильность на всех этапах разработки. Вместе с тем постоянно растут и требования к качеству изделий, точности изготовления, выполнению норм взаимозаменяемости т. п., что вызывает необходимость регулярной корректировки соответствующих стандартов. Изменение самого процесса проектирования также не могло не найти отражения в нормативных документах. Введены ГОСТы [1-3], устанавливающие требования к выполнению электронных документов, значительно модернизированвесь комплекс стандартов ЕСКД.

Однако разработка новых версий современных CAD-систем является сложным и долговременным процессом, как следствие, возникают несоответствия между уже введенными стандартами и возможностями автоматизированного обеспечения выполнения этих стандартов. Так, например, часто значительные усилия требуются для выполнения требований ГОСТ 2.305-2008 [4]: при работе с ассоциативными видами, разработчик сталкивается с необходимостью вручную добавлять, удалять или редактировать изображения элементов трехмерной модели изделия. Сформированные практикой ручного черчения, многочисленные упрощения, не нужные, казалось бы, при новых технологиях получения чертежа, тем не менее рекомендуются стандартами и не теряют актуальности, обеспечивая ясность и простоту восприятия при его чтении. Однако получить автоматически изображение, полностью соответствующее ГОСТ, часто не представляется возможным. Эта проблема стоит наиболее остро, так как влияет на скорость и качество разработки конструкторской документации.

Для исследования данной проблемы была выбрана система автоматизированного проектирования КОМПАС-3DV16.1 российской компании АСКОН. Данная САПР– одна из наиболее распространенных в технических учебных заведениях и машиностроительных предприятиях РФ и, кроме того, заявлена как система, специально разработанная для оформления проектной документации в соответствии со стандартами СПДС и ЕСКД, поэтому рассмотрение проблем на её примере является наиболее актуальным.

Цели и задачи работы. Целью данной работы является изучение и систематизация проблем, возникающих при работе с современными системами проектирования, предложениевозможных способових решения. Для выявления проблем были разработаны модели ряда типовых машиностроительных деталей и сборочных единиц, созданы ассоциативные чертежи, которые затем были проанализированы на предмет соответствия существующим стандартам. Обнаруженные несоответствия фиксировались, определялись причины их появления и далее подробно описывались приемы устранения этих несоответствий. Особое внимание уделялось поиску оптимального способа решения проблемы при сохранении ассоциативной связи видов и 3D-модели.

На рис. 1 представлен пример: сформированные автоматически средствами рассматриваемой САПР изображения фрагмента редуктора. Корпусная деталь, использованные крепежные соединения, подшипник – типовые элементы сборочных чертежей.

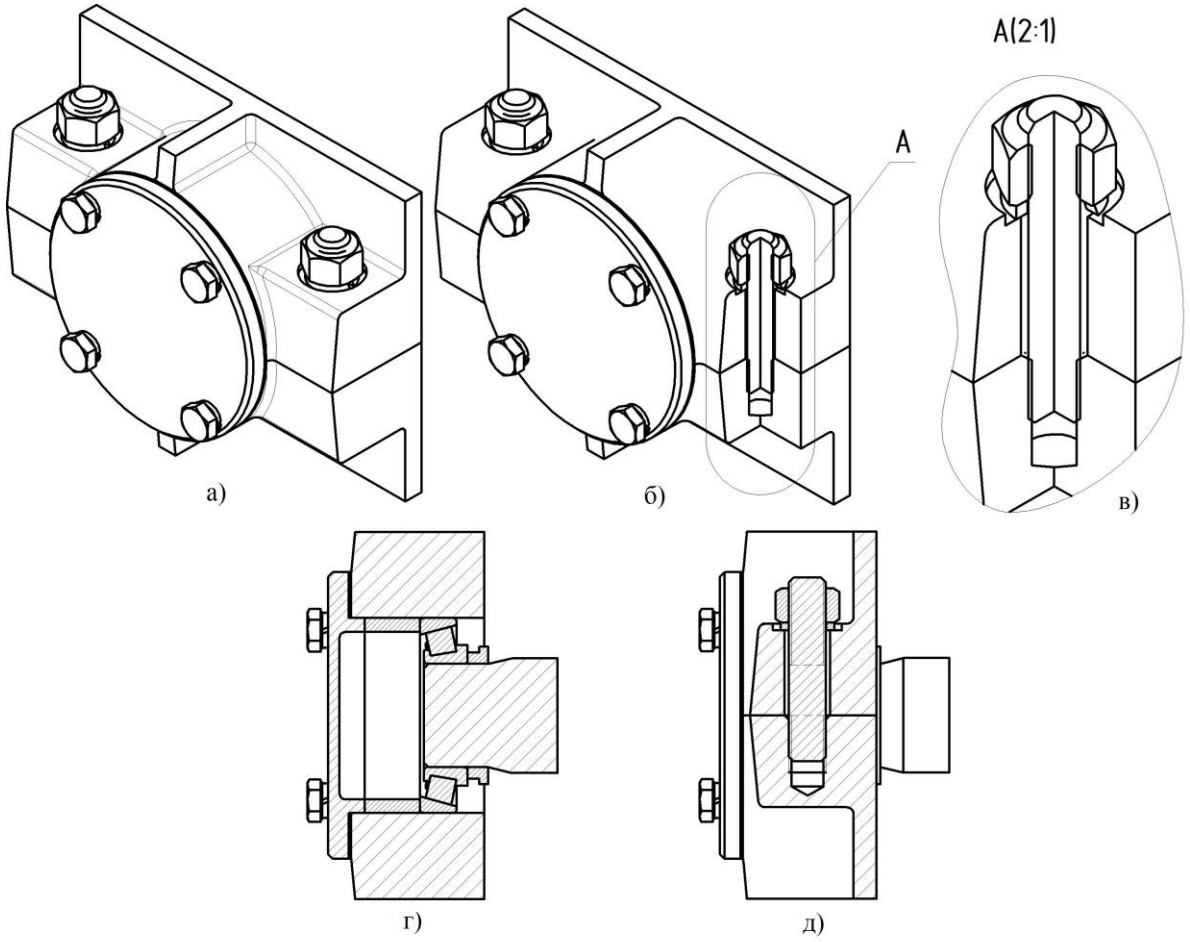


Рис. 1. Изображения, сформированные автоматически при работе с ассоциативными видами

Результаты. В результате исследования все проблемы и несоответствия были разделены на двегруппы:

1. Несоответствия современным стандартам. Так, отличаются от стандартных отдельные табличные значения, используемые в системе в качестве шаблонных. Например, допуски, указанные как рекомендуемые в межгосударственном стандарте ГОСТ 25346-2013 [8], не совпадают с посадками, обозначенными в качестве предпочтительных в КОМПАСе; упрощенные изображения крепежных изделий и соединений, зубчатых колес, подшипников в библиотеках не соответствуют стандартам [5-7]. Для линий перехода, которые в соответствии с ГОСТ 2.305-2008 должны изображаться одной тонкой линией, предусмотрено два варианта исполнения, причем оба не соответствуют стандарту (рис. 1, *а*, *б*).

2. Недостаточная степень автоматизации. Например, созданная аксонометрия сборочного узла в исходном виде не соответствует предъявляемым к ней требованиям: отсутствует штриховка на разрезах, нет условного обозначения резьбы на соответствующих элементахдеталей (рис. 1, *в*, *д*), отсутствуют аксонометрические оси. Значительно затрудняет разработку чертежей также отсутствие возможности «не разрезать», т.е. не штриховать ребра жесткости на продольных разрезах (рис. 1, *г*), возможности доворачивать до плоскости разреза отверстия и крепежные соединения, расположенные на круглом фланце и т. п. Кроме

того, отсутствуют средства нанесения специальных обозначений. Например, национальный стандарт ГОСТ Р 53442-2009 [9] допускает использование условных обозначений допуска расположения поверхности от комплекта баз. Актуальная версия КОМПАСа не предоставляет возможности выполнить такое обозначение. Разработчик конструкторской документации вынужден вручную устранять все эти несоответствия, что существенно снижает скорость подготовки чертежа.

Способы решения указанных проблем рассмотрены в работе. В частности, предложено использовать загружаемые базы данных (библиотеки), регулярно обновляемые разработчиками систем совместно с разработчиками стандартов. Для режимных предприятий и проектных организаций, не имеющих доступа к сети интернет, предложено обновлять базы данных стандартов через внешние носители.

Выводы. По результатам проделанной работы, можно сделать вывод, что современные CAD-системы пока еще имеют ряд проблем и недостатков, связанных в первую очередь, вероятно, с отсутствием взаимодействия между разработчиками стандартов и систем автоматизированного проектирования. В то же время, системы постоянно совершенствуются, поэтому имеющиеся проблемы имеют перспективы решения в будущих версиях современных CAD-систем. В настоящее время представляется важным знать о существующих несоответствиях, учитывать факт их наличия при проектировании, чтобы обеспечить высокое качество выпускаемой конструкторской документации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 2.051-2006 ЕСКД. Электронные документы. Общие положения.
2. ГОСТ 2.052-2006 ЕСКД. Электронная модель изделия. Общие положения.
3. ГОСТ 2.053-2006 ЕСКД. Электронная структура изделия. Общие положения.
4. ГОСТ 2.305-2008 ЕСКД. Изображения – виды разрезы, сечения.
5. ГОСТ 2.315-68 ЕСКД. Изображения упрощённые и условные крепёжных деталей.
6. ГОСТ 2.402-68 ЕСКД. Условные изображения зубчатых колёс, реек, червяков и звёздочек цепных передач.
7. ГОСТ 2.420-69 ЕСКД. Упрощённые изображения подшипников качения на сборочных чертежах.
8. ГОСТ 25346-2013 «Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки»
9. ГОСТ Р 53442-2009. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.

УДК 514.182.2

М. Ешич, Й Милич, А.И. Фоломкин
Санкт-Петербургский горный университет

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ

Введение. Как известно, одним из основных и фундаментальных понятий начертательной геометрии является точка, представляющая собой абстрактный объект, не имеющий размеров и определяемый только своими координатами. Любой геометрический объект можно представить как совокупность точек, по взаимному расположению, которых можно составить представление о форме и размерах объекта, а по расположению этих точек относительно системы координат можно судить о положении объекта в пространстве. С другой стороны для успешного освоения темы связанной с проецированием точки и прочих разделов начертательной геометрии и обеспечения необходимого уровня качества образования, отвечающего сложившимся социокультурным условиям, необходимо наличие

наглядных пособий и компьютерных моделей, разработка которых является особенно актуальной в условиях всеобщей информатизации, как одного из приоритетных направлений развития общества.

Цель работы – повышение качества усвоения тем «проецирование точки» и «проецирование отрезка» путем создания наглядных компьютерных моделей для пошаговой демонстрации процесса решения задач.

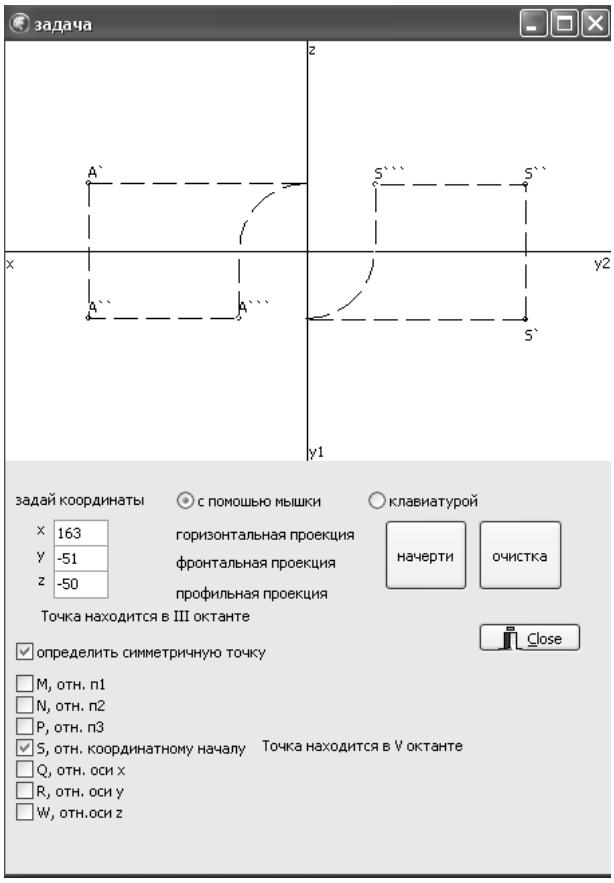


Рис. 1.

Необходимо отметить, что в настоящее время имеется большое количество электронных ресурсов включающие тексты учебников, презентации, примеры пошагового решения задач и обучающих программ по начертательной геометрии [2, 3, 5 и пр.], отражающие устоявшиеся традиции, методики и отраслевую специфику определенного ВУЗа. Основное отличие разработанной авторами программы для ЭВМ от имеющихся аналогов являются адаптация программы к учебному плану кафедры «Начертательная геометрия и инженерная графика» Санкт-Петербургского горного университета [1], а так же простота использования, что немаловажно при обучении студентов первого курса.

Программа разработана с использованием объектно-ориентированного языка *Embarcadero Delphi* [6], в которой для ввода данных используются современные элементы управления, отвечающие требованиям последних версий *Windows*, представляющие собой экземпляры классов *TEdit*, *TCheckBox*, *TRadiobutton* (рис.1).

В верхней части рабочего окна разработанной программы расположено графическое окно, представляющее собой экземпляр класса *TImage*, разделенное на горизонтальную (π_1), фронтальную (π_2) и профильную (π_3) плоскости проекции осями координат *x, y, z*. Графическая информация выводится при помощи объектного свойства *Canvas* и его методов *Moveto*, *Lineto*, *Ellipse*, *TextOut*. Ниже графического поля располагаются элементы управления, предназначенные для ввода исходных данных и одного из двух способов их задания: при помощи мыши (графический) или при помощи клавиатуры (координатный). Ниже располагается список, для выбора одного из семи встречающихся в подобных задачах элементов симметрии, для построения симметричных точек. На форме имеется два элемента управления класса *TLabel* для вывода номеров октантов, в которых находятся исходная (*A*) и симметричная (*S*) точки.

На рис. 1 в графическом окне представлено решение задачи для точки (*A*) расположенной в третьем октанте, и построена симметричная ей точка (*S*) относительно начала системы координат, расположенная в пятом октанте.

Основываясь на разработанных алгоритмах, процедурах и функциях была написана программа для решения и визуализации хода решения задачи о проецировании отрезка прямой и нахождения проекций ее горизонтального, фронтального и профильного следов (рис. 2).

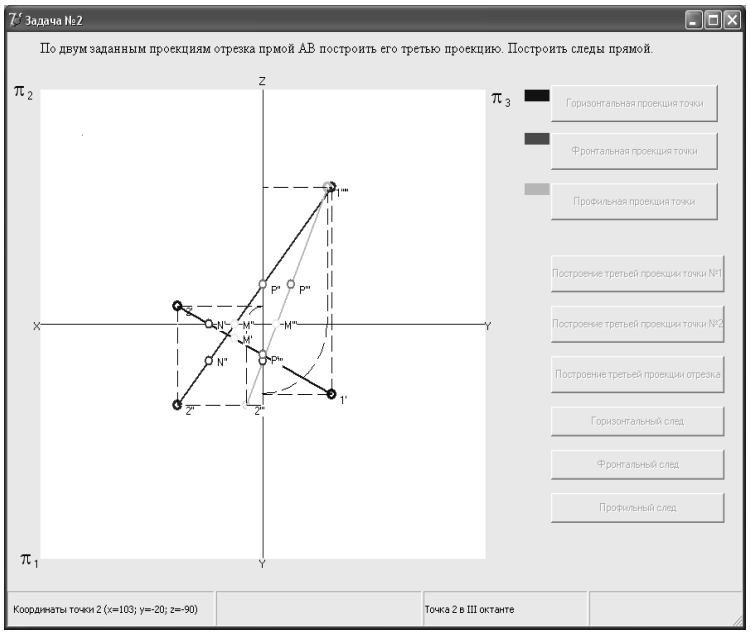


Рис. 2.

Для наглядного представления графического материала программа выделяет элементы комплексного чертежа различными цветами. Внизу экранной формы, в строке подсказок, выводятся координаты соответствующих точек и октанты, в которых они расположены.

Ниже, для примера, представлена процедура-обработчик события нажатия кнопки «Построение проекций отрезка», использующая для вывода графической информации методы *Moveto* и *Lineto* объектного свойства *Canvas*.

```
procedure TForm_line.Button3Click(Sender: TObject);
begin
        with Pi1.Canvas do
        begin
            Pen.Width:=2; Pen.Style:= psSolid;
            Pen.Color:=clBlue;
            MoveTo(ppi1[0].x, ppi1[0].y); LineTo(ppi1[1].x, ppi1[1].y);
            Pen.Color:=clPurple;
            MoveTo(ppi2[0].x, ppi2[0].y); LineTo(ppi2[1].x, ppi2[1].y);
            Pen.Color:=clLime;
            MoveTo(ppi3[0].x, ppi3[0].y); LineTo(ppi3[1].x, ppi3[1].y);
        End;
Button3.Enabled:=false;
end;
```

Результат. В работе созданы независимые приложения, наглядно моделирующие процесс ортогонального проецирования точки в любом из восьми октантов пространства и прямой.

Вывод. Разработанное программное обеспечение позволяет проанализировать многообразие задач по представленным темам, разобраться в алгоритме решения подобных задач и приобрести опыт в технологиях компьютерных исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бобин Н.Е., Талалай П.Г., Эйст Ю.А. Инженерная графика. Начертательная геометрия. Учебное пособие по решению контрольных задач. Санкт-Петербургский государственный горный институт. 4-е изд., стереотипное. СПб, 2008. 73с.

2. Бочков А.Л., Голдобина Л.А.// Начертательная геометрия: Учебно-методический комплекс. – СПб.: 2011. – 212 с. [электронный ресурс] cadinstructor.org/eg/

3. Волошинов Д.В. Теория автоматизации проектирования объектов и процессов на основе методов конструктивного геометрического моделирования : автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.13.12 /

Волошинов Денис Вячеславович ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.— Защищена 10.02.10. — СПб., 2010 .— 33 с. : ил. — Библиогр.: с.29-33.
4. Гордон, В.О.. Курс начертательной геометрии : учебное пособие для студентов втузов / В.О. Гордон, М.А. Семенцов-Огиевский ; под ред. В.О. Гордона .— Изд. 26-е, стер. — Москва : Высшая школа, 2004 .— 270, [2] с. : ил. ; 25 см .— Библиогр.: с. 272.
5. Тозик В.Т. Электронный учебник по начертательной геометрии Кафедра Инженерной и Компьютерной Графики Санкт-Петербургского государственного университета ИТМО [электронный ресурс] http://kikg.ifmo.ru/geom3/menu.html
6. Тюкачёв, Н.А. Программирование графики в Delphi /.— СПб. : БХВ-Петербург, 2008 .— 766 с. : ил. ; 24 см + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) .— Библиогр.: с. 752-758.

УДК 721

И.А. Клюсова, Т.И. Диодорова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОБЛЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ АРХИТЕКТУРНЫХ РИСУНКОВ Я.Г. ЧЕРНИХОВА

Необходимым инструментом для демонстрации творческих замыслов архитектора в процессе проектирования является проектная графика. Она дает возможность представить будущее архитектурное сооружение с нужных точек зрения при помощи применения различных художественных приемов. Ключевые художественные приемы использовал и систематизировал в своих трудах представитель советского авангарда архитектор Яков Георгиевич Чернихов.

На первый план в работах Чернихова выдвигалась графическая выразительность, зачастую в ущерб точности и реалистичности изображения, однако все чертежи и рисунки были сделаны с учетом геометрических законов. В своих книгах он сформулировал правила и закономерности графического представления архитектурных сооружений.

В основе таких графических работ, как архитектурные фантазии, лежит использование четких линий и геометрических фигур, что, в сумме с мастерством автора, делает даже самые сложные конструкции гармоничными и простыми для восприятия. Теоретик архитектуры Чернихов в ряде опубликованных книг описал и классифицировал художественные приемы, используемые в его композициях. Он сгруппировал архитектурные элементы в беспредметных построениях: прямая и кривая линии, плоскость, ограниченная правильной фигурой прямолинейного характера, неправильной фигурой прямолинейного характера или фигурой криволинейного характера, поверхности вращения правильных тел, поверхности сложно-изгибающихся тел, правильные тела вращения или прямолинейного очертания, а также неправильные, криволинейные и сложные тела. [5] Другой прием визуализации, влияющий на восприятие графических архитектурных композиций — изменение ракурсов в зависимости от точки наблюдения. Чернихов выделяет такие ракурсы, как: изображение, перспективу общую и частную, перспективу с горизонта, аксонометрию полную и частную, условно-искусственные изображения, изображения с птичьего полета.[3]

Яков Чернихов является основоположником уникального метода архитектурного формообразования, который был назван «методом творческого сочинительства». Он считал, что конструирование пространственных объектов, возникающих в воображении, необходимо для совершенствования архитектора и развития его пространственного мышления. Метод Чернихова заключается в создании абстрактной архитектурной формы, не связанной ни с функцией здания, ни с содержанием. [2]

Фантазирование в его теории представляется лучшим способом исследования архитектурных форм и поиска оптимальных решений в реальных проектах.Согласно Чернихову, работа с беспредметными композициями начинается с мысленной проработки пространственных конструкций и их изображения, и только после этого, если это необходимо, стоит задумываться о реалистичности этого изображения. [1]

С одной стороны, Яков Чернихов в своей теории придерживался геометрической и математической точности, с другой стороны, использовал методы деформации в своих архитектурных фантазиях, где основным элементом визуализации объектов являлась графика. Целью использования таких приемов, как деформация, являлась возможность показать в архитектурных рисунках первый, средний и задний планы зданий, а также создание у зрителя нужного впечатления. «В необходимых нам случаях мы не остановимся даже перед тем, чтобы исказить геометрическую форму изображения, дабы глаз получил «нужную нам» форму впечатления от изображения». [4]

Учитывая условность изображений Чернихова, вероятно, что он допускал искажения сознательно с целью достижения наибольшей выразительности и акцентирования внимания на определенные части композиции.

Сложность выбора архитектурной композиции для дальнейшего построения 3D-модели была обусловлена тем, что, создавая архитектурные фантазии, Чернихов рассчитывал, что эти здания не будут построены. В процессе архитектурного анализа, для которого привлекался профессиональный архитектор, были выбраны определенные изображения, которые, по нашему мнению, наиболее реалистичны и аналогичны существующим архитектурным конструкциям (рис. 1).

Архитектурные фантазии Чернихова создавались с целью демонстрации разнообразия композиций архитектурных форм и изучения возможностей формообразования и не предполагались быть реализованными. Следовательно, ни одна из его пространственно-плоскостных композиций не сопровождалась планом или рабочими чертежами. По причине наличия единственного ракурса изображаемой конструкции и отсутствия дополнительных материалов, необходимых для проектирования, возникают определенные трудности в построении плана для дальнейшего компьютерного 3D-моделирования.

Не было найдено алгоритма, описывающего построение плана по заданной перспективе. При решении данной проблемы мы решили идти от обратного, за основу была взята схема построения перспективы. Первым шагом в создании плана было продление всех линий на изображении до горизонта. Таким образом, выстраивались линии перспективы и вычислялись точки схода. Были экспериментально определены точка зрения (центр проекций) и картинная плоскость, проведенная через точку, ближайшую к наблюдателю, угол зрения был задан 30° как среднее стандартное значение. Далее были продлены все вертикали, и через точку их пересечения с картинной плоскостью и центр проекции проведены линии, на которых и находились контрольные точки плана, расположение которых рассчитывалось относительно точки, ближайшей к наблюдателю.

Сложность заключалась в том, чтобы точно определить, где и на каком расстоянии относительно друг друга находятся изображенные объекты. Их расположение определялось способом исключения из ряда предполагаемых вариантов тех, которые невозможны с точки зрения архитектуры и строительства (например, некоторые случаи перекрытия объектами частей друг друга). Невидимые на изображении части объектов требовалось достраивать самостоятельно.Габариты архитектурных конструкций были вычислены относительно стандартных размеров малых архитектурных объектов таких, как высота окон и ограждений балконов. 3D-конструкция была смоделирована в программе Autodesk 3dsMax 2016 (рис. 2).

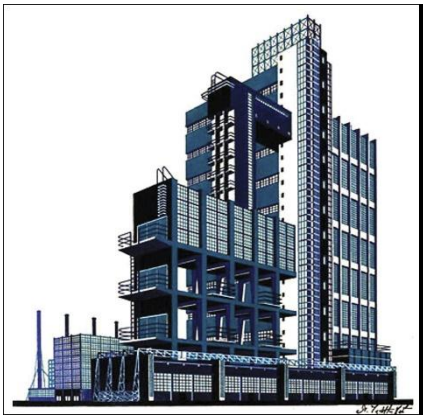


Рис. 1. Рисунок Я. Чернихова, 193



Рис. 2. 3D-реконструкция

Математический расчет и геометрическая точность работ Якова Чернихова позволили построить план и смоделировать 3D конструкцию. Эксперимент будет продолжен, и в дальнейшем планируется применить полученный алгоритм при анализе и реконструкции нескольких других изображений из цикла архитектурных фантазий Чернихова. Будущая работа над проектом позволит выявить неточности в алгоритме, усовершенствовать его и исправить возможные ошибки в его реализации.

Этот проект по реконструкции архитектурных фантазий Чернихова не только популяризирует творчество архитектора, но и доказывает, что в 30-е годы он предвидел архитектуру сегодняшних городов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вступительная статья к книге «Работы Якова Чернихова из собрания Дмитрия Чернихова», Издательство DOM Publisher, Берлин. 2009.
2. Лисицина Я.Ю. Творческий метод архитектора-художника Я. Г. Чернихова как феномен отечественной культуры XX века. Улан-Удэ, 2013.
3. Чернихов Я. Г. Архитектурные фантазии 101 композиция. Репр. изд. М.: АВАТАР, 2008.
4. Чернихов Я. Г. Искусство начертания. Л.: Книгоиздательство Академии художеств, 1927.
5. Чернихов Я. Г. Основы современной архитектуры. Экспериментально-исследовательские работы. Л.: Ленингр. о-во архитекторов, 1930.

УДК 712.01

И.В. Гоняева, А.Г. Зубов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РОЛЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ДИЗАЙНА В ПРЕОБРАЗОВАНИИ ПЕШЕХОДНЫХ ПРОСТРАНСТВ В ГОРОДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Введение. Вопросам архитектурно-художественной, градостроительной и пространственной организации пешеходных зон города Санкт – Петербурга было посвящено достаточно много исследований. Однако, феномен городских пешеходных зон с точки зрения насыщения их объектами дизайна остается до сих пор без должного внимания. Для того чтобы разобраться в этом вопросе, необходимо знать историю зарождения пешеходных пространств, а также проанализировать процесс взаимодействия человека с оборудованием на пешеходных пространствах города Санкт-Петербург.

Предпосылки формирования пешеходных пространств города. Пешеходные зоны, места свободные от транспорта, существовали в Древнем Риме и обустраивались в Лондоне в эпоху промышленной революции, но в современном понимании такие зоны (улицы) начали появляться в европейских городах только после Второй мировой войны.

В первой половине XX века общество приспосабливает окружающую среду для транспорта. Массовое производство автомобилей и огромный спрос на них заставили изменить городскую среду. Потребовалось создать условия для ускоренного движения автотранспорта. Из-за необходимости расширения городских магистралей реконструировались исторические центры городов. В результате таких преобразований было утрачено большое количество исторических памятников [2].

В начале второй половины XX в. появляется пешеходная улица как попытка возвращения традиционных типов городского досуга, способствующего сохранению исторической застройки. Город стараются сделать более ориентированного на человека. В исследованиях М.И. Белова [1] появление пешеходной улицы было названо «кульминационным моментом в культурной жизни города», что, по сути, являлось возвращением в сторону общечеловеческих ценностей послевоенного периода.

В 70-е гг. формирование пешеходных улиц обусловлено социально-экономическими и функционально планировочными факторами. В результате пешеходные улицы стали спасительным средством для сохранения исторического ядра города, способствуя при этом развитию социальных контактов и увеличению числа организаций сферы обслуживания [3].

С 80-х гг. ведутся поиски идеального соотношения транспортного и пешеходного движения в городах. Пешеходное движение становится доминирующим.

Современное оборудование пешеходных пространств. Современные градостроительные концепции не полностью учитывают потребности жителей. Особенно это показательно в нашем городе. В большей части случаев оборудование пешеходных зон (улиц) это каменные сиденья, на которых холодно сидеть (после дождя почти невозможно), а так же клумбы, озеленение и освещение.

Показательным был эксперимент, проведённый организацией «Красивый Петербург» в 2015 году, когда на день оградили от транспорта отрезок улицы Большая морская (от Невского проспекта до Дворцовой площади) и установили на ней стандартное оборудование (скамья, клумба). Из-за дождливой погоды желающих посидеть было не много.

Возникает потребность формирования новых принципов создания эргономичного уличного оборудования отличающегося функциональностью и комфортом в эксплуатации в городе Санкт-Петербург. В оборудовании пешеходных улиц в целях достижения максимального комфорта необходимо использовать методы промышленного дизайна. При анализе существующего оборудования и взаимодействия человека с ним были выделены следующие принципы, которые необходимо учитывать при проектировании:

1) Принцип мобильности и периодической обновляемости предметного наполнения, модульность. Легко возводимые, мобильные и способные к трансформациям, менее долговечные (в отличие от архитектурных объектов) и легкозаменяемые элементы промышленного дизайна способны реагировать на смену ситуаций (сезоны, праздники итд), превращая улицу в некий живой и постоянно обновляющийся организм. Процесс формообразования элементов благодаря своей высокой гибкости способен создавать своеобразных мостик между историческим прошлым улицы и её современным состоянием [1] .

2) Функциональная и компоновочная структура. Движением пешехода можно управлять, ускоряя или замедляя его, останавливая перед значимыми объектами, на видовых точках [4] . Это возможно осуществить средствами промышленного дизайна.

3) Эргономика. Принцип удобства. Вместо традиционных малых архитектурных форм, громких и громоздких, создавать кардинально новые предметные компоненты. По подобию интерьерной мебели эти новые объекты могут приобретать эргономичный, индустриальный характер, с повышением уровня комфортности.

4) Экологичность. Согласно теории Дитера Рамса (ведущий дизайнер фирмы Braun с 1962 по 1995, представитель школы функционализма в промышленном дизайне) промышленный дизайн вносит важный вклад в сохранение окружающей среды. Только экономия ресурсов, отсутствие загрязнений всех типов и бережное отношение к среде позволят создавать перспективные и инновационные вещи.

5) Многофункциональность объектов. Пешеходные пространства (улицы) принесли с собой новое явление - «ночную жизнь города». В вечернее время на первый план выступают рекреационно-развлекательные свойства. Тем самым перед дизайнером определяется новый круг проектных задач, связанных как с организацией «двойной системы» функций, их оснащением соответствующим оборудованием, так и организацией вечерней цвето-световой среды с новыми (отличными от дневных) художественными образами, порой более красочными и динамичными [1]. В существующих пешеходных улицах «двойная система» зачастую отсутствует. Пространства оборудуются только скамьями и озеленением.

На основании вышеперечисленных принципов было разработано функциональное оборудование. Была выбрана область для его размещения и создания нового пешеходного пространства (улицы) без ущерба для транспортной системы города. Она состоит из улицы Думской и прилегающей улицы Ломоносова на промежутке от Садовой улицы до набережной канала Грибоедова. Сейчас ведутся активные разработки пешеходной зоны во внутреннем пространстве Гостиного двора, куда возможна дальнейшая интеграция оборудования с пешеходной улицы и создание большой пешеходной (зелёной) зоны.

Проектируемое пешеходное пространство предназначено для разновозрастной группы населения, направлено на разнообразную аудиторию и разнообразные виды деятельности людей. Можно выделить несколько проектируемых зон: тихого отдыха, смотровая площадка, территория Wi-Fi, детская игровая, зона для велосипедистов, прогулочная, кинотеатр, танцевальная площадка.



Рис. 1. Оборудование на улице Думской со стороны Невского проспекта

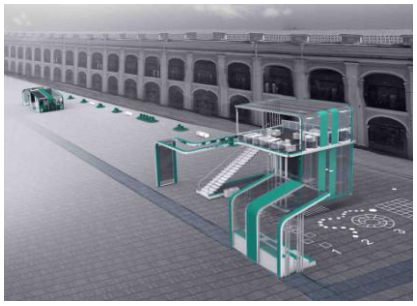


Рис. 2.

Оборудование состоит из трёх основных модулей. На рис. 2 показано оборудование со стороны улицы Ломоносова. Конструкция является разборной, мобильной и способной к трансформациям. Предусмотрено изменение оборудование под городские праздники. Цвет оборудования перекликается с цветом присутствующим в архитектуре улицы.

Такое оборудование значительно отличается от современного оборудования пешеходных улиц многофункциональностью объектов, повышенной эргономикой проектируемого оборудования, мобильностью и способностью к трансформации под определенную идею, погодные условия или время года.

Выводы. Таким образом, если активно применять в формировании пешеходных пространств (улиц) принципы промышленного дизайна, такие как: принцип мобильности, модульность, многофункциональность, эргономичность, экологичность - то дизайн, может задать новую планку комфорта городских пространств. Создавать новые многофункциональные центры города. Создать комфортную и располагающую к времяпрепровождению среду, развивающие разные формы социально-культурных контактов горожан.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Белов, М.И. Дизайн пешеходной улицы (Принципы организации предметно-пространственной среды) : автореф. дис. … канд. искусствоведения / М.И. Белов. – М., 2012.
2. Вагнер, Е.А. Процессы урбанизации и развитие пешеходных коммуникаций (на примере формирования городов центральной Европы, России и планировочных зон г. Красноярска) [Электронный ресурс] /Е.А. Вагнер // Архитектон: известия вузов. – 2012. – N 38. – Режим доступа: http://archvuz.ru/2012_2/1
3. Урбах, А.И. Архитектура городских пешеходных пространств / А.И. Урбах, М.Т. Лин. – М.: Стройиздат, 1990. – 200 с.
4. Велев, П. Пешеходные пространства городских центров / П. Велев; пер. с болг. Д.П. Кривошеева; под ред. В.В. Владимирова. – М.: Стройиздат, 1983. – 192 с.
5. Бабина Е.А. Прошлое,настоящее и будущее городских пешеходных территорий [Электронный ресурс] / Е.А. Бабина //Архитектон: известия вузов. – 2013. – №2(42). – Режим доступа: http://archvuz.ru/2013_2/6

УДК 627.05

А.И. Колоницкая, Ю.Т. Хрузин, Э.И. Деникин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЕТРОГЕНЕРАТОР

Тема преобразования энергии воздушных потоков в электроэнергию с дальнейшим использованием её потребителем достаточно актуальна.Необходимо расширить диапазон использования таких преобразователей в различных сферах хозяйственной деятельности.

Известно о движении воздушных потоков, возникающих в тоннелях метро при перемещении в нем железнодорожного состава. Воздух под напором движущегося состава перемещается в тоннеле со скоростью этого состава. Предлагается преобразовать энергию этого (паразитного) потока воздуха в электрическую, для дальнейшего её использования в инфраструктуре метрополитена.

Особенность разработки ветрогенератора в этом случае обусловлена ограниченностью пространства (размером и конфигурацией тоннеля), в котором необходимо разместить это устройство.

Цель проекта - разработка концептуального конструктивно-компоновочного и дизайнерского решения малогабаритного ветрогенератора, использующего паразитные потоки воздуха для преобразования их в электрическую энергию, направляемую в электрические сети.

Задачи проекта:

- подбор и анализ аналогов;
- подбор и анализ возможных условий эксплуатации;
- разработка дизайн-проекта малогабаритного ветрогенератора для различных условий его эксплуатации.

В ходе работы использовалась литература [1, 3, 5, 6], осуществлен подбор и анализ аналогов, выполнены 3D-модели, отражающие конструктивно-компоновочное и дизайнерское исполнение малогабаритного ветрогенератора.

На рис. 1 представлены два основных аналога дизайнерского решения ветрогенератора с горизонтальной и вертикальной компоновкой рабочих узлов.



Рис. 1. Варианты горизонтальной и вертикальной компоновки ветрогенератора

Для стесненных условий эксплуатации, таких как тоннели метрополитена, светильники на автотрассах, коттеджи и т.п., больше всего подходит вертикальный вариант конструктивно-компоновочного исполнения ветрогенератора, как более компактный и простой по формообразованию.

На рис. 2 представлен дизайн-проект малогабаритного ветрогенератора для использования в стесненных (перечисленных выше) условиях.



Рис. 2. Дизайн-проект малогабаритного ветрогенератора

Генератор имеет небольшие габаритные размеры: D 100×450 мм, вес 2,5 кг. параметры генерации- выходная мощность 500 Вт.

На рис. 3 показаны соматографические схемы возможных вариантов эксплуатации предлагаемого генератора.

В ходе работы над темой сформировалось предложение по использованию лопастного узла разработанного генератора как преобразователя электрической энергии в ветровую (при

замещении генератора электродвигателем), т.е. превращение конструкции в бытовой прибор-вентилятор.

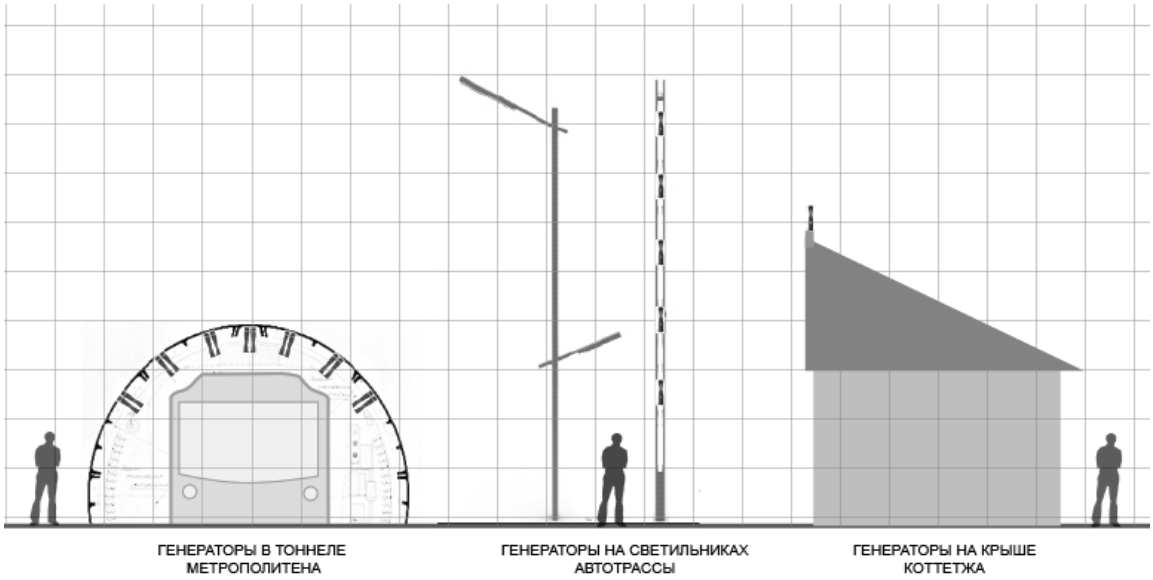


Рис. 3. Соматографическая схема возможного размещения,
разработанного ветрогенератора

Возможность сборки бытового изделия на базе представленной выше дизайн-разработки очень привлекательна для производителя, т.к. существенно увеличивает серийность основного и самого сложного в изготовлении лопастного узла, снижая его стоимость и повышая надежность и качество производимой продукции.

На рис.4 схематично представлено возможное разнообразие вентиляторов.

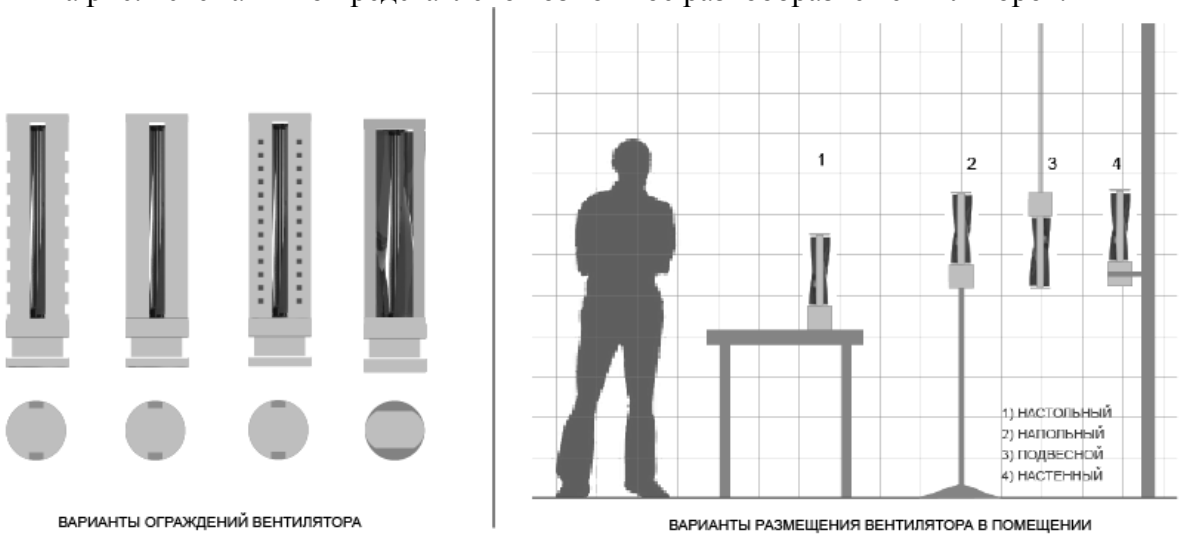


Рис. 4. Соматографическая схема использования вентиляторов

Результат разработки - концептуальное конструктивно-компоновочное и дизайнерское решение малогабаритного генератора с возможностью использования его узлов в компоновке вентилятора. Конструктивное исполнение, в составе которого используется генератор- это накопитель электроэнергии, а конструктивное исполнение с электродвигателем- это бытовой вентилятор.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Дьяченко В.А., Никитина Т.А., Серякова О.В., Хрузин Ю.Т. Методическое пособие. Проектирование и моделирование промышленных изделий-М.: Оргсервис-2000, 2007-30с.
2. Патент на изобретение № 2306129 Реабилитационный комплекс с тренажером для рук и ног. (В.А. Дьяченко, А.Г. Семёнов, Ю.Т. Хрузин и др.) 2007
3. Проектирование и моделирование промышленных изделий (С.А. Васин, А.Ю. Талащук, В.Г. Бандорин и др.) Под ред. С.А. Васина, А.Ю. Талащука-М.: Машиностроение-1,2004-692с.
4. Сомов Ю.С. Композиция в технике – 3-е изд.; перераб. И доп.- М.: Машиностроение, 1987-288с.
5. 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.
6. Лазарев Е.Н. Дизайн машин-Л.: Машиностроение. Лен. отделение, 1988-256с.

УДК 004.9

Е.В. Сименко, А.А. Бевз
Санкт-Петербургский горный университет

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ

Актуальность. Среди систем автоматизированного проектирования (САПР) наибольшую популярность сегодня приобрели так называемые системы среднего класса, в частности: KOMPAS-3D, SolidWorks, AutodeskInventor.

КОМПАС-3D - система автоматизированного проектирования с возможностью создавать 3-х мерные ассоциативные модели деталей и отдельных единиц, которые содержат оригинальные либо стандартизированные конструктивные элементы. Благодаря параметрической технологии, модели типовых изделий быстро создаются на основе ранее рассчитанных прототипов.

SolidWorks – система автоматизированного проектирования, в которой используется принцип трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования, что позволяет создавать объемные детали и компоновать сборки в виде трехмерных электронных моделей, по которым создаются двухмерные чертежи и спецификации в соответствии с требованиями ЕСКД. Главный конкурент этой системы – программа AutodeskInventor.

AutodeskInventor — одна из самых популярных трехмерных САПР для машиностроительной индустрии. AutodeskInventor сохраняет все возможности проектирования «на плоскости» и привносит в инженерно-конструкторскую деятельность новые преимущества трехмерного моделирования. По многим показателям, например, интероперабельность, документирование, смешанное моделирование, визуализация и автоматизация опережает аналогичные САПР [1].

Анализ последних исследований. AutodeskInventor изначально создавался для работы с проектами большого объема, при этом под объемом подразумевалось как количество компонентов в модели, так и количество документов (оригинальных компонентов), загруженных в память компьютера. Уже самая первая версия Inventor позволяла работать с моделью объемом свыше 10 000 компонентов, что в далеком с точки зрения IT-технологий 1999 году было недоступно многим конкурентным системам среднего уровня. С помощью данной программы можно существенно сократить затраты на цифровое прототипирование 3D-моделей разрабатываемых деталей, узлов и макетов в машиностроительной отрасли. Трехмерная реалистичная модель позволяет не только до мельчайших деталей прорисовать

все особенности будущего проекта, но и смоделировать возможные критические ситуации и вовремя скорректировать расчёты [2].

Формулирование целей статьи. В условиях, когда необходимо готовить конкурентоспособных специалистов, эффективно применяющих автоматизированные системы (программные продукты) и 3D технологии проектирования для решения задач в области своей профессиональной деятельности ставится задача освоения студентами программ, позволяющих по окончанию обучения, помимо возможности чтения и выполнения конструкторской рабочей документации, получить навыки работы с CAD системой, 3D технологиями проектирования и средствами автоматизации выполнения конструкторской документации, инструментами выполнения инженерных расчетов, визуализации и анимации изделия.

Основная часть. AutodeskInventor — это технология цифровых прототипов, предоставляющая комплексный гибкий набор средств для 3D-проектирования, визуализации, инструментальной обработки, анализа и расчетов, а также создания документации.

В основе методов проектирования деталей лежит эскизное проектирование, когда сначала намечаются контуры изделия, уточняются размеры и геометрические формы. Твердое тело будущей детали получают различными методами (вращение, выдавливание, сдвиг по направляющей, построение по сечениям). Затем производится доработка детали с помощью конструктивных элементов и других эскизов. Гибридная технология AutodeskInventor позволяет в процессе моделирования многократно переходить от работы с поверхностями к твердотельному моделированию и обратно. С помощью этой технологии можно сначала создать твердое тело, используя набор эскизов, а затем превратить его в поверхность, удалив ненужные грани. Далее можно придать поверхности толщину твердого тела и доработать новую деталь, используя конструктивные элементы.

Самое очевидное отличие твердотельного моделирования от двумерного черчения – это создание точной трехмерной компьютерной модели проектируемого изделия. Графические возможности современных компьютеров позволяют отображать эти модели с высокой реалистичностью. На Рисунке 1 представлена трехмерная модель гидрозамка, выполненная в программе AutodeskInventor.

Благодаря простоте конструкции и надежности в работе гидроцилиндры нашли широкое применение в горных комбайнах, механизированных крепях, погрузочных машинах, бульдозерах, экскаваторах и других машинах, где требуются поступательное и поворотное движения исполнительных механизмов. Распределители аналогичного типа, но несколько иной конструкции [3] встречаются в гидравлических схемах управления комбайнами. Двусторонние гидрозамки нашли широкое применение в угольных комбайнах для запирания рабочей жидкости в гидроцилиндрах, управляющих положением комбайна и его исполнительных органов в пространстве.

Горные инженеры обязаны обеспечить эффективную эксплуатацию и дальнейшее совершенствование сложных гидравлических систем и гидропневмоприводов горных машин и комбайнов, вентиляционных и дегазационных устройств шахт, рудничных вентиляторных и водоотливных установок, оборудования при гидромеханизации горных работ и, следовательно, должны обладать глубокими знаниями в области гидравлики и гидропривода.

Для большинства конструкторов возможность выразить свои разработки в трехмерном представлении означает большую творческую свободу и эффективность. Твердотельное моделирование – более естественный способ выразить суть изделия. Лучшее визуальное представление изделия помогает и на последующих стадиях жизненного цикла проекта. Например, из модели можно автоматически получить изображение всех компонентов в разобранном виде (Рисунок 2), и использовать его в качестве иллюстрации в инструкции по сборке.

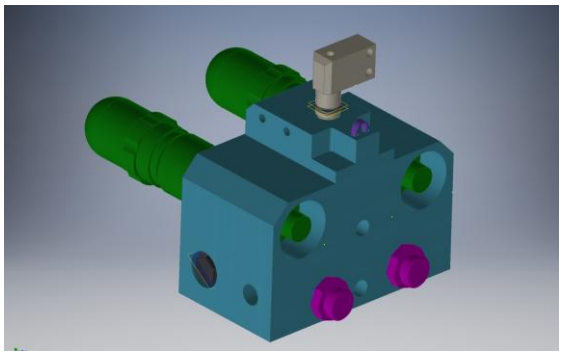


Рис. 1. Модель гидрозамка

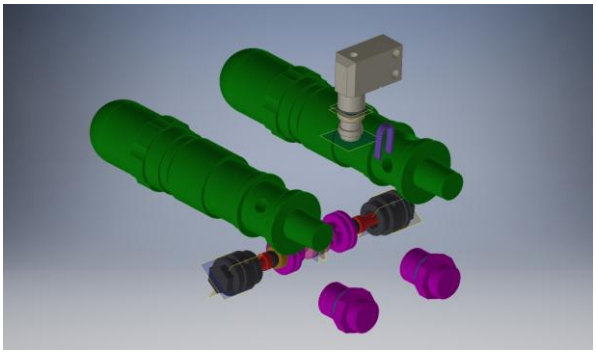


Рис. 2. Разнесение компонентов без корпуса

Одним из главных преимуществ трехмерного моделирования является возможность быстрого формирования чертежей. Виды в различных проекциях создаются автоматически. В качестве исходного материала для них служит объемная модель. Такая тесная связь двумерного и трехмерного пространств – важное положительное качество AutodeskInventor.

AutodeskInventor совместим с другими САПР, которые часто используются в инженерно-конструкторской деятельности. Это позволяет получать инженерные данные из таких САПР, управлять не только собственной, но и импортированной геометрией, использовать облачные сервисы. Одним из преимуществ AutodeskInventor является совместимость с наиболее популярным в инженерно-конструкторской деятельности форматом данных –DWG.

Выводы: AutodeskInventor позволяет студентам избежать многих ошибок при разработке изделий, т.к. дает возможность увидеть деталь, узел или изделие в том виде, как это будет выглядеть после изготовления в металле на заводе. Продолжая работать вAutodeskInventor студент может использовать созданные трехмерные модели для динамического и кинематического анализа, прочностных и инженерных расчетов. Это необходимая связь полученных знаний с умением работать в системах 3D моделирования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_33_autodesk_inventor_11.html
2. Технология цифровых прототипов: AutodeskInventor. Официальный учебный курс. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 944 с.
3. Гидравлика и гидропривод: учебник / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Г. Боруменский, А.Н. Заря. - Москва: Недра. 1981. - 295 с.
4. Большаков В.П. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D. Практикум. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010.– 496 с.

УДК 655.26

М.В. Текушина, В.В. Лаптев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВОПРОСЫ ВЛИЯНИЯ ФЛАГОВОГО НАБОРА НА УДОБОЧИТАЕМОСТЬ ТЕКСТА

В современном мире человек сталкивается с большим количеством текста. У каждого текста заданы свои, индивидуальные, параметры. С точки зрения верстки, как настроить параметры текста для оптимально эффективного чтения?

В данной работе мы представляем исследование о влиянии параметров текста, в том числе флагового набора на удобочитаемость текста. Удобочитаемость (англ. readability)

определяет легкость и комфорт, с которыми текст воспринимается и понимается. Для удобочитаемости имеют большое значение элементы дизайна: формат печатной страницы, кегль шрифта и ширина колонки. [1]

Для оценки удобочитаемости текста используются два типа показателей: полиграфические и лингвистические. К полиграфическим относятся: расстояние между буквами, жирность букв, внутрибуквенные просветы, пропорции и размеры букв, конфигурация и размер шрифтов, длина строки, цвет и контрастность букв, выравнивание текста и прочее.

К лингвистическим показателям относятся: длина слова, длина предложения, сложность синтаксических конструкций, показатели частности слова, уровень абстрактности лексики, обилие терминов, использование неологизмов и жаргонизмов и т.п.

Для измерения одного из лингвистических показателей — удобочитаемости — используется Индекс Флеша. Индекс Флеша (англ. Flesh Reading Easy – FRE) — мера определения легкости восприятия и удобочитаемости отрывка или всего текста читателем. Индекс был создан американцем Рудольфом Флешем для английского языка.

Совместно с Питером Кинкайдом была сформирована таблица для расшифровки значений индекса удобочитаемости. Формула совместно с таблицей получила название «тест удобочитаемости Флеша-Кинкайда» (Flesh-Kincaid Ready Easy Test, сокр. F-K RET). «F-K RET» был подготовлен по заказу ВВС США для оценки удобочитаемости инструкций использования военной техники в 1975 году. Начиная с 1978 года, формула была впервые введена в работу для оптимизации текстов-инструкций для военных по приказу Министерства обороны США. Используя оценку удобочитаемости, удалось добиться уровня удобочитаемости инструкций для понимания учениками 9-х классов. После этого RET начал использоваться всеми штатами США, а затем и Министерством образования США при составлении образовательных программ и учебного материала в школах и колледжах. Индекс удобочитаемости может вычисляться на основе нескольких параметров: длины предложений, слов, удельного количества наиболее частотных (или редких) слов и т. д. Для вычисления индекса Флеша для материала на английском языке используется формула: $FRE = 206.835 - (1.015 \times ASL) - (84.6 \times ASW)$, где ASL — средняя длина предложения в словах (англ. Average Sentence Length), а ASW — средняя длина слова в слогах (англ. Average Number of Syllables per Word).

Индекс по шкале FRES (Flesch Reading Ease Scale) распределяется таким образом:

100: Очень легко читается. Средняя длина предложения составляет 12 или менее слов. Нет слов из более чем двух слогов.

65: простой английский язык. Средняя длина предложения составляет от 15 до 20 слов. В среднем слова имеют 2 слога.

30: Трудно читать. Предложения содержат до 25-ти слов. Обычно, двусложные слова.

0: Очень трудно читать. В среднем предложение имеет 37 слов. Слово имеет в среднем более 2-х слогов.

Для английского языка значение 90-100 соответствует легкому тексту для младших школьников, 60-80 — тексту, который могут читать ученики старшей школы, 30-50 — тексту, который доступен для понимания людям, имеющим среднее образование, тексты с индексом 0-30 предназначены для людей с высшим образованием. [4]

В связи с тем, что в русском языке средняя длина предложения меньше (за счет меньшего использования служебных слов), а слова в среднем длиннее, было предпринято несколько попыток улучшить этот индекс: $FRE = 206.835 - (1.3 \times ASL) - (60.1 \times ASW)$, где переменные ASL и ASW имеют такие же значения, как и в формуле для английского языка.

Что касается полиграфических показателей для оценки удобочитаемости текста, они меньше поддаются формулам и расчетам. Тем не менее, на данный момент были проведены

эксперименты на данную тему с целью выявления связи между данными параметрами и удобочитаемостью.

Немецкий шрифтовой дизайнер А. Капр утверждает, что хорошо читаются известные классические и современные шрифты. [7]

Набор прописными читается на 12% медленнее прямого строчного начертания. Это связано с тем, что они примерно на 35% шире строчного начертания. Саккады при таком чтении содержат меньшее количество букв. Отчасти это можно объяснить и привычкой — мы привыкли читать книги, набранные строчными знаками.

Курсивный набор читается почти также хорошо как и прямой, но только в средних по длине текстах. То же самое можно сказать про полужирные начертания. Основным наборным шрифтом являются не слишком светлые и средние по жирности начертания.

О превосходстве гротесков в удобочитаемости над антиквой с засечками нет единого мнения. Скорость чтения всего на 7.9% выше для шрифтов с засечками, но такая разница является небольшой.

Буквы должны быть черными и печататься по белой или кремовой бумаге. Все остальные варианты с точки зрения удобочитаемости проигрывают.

Наиболее удобочитаемым для читателя — текст набранный 14 кеглем на шпоны в 2 пункта. В результате исследований было получено, что больший размер шрифта увеличивает скорость чтения, хотя и незначительно. Кегль в 14 Пт гораздо лучше по читаемости по сравнению с 12 Пт и 10 Пт. [2] Надо оговориться, что удобочитаемость набора определяется также шириной строки, качеством бумаги и печати.

Большие кегли увеличивают саккады при чтении, но рекомендуются при ослабленном зрении. Меньшие кегли читаются с большим напряжением при разглядывании знаков. Специалисты советуют начинать учиться чтению с 36 кегля. [6]

Проводимые исследования установили, что наиболее эффективное количество знаков в строке с точки зрения скорости чтения и понимания — 55 знаков. [5] Но обычно в типографике считается, что при одноколонном наборе мелким кеглем текстовой антиквой в строке должно быть от 45 до 75 знаков.

Если текст хорошо набран и напечатан, строки в 85-90 знаков не доставляют проблем при чтении небольших отрывков, таких как библиографические справки или сноски при большом интерлиньяже. Но для длительного чтения даже при большом интерлиньяже строка, состоящая более чем из 75-80 знаков будет слишком длинной.

Разумный рабочий минимум для набранного с выключкой текста на английском языке — строка в 40 знаков. Более короткие строки могут быть хорошо набраны, но в конечном счете выключенные строки длиной менее 40 знаков приведут к появлению «белой сыпи» — россыпи беспорядочных, бросающихся в глаза межсловных пробелов или «свиной щетины» — эпидемии переносов.

Когда строки короткие, текст следует набирать флагом с выравниванием по левому краю. При этом в больших текстах даже флаговый набор может выглядеть неудачно, если строки насчитывают менее 30 знаков. Но в небольших, изолированных отрывках — например набранных флагом маргиналиях — минимальная длина строки (если язык английский) может насчитывать 12-15 знаков. Эти значения длины строки во всех случаях являются средними, они включают, помимо букв, и пробелы, и знаки препинания. В большинстве текстовых шрифтов длина алфавита прямого начертания кегля 10 пунктов — 120-140 пунктов, но длина курсивного алфавита кегля 10 пунктов может составить 100 или даже менее пунктов, а длина алфавита жирного начертания того же кегля дойти до 160 пунктов. Длина алфавита кегля 12 пунктов, естественно, составляет примерно 1,2 длины алфавита кегля 10 пунктов, однако это соотношение не вполне точно, если только рисунок шрифта и межбуквенные пробелы не претерпели изменений.

В тексте, набранном с выключкой по формату, всегда необходимо находить компромисс между равномерностью межсловных пробелов и частотой переносов. Это зависит как от характера текста, так и от специфики дизайна.

Узкие форматы строк, мешающие нормальной выключке, как правило, используются при верстке текста в несколько колонок. В этих условиях флаговый набор облегчит страницу и уменьшит ее жесткость, а также поможет избежать бесконтрольного умножения переносов.

Многие шрифты без засечек лучше всего выглядят при флаговом наборе, независимо от длины строки. А моноширинные шрифты, обычные для пишущих машинок, всегда смотрятся лучше при флаговом наборе, в стандартном машинописном стиле. Пишущая машинка (или принтер подобного качества), которая выравнивает строки как при верстке, — самонадеянный аппарат, имитирующий внешнюю форму, забывая о внутренней правде типографики. [3]

Что же касается флагового набора и выключки по формату, то экспериментов на этот счет не так уж и много, особенно для русского языка. В большинстве книжных изданий используется выключка по формату, что нельзя сказать о web-тексте, который по правилам хорошего web-верстальщика располагается флаговым набором. Как следствие — появилась необходимость провести ряд экспериментов на предмет выявления связи удобочитаемости и набором текста. Данный эксперимент позволит выявить параметры текста для оптимально эффективного чтения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Феличи Дж. Типографика: шрифт, верстка, дизайн: Пер. с англ. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014.
2. David Beymer, Daniel Russell, Peter Orton An Eye Tracking Study of How Font Size and Type Influence Online Reading: the British Computer Society.: 2008
3. Роберт Брингхерст Основы стиля в типографике: Пер. с англ. — 2-е изд., перераб. и доп. — Д. Аронов, 2013.
4. Енин В.С., Гахов Р.П Алгоритм оценки удобочитаемости текстового материала, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
5. Mary C. Dyson, Mark Haselgrove The influence of reading speed and line length on the effectiveness of reading from screen, Department of Typography & Graphic Communication, The University of Reading, 2 Earley Gate, Whiteknights, Reading RG6 6AU, UK.
6. Бизяев, А. Ю. Эстетика и удобочитаемость шрифта /А Ю. Бизяев // Шрифты. Разработка и использование. – М.: ЭКОМ, 1997.
7. Капр А. Эстетика искусства шрифта М.: Книга, 1979. — 124 с.

УДК 76.01

О.В.. Драгунова, В.В. Лаптев, П.А. Орлов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ В ВЕБ-АНАЛИТИКЕ

Введение. Веб-аналитика — система измерения, сбора, анализа, представления и интерпретации информации о посетителях веб-сайтов с целью их улучшения и оптимизации.

Термин веб-аналитика охватывает многие области, которые требуют применения различных методологий или методов сбора данных. Внесайтовые инструменты используются для определения размера поенциальной аудитории, доли рекламного воздействия и "шума" (комментариев и настроений), которые имеют место в Интернете в целом. Внутрисайтовые инструменты оценивают перемещение пользователей по сайту, побудительные причины этого перемещения и эффективность веб-сайта. [1]

Понять, насколько удобен и понятен пользователям функционал ресурса, выяснить, оправданы ли инвестиции в те или иные каналы привлечения трафика, найти индивидуальные решения для повышения конверсии позволяют такие аналитические сервисы как Google Analytics и Яндекс-метрика. [2] Сервисы представляют из себя внутрисайтовые инструменты веб-аналитики.

Статистические потоки данных, полученные с помощью установленного кода, необходимо каким-либо образом визуализировать для наглядного представления динамики, структуры и иных данных или процессов. Для этого существуют диаграммы, встроенные в сервисы Google Analytics и Яндекс-метрика. Однако, визуализация статистических данных не всегда работает корректно. Этим объясняется интерес к вопросам визуализации информационной графики в веб-аналитике.

Актуальность. Такие аналитические инструменты, как Google Analytics и Яндекс-Метрика в настоящее время повсеместно используются для сбора и анализа данных веб-аналитики. Их популярность объясняется относительной простотой установки и использования. Основными пользователями упомянутых сервисов являются специалисты, занимающиеся продвижением сайтов. Под продвижением понимаются меры, направленные на увеличение потока посетителей на сайт, его оптимизацию для поисковых систем, а также меры, позволяющие достигать конечных целей владельца сайта.

Встроенная в сервисы Google Analytics и Яндекс-Метрики визуализация диаграмм способна наглядно продемонстрировать динамику различных показателей во времени, их структуру. Инструменты Google Analytics и Яндекс-Метрику позволяют выбирать различные типы диаграмм для разных типов данных. Правильно выбранный тип диаграммы способен проиллюстрировать информацию наилучшим образом, что обеспечивает корректное понимание информации зрителем.

Цель работы – повышение эффективности работы с системами веб-аналитики посредством выявления и устранения проблем визуализации диаграмм в сервисах Google Analytics и Яндекс-Метрика с точки зрения информационного дизайна.

Проблематика. Диаграммы, использующиеся в визуализации данных в веб-аналитике представляют из себя инструменты информационно-графического дизайна. Они повсеместно используются в инфографике – области коммуникативного дизайна, в основе которой лежит графическое представление информации, числовых данных и знаний. [3] Также инфографику можно определить как перевод чисел в форму рисунка, эскиза, плана, иллюстрации.

Суть инфографики заключается в ясной и удобной зрителю организации информации, которая способствует ее максимальному пониманию. Характер сравнения данных является одним из основополагающих критериев, по которым подразделяются графики. Диаграммы по характеру сравнения или по содержанию делятся на диаграммы сравнения, структурные диаграммы, динамические диаграммы (временных рядов), диаграммы распределения (вариационных рядов), диаграммы взаимосвязанных показателей. [4] На рис. 1 продемонстрированы описанные типы диаграмм.

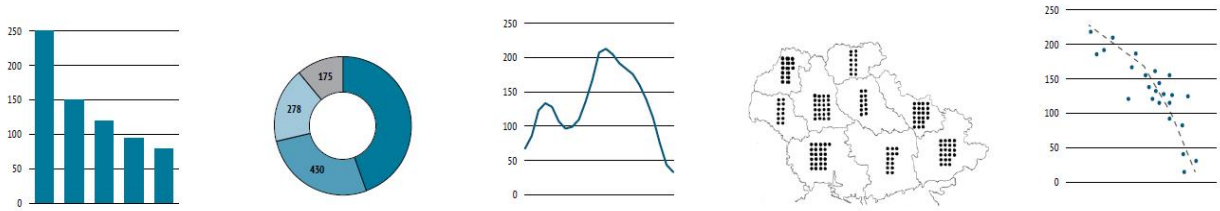


Рис. 1.

Для каждого типа диаграмм существуют определенные условия использования. Линейные диаграммы являются традиционным инструментом для графического отображения динамики длинных непрерывных процессов, например, временных динамических рядов. Брусковые диаграммы необходимы для простого или группового сравнения дискретного ряда величин, как «короткого» (до 5 значений), так и «длинного» (больше 5 значений), а также для изображения распределения совокупности по частотам (гистограммы). Область применения круговых диаграмм ограничивается визуализацией простой структуры (секторные) и усредненных цикличных показателей (радиальная). Точечные диаграммы предназначены для графического отображения случайных величин, их распределения, а также выявления корреляции.

В некоторых случаях в настроенном по умолчанию интерфейсе Google Analytics и Яндекс-Метрики данные визуализируются типом диаграммы, который не подходит для выбранного типа значений. Это приводит к сложностям с чтением графика и увеличению времени, которое требуется для полного понимания информации.

Рис. 2 иллюстрирует пример неправильного использования диаграммы для выбранного типа данных (слева). Так как данные, используемые для визуализации, являются «длинным» рядом — более 5 значений — круговая секторная диаграмма является не наглядным и не информативным способом демонстрации сравнения величин в данном случае. Справа на рис. 2 приведен пример альтернативной визуализации тех же данных — в случае использования брусковой диаграммы зрителю проще сравнить и соотнести величины.

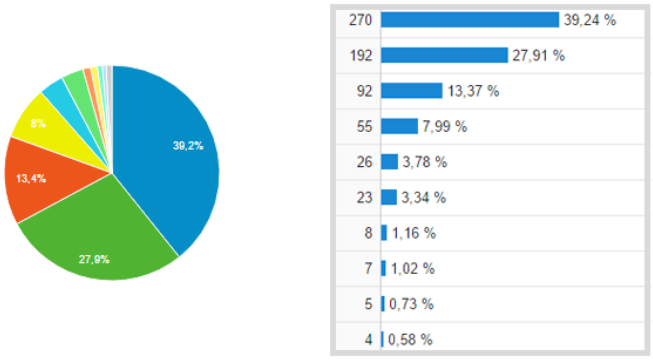


Рис. 2.

На рисунке 3 приведены примеры визуализации одной и той же информации — время пользователя на сайте — обеими аналитическими системами. Данные о длительности нахождения пользователя на сайте проще считать с графика справа по причине корректного выбора типа диаграммы.

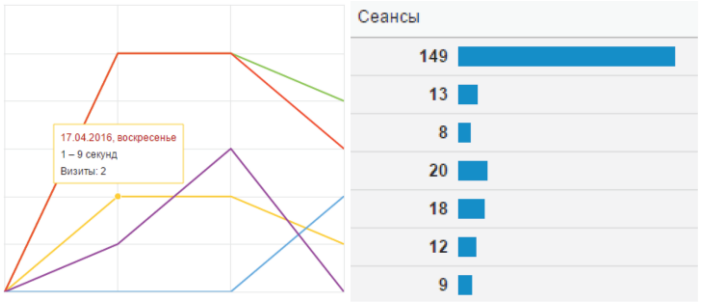


Рис. 3.

Стоит отдельно упомянуть проблематику визуализации потоко-вых диаграмм (рис. 4). Потоковые диаграммы посредством толщины линии выражают количественные показатели. [4] Проблема заключается в том, что толщина линий на данных диаграммах не позволяет зрителю сравнивать значения и получать точную информацию о том, как они соотносятся.

Результаты. В ходе работы с системами веб-аналитики Google Analytics и Яндекс-Метрика были выявлены проблемы визуализации данных. К актуальным проблемам визуализации данных в веб-аналитике можно отнести такие явления, как некорректный выбор типа диаграммы для типа данных, многообразие типов диаграмм для различных данных, что влечет за собой большую вероятность ошибки и выбора некорректного типа, а

также неэффективную визуализацию потоков пользователей в соответствующей потоковой диаграмме.



Рис. 4.

Вывод. Устранение проблем с выбором некорректного типа диаграмм относительно типа данных способно увеличить эффективность визуализации диаграмм в веб-аналитике, что способствует повышению скорости и точности восприятия информации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Брайан Клифтон. Google Analytics для профессионалов = Advanced Web Metrics with Google Analytics. — 3-е. — М.: «Диалектика», 2013. — С. 608
2. Е.А. Илюшкина, А.А. Косолобов.. Яндекс.Метрика: инструкция по веб-аналитике. – ООО «Ингейт Реклама», 2015
3. Лаптев В.В. Изобразительная статистика. Введение в инфографику. — СПб.: «Эйдос», 2012,- 10 с.
4. Лаптев В.В. Инфографика в цифровом искусстве : учеб. пособие / В.В. Лаптев ; под ред. проф. В.М. Иванова — М. : АВАТАР, 2015.

УДК 502.7; 658.567

Е.К. Жаринова, А.А. Аслямов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННОЙ УПАКОВКИ

Введение. За последние 30 лет произошел значительный скачок в развитии индивидуальной упаковки. Если раньше большое количество продуктов питания и других товаров находились на прилавках без какой-либо упаковки, то сейчас к этой группе относятся только товары продаваемые на развес. По сведенью федеральной статистики с 2009 по 2013 год количество выпускаемой пластиковой упаковки возросло с 33,86 до 68,87 млрд. шт. Столь незаменимой индивидуальную упаковку делает ряд качеств, главное из которых способность сохранения продукта и увеличения срока годности. Вторым немаловажным свойством упаковки является способность привлечения потребителя, вследствие чего возрастает конкурентоспособность товара. Но за все надо платить, и помимо достоинств индивидуальная упаковка обладает и рядом серьезных недостатков, главным из которых является сложность ее утилизации. Проблема борьбы с мусором сейчас встала перед человечеством, затронув не только развитые страны, но и отдаленные уголки планеты. Мировой океан буквально переполнен мусором из пластика. В среднем за год 1 человек

выбрасывает 400–600 кг мусора. В Санкт-Петербурге за год образуется около 8 миллионов кубометров бытового мусора, большую часть которого составляет индивидуальная упаковка. При этом искусственные полимеры практически не подвержены разложению, что ведет к накоплению пластикового мусора.

Цель работы – выявление основных проблем, возникающих при утилизации и переработке индивидуальной упаковки, анализ возможных альтернативных вариантов решения проблемы и применение полученных результатов при разработке индивидуальной упаковки продуктов спортивного питания.

Наиболее распространено в России выведения из потребления бытовых отходов путем складирования их на многочисленных полигонах и свалках. Этот метод требует выведения из пользования большого количества территорий, при этом без изоляции полигона от окружающей среды происходит загрязнение атмосферы и грунтовых вод токсичными веществами. Кроме этого из-за организационных и логистических просчетов местных администраций, дороговизны вывоза мусора и низкого уровня культуры населения происходит выбрасывание отходов вне санкционированных мест сбора и их попадание в окружающую среду.

Помимо этого в России происходит утилизация твердых бытовых отходов путем их сжигания на специальных заводах. Данный метод имеет ряд плюсов. При сжигании мусора происходит единовременное уничтожение большого количества отходов, а получаемую при этом энергию можно использовать для получения тепла или электричества. Но помимо достоинств, присутствуют и серьезные недостатки, основным из которых является то, что при сжигании бытового мусора выделяются ядовитые газы, выбрасываемые в атмосферу с дымом и провоцирующие тяжелые заболевания у людей. После сжигания твердых бытовых отходов остается ядовитый пепел, который необходимо утилизировать повторно. Этот метод подходит далеко не всегда, так как существуют материалы не подверженные горению.

Наиболее экологически безопасным методом является переработка твердых бытовых отходов с целью обеспечения вторичного использования в народном хозяйстве полученных сырья, энергии, изделий и материалов. Стекло, бумага, металлы, пластиковые отходы представляют собой ценное сырье. Их вторичное использование приводит к снижению количества бытового мусора и потребления нефти в качестве сырья для создания пластмасс, расходования древесины, перепроизводства металла и других ресурсов. Вследствие того, что способ переработки отходов зависит от их вида, в основе данного метода лежит принцип предварительной сортировки мусора, который состоит в распределении отходов по виду уже на самом первом этапе – при выбрасывании мусора. При этом получается минимальное загрязнение и перемешивание сырья и обеспечивается возможность направлять его на переработку уже соответствующим специализированным предприятиям. Подобный опыт раздельной сдачи мусора имеется в ряде европейских стран, например в Финляндия. Так же возврат тары стимулируется выплатой денег, включенных в цену товара, и таким образом формируется заинтересованность граждан.

К сожалению, в нашей стране предварительная сортировка и раздельный сбор мусора пока не производятся из-за нежелания чиновников заниматься этими проблемами. Сортировка если и ведется, то только из общей массы на предприятиях по переработке мусора и весьма поверхностно, что приводит утрате части полезного сырья и заражению окружающей среды при попадании на свалки или в печи использованных батареек или ламп, содержащих ртуть, изделий, содержащих свинец и т. п.

Следует еще учитывать, что пластмасса сложна в переработке, поскольку она часто соединена с другими материалами и может иметь различные примеси. Пластмассы изготавливаются из различных полимеров. Вместе можно перерабатывать только одинаковые виды пластика, а некоторые виды сырья не подлежат переработке [1].

Для борьбы с количеством твердых бытовых отходов возможен и сбор и повторное использование некоторых видов упаковки, но такой сбор не организуется, хотя есть большой опыт подобной работы, да и большинство производителей сейчас не предусматривают этого.

Попадание бытовых отходов в окружающую среду приводит к появлению еще одной проблемы. Природа не может переработать созданные человеком материалы, и пластики могут сохраняться практически в неизменном виде десятки, сотни и даже тысячи лет. Поэтому к современным средствам борьбы с увеличением количества мусора можно отнести использование упаковки из биоразлагаемых материалов. Для этого создаются биодеградируемые полимеры, подверженные естественному разложению при воздействии окружающей среды. Применение для изготовления упаковки биоразлагаемых природных полимеров интересно тем, что ресурсы исходного сырья постоянно возобновляемы и практически не ограничены. Наиболее широко для производства биоразлагаемых упаковочных материалов используется крахмал [2–4]. Преимущество биоразлагаемых полимеров – возможность стандартной обработки на стандартном оборудовании; низкий барьер пропускания кислорода и водяного пара; стойкость к разложению в обычных условиях; отсутствие проблем с утилизацией отходов; независимость от нефтехимического сырья. Их основные недостатки – ограниченные возможности для крупнотоннажного производства и высокая стоимость.

Принимая во внимание все изложенное выше, при разработке дипломного проекта мной в качестве материалов для изготовления упаковки для продуктов спортивного питания были выбраны биодеградирующий пластик и бумага, что приведет к ее полному разрушению в окружающей среде через некоторое время после употребления продукта или истечения срока его годности. Также был использован новый принцип проектирования данной продукции, при котором в процессе разработки закладывается многократное использование упаковки. Форма упаковки позволит использовать ее некоторое время в ином качестве. Данный подход поможет продлить срок использования упаковки и позволит сократить количество мусора в местах отдыха.

Результаты. В работе выявлена необходимость реорганизации сбора и переработки твердых бытовых отходов для более успешной борьбы с мусором и важность разработки новых материалов и методов создания индивидуальной упаковки для уменьшения нагрузки на окружающую среду.

Вывод. В связи с недостатками существующих методов утилизации и переработки отходов, а также отсутствием в России системы сортировки мусора наиболее безопасными на данный момент являются: внедрение в производство упаковки новых биодеградирующих материалов и разработка упаковки, подразумевающей многократное использование. Это не решит проблему в целом, но позволит несколько снизить ее остроту и даст время для принятия действенных организационных решений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Литвинова А. Переработка отходов. Список того, что можно и нельзя перерабатывать [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nature-time.ru/2013/10/spisok-togo-chto-mozhno-i-nelzya-pererab/.

2. Коваленко О. Биоразложение: углеродный след упаковки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.miru.ru/about/articles/id15.

3. Официальный сайт Европейской ассоциации биопластиков. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://en.european-bioplastics.org/technologymaterials/materials.

4. ГОСТ Р 54530–2011 (ЕН 13432:2000). Национальный стандарт Российской Федерации «Ресурсосбережение. Упаковка. Требования, критерии и схема утилизации упаковки посредством компостирования и биологического разложения». Дата введения – 01 января 2013 г.

УДК 519.674

А.М. Сосновских, М.А. Трифанов, Д.В. Волошинов, М.С. Кокорин
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

3D-СКАНИРОВАНИЕ И ДОПОЛНЕНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Дополненная реальность приобретает всё большее распространение в различных областях деятельности. Она может использоваться в качестве вспомогательного материала в учебном процессе, для внесения разнообразия в туристическую отрасль или в качестве вспомогательного средства в медицинской деятельности [1]. Однако несмотря на широту потенциальных областей применения, большая часть руководств по подготовке материалов для дополненной реальности отличаются большой сложностью. Нами была предпринята попытка адаптировать процесс создания модели для дополненной реальности для его восприятия неподготовленным специалистом.

Сегодня большинство приложений дополненной реальности (augmented reality) применяется как совмещения реальности и виртуального мира, например, мобильное приложение NokiaHereMaps, которое позволяет с помощью камеры отображать, номера домов, названия адресов, указывать на названия, отображать информацию о заведениях в режиме реального времени через камеру мобильного телефона или смартфона[2][4].

Другие приложения дополненной реальности позволяет с помощью камеры и специальной метки (которая может быть, как напечатана, так и запрограммирована на реальный объект) позволяют отображать виртуальный объект в реальной среде.

На первом этапе происходит создание 3D модели на основе реально существующего объекта. Известно, что объект (Рисунок 1), отсканированный с помощью 3D сканера, и объект, который создавался вручную, имеют на выходе общий формат, в данном случает FBX или OBJ. Это позволяет перенести объект в среду разработки дополненной реальности.

Этап 3D сканирования проводится с помощью фотограмметрического алгоритма, в результате получается модель объемом 200 Мб и состоящая из одного миллиона полигонов (Рисунок 2).

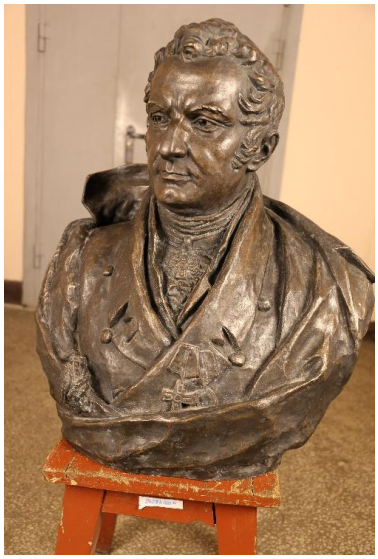


Рис. 1. Исходный объект (памятник Мухина)



Рис. 2. Отсканированная 3D модель

На следующем этапе требуется адаптировать полученную модель реального объекта для её отображения в мобильной среде. Для совмещения 3D сканирования и дополненной реальности решается проблема сокращения объема данных, полученных в результате сканирования, так как устройства, работающие с дополненной реальностью, часто не обладают достаточной вычислительной мощностью для отображения отсканированной 3D модели в режиме реального времени.

3D модель упрощается до 1 тысячи полигонов; это сокращает её объём до ~1 Мб (Рис. 3).

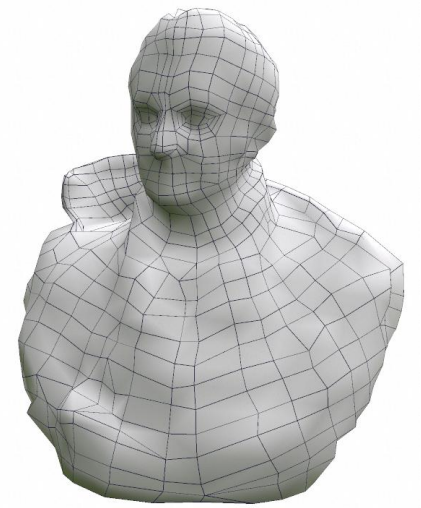


Рис. 3. Упрощённая 3D-модель



Рис. 4. Упрощённая 3D-модель с картой высот

Полигональная сетка упрощенной модели сильно отличается от полигональной стеки оригинальной модели. При назначении материала выдавливания карты нормалей (normal map), новая низкополигональная модель перенимает все геометрографические особенности высокополигональной модели (Рисунок 4).

Использование карты выдавливания (normal map) позволяет восстановить геометрическую целостность модели, при этом сохранив ее малый полигональный объем. Это позволяет просматривать трехмерные файлы на мобильных устройствах.

Последним этапом является включение созданной модели в приложение дополненной реальности. В нём (Рисунок 5) объект выглядит эквивалентно отсканированной модели исходного объекта [3].



Рис. 5. Скриншот разработанного приложения дополненной реальности



Рис. 6. Метка для приложения дополненной реальности

Размер модели существенно сократился и проблемы отображения информационных данных свелись к минимуму.

В результате это дало возможность создать мобильное приложение дополненной реальности на платформе Android, которое уже доступно в Google PlayMarket под название Museum3D, и стабильно показывает себя в работе при отображении экспонатов для 3D музея.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Виштак, Н. М. Модель построения лекционного электронного комплекса по информатике // Информатика и образование. 2009. № 10. с. 114–117

2. Жадобкина Валерия Валерьевна, Шабанов Михаил Леонидович, Лысыч Михаил Николаевич. Современные системы 3D дополненной реальности// Молодой ученый. — 2015.— №14.

3. Самойлов Алексей Александрович, Фролов Дмитрий Александрович. Обзор SDK при разработке приложений
сканирования // Молодой ученый. — 2014. —№20.

4. Технологии будущего: что представляет собой дополненная реальность? [Электронный ресурс]. // http://www.kabmir.org/reality/2565-dopolnenaya-realnost.html.

СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

УДК 621.9.048

Д.С. Зарубин, Н.Н. Горобей
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЗОНА ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ПОЛИРОВКЕ МЕТАЛЛОВ

Одной из центральных научных проблем материаловедения является проблема влияния физико-химических свойств поверхности на функциональные характеристики деталей машин, инструментов и приборов. Поэтому уровень наших знаний о структуре, составе и физических свойствах поверхностей металлических деталей, а также о физических процессах, протекающих на поверхностях при различных видах обработки или полировки, обуславливает возможность успешного развития различных областей промышленности, в том числе и машиностроения.

В последнее время особое внимание уделяется электролитно-плазменному полированию (ЭПП) металлов [1, 2]. Однако при ЭПП в течение короткого промежутка времени в локальных областях поверхности образца-заготовки происходит повышение температуры до температуры плавления. Это может привести к снижению прочностных свойств поверхностного слоя образца. В данной работе проводится исследования влияния параметров ЭПП на размеры зоны термического влияния.

ЭПП образцов-заготовок проводилось в электрохимической ячейке. ЭПП отличается от электролитно-химического полирования тем, что проводится при более высоких напряжениях $U = 300 – 400\ B$ и больших плотностях тока [2, 3]. В электрохимической ячейке металлический образец играет роль анода. При данном режиме вокруг образца возникает плотная парогазовая оболочка, толщина которой составляет $0{,}025\ см$. Эта оболочка представляет собой диэлектрический слой, который при высоком напряжении пробивается разрядами с образованием плазменного канала между электролитом и вершиной пирамидки поверхностного рельефа. Это сопровождается резким повышением локальной температуры в зоне разряда [3]. Зона разряда на поверхности металла имеет размер, не превышающий ≈ 1 мкм. В этой области происходит процесс плавления и испарения металла, а, следовательно, температура достигает температуры плавления. Однако ввиду малости расплавляемого объема и короткого времени разряда температура образца оставалась невысокой, т. е. порядка $\geq 100\ °C$. В конечном счете, в результате разрядов происходит сглаживание вершин пирамидок за счет сил поверхностного натяжения расплавленного материала.

Из экспериментов известно, что время протекания газового разряда порядка $10^{-7}\ с$. Этот факт, а также прерывистая форма разрядов в виде молний и интенсивность свечения свидетельствуют о том, что мы имеет дело с искровыми разрядами.

Распределение температуры T со временем t в образце можно найти из уравнения теплопроводности. Решение этой задачи относится к решению краевой задачи для дифференциального уравнения эллиптического типа [4]:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \Delta T\,, \qquad (1)$$

где Δ - оператор Лапласа.

В данной работе нас не интересуют детали решения этой задачи. Поэтому будем использовать решение одномерной задачи ($\Delta = \frac{d^2}{dx^2}$) с фиксированными температурами на верхней и нижней границах. В начальный момент времени $t = 0$ температура заготовки одинакова и равна комнатной температуре T_0. В начальный момент на верхней границе температура испытывает скачок. Температура на верхней границе все время поддерживается постоянной и равна $T_{пл} > T_0$. Требуется найти распределение температуры $T(x,\tau)$ в пирамидке во все последующие моменты времени. Направим ось x внутрь пирамидки. Решение уравнения (1) имеет следующий вид [4]:

$$T = A\int_0^{\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}} \exp\left(-\xi^2\right)d\xi + B, \tag{2}$$

$\alpha = \frac{\lambda}{c\rho}$ - коэффициент температуропроводности.

Остается найти постоянные интегрирования A и B. Полагая $x = 0$, $t \neq 0$, получаем $T = B$. Таким образом, постоянная B дает температуру поверхности заготовки во все моменты времени $t \neq 0$. Но в данном эксперименте она постоянна и равна $T_{\text{пл}}$. Для определения постоянной A воспользуемся начальным условием: $T = T_o$ при $t = 0$. Это дает $T_o = A\int_0^{\infty} \exp\left(-\xi^2\right)d\xi + T_{\text{пл}}$. В интегральном исчислении доказывается, что входящий сюда интеграл равен $\frac{1}{2}\sqrt{\pi}$. Таким образом, $T_o = \frac{A}{2}\sqrt{\pi} + T_{\text{пл}}$. Окончательное решение задачи имеет вид

$$T = 2\frac{T_o - T_{\text{пл}}}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}} \exp\left(-\xi^2\right)d\xi + T_{\text{пл}}. \tag{3}$$

Из фононной теории [5] теплопроводности твердого тела следует, что коэффициент теплопроводности определяется по формуле

$$\lambda = \frac{1}{3}\rho V_{\text{зв}}\left\langle l_{\text{ф}}\right\rangle c, \tag{4}$$

где $V_{\text{зв}}$ – скорость звука в твердом теле, $\left\langle l_{\text{ф}}\right\rangle$ – средняя длина свободного пробега фононов, вычисление которой является не простой задачей. Найдем коэффициент температуропроводности, от которого сильно зависит распределение температуры в пирамидке,

$$\alpha = \frac{1}{3}V_{\text{зв}}\left\langle l_{\text{ф}}\right\rangle. \tag{5}$$

Однако надо иметь ввиду того, что мы рассматриваем теплопроводность в одной пирамидке шероховатого поверхностного рельефа, в которой отсутствует трансляционная симметрия

пространства. Поэтому для оценки коэффициента α в качестве $\langle l_{\text{ф}} \rangle$ следует взять межатомное расстояние a. Тогда оценка дает $\alpha \cong 1{,}0 \cdot 10^{-8}$ м^2/с, что почти на 3 порядка меньше обычного коэффициента α, взятого для объемного материала. Это означает, что температура достаточно резко спадает в пирамидках поверхностного рельефа. Следовательно, высокая температура при ЭПП не проникает в объем металлической заготовки и не приводит к существенным структурным изменениям, в результате которых снижаются прочностные свойства металлической заготовки.

Зная α нетрудно оценить зону термического влияния $l_{\text{тв}}$ по формуле

$$l_{\text{тв}}{}^2 \cong 4\alpha t. \qquad (7)$$

Здесь t – длительность импульса подаваемого напряжения. Чем меньше импульс, тем меньше размер зоны термического влияния. При $t = 10^{-2} c$ зона термического влияния имеет размер $l_{\text{тв}} \cong 20$ мкм. При $t = 10^{-4} c$ – $l_{\text{тв}} \cong 2$ мкм. В обоих случаях размер превышает размер шероховатости. Поэтому оптимальным параметром времени является $t = 10^{-5} c$, так как в этом случае $l_{\text{тв}} \cong 0{,}63$ мкм, что не превышает размер шероховатости. Если размер зоны термического влияния не превышает размера пирамидок, то структурные перестройки, происходящие при повышенной температуре не скажутся на прочностных свойствах образца-заготовки.

При оптимальном подборе временного параметра подачи напряжения можно добиться того, что зона термического влияния не выходила за пределы шероховатости. Тем самым, мы может обеспечить сохранение прочностных свойств образцов-заготовок после ЭПП.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дураджи В.Н., Парсаданян А.С. Нагрев металлов в электролитной плазме. Кишинев. Изд. «Штиинца». – 1988. –216 с.
2. Локтев Д.Е., Ушомирская Л.А., Новиков В.И. Исследование параметров электролитно-плазменного полирования низколегированной стали методом планирования полного факторного эксперимента. Металлообработка: научно-производственный журнал. 2009. - №5 (53). – С.15-18.
3. Новиков В.И., Ушомирская Л.А. Исследование шероховатости поверхности сталей от параметров электролитно-плазменного полирования. Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов. XXXYII Неделя Науки СПбГПУ. – 2008. – Ч.IY. – С.107-108.
4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: «Наука». – 1977. – 736 с.

УДК 621.525.5

С.В. Захаров, М.Т. Коротких
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16

Одним из наиболее перспективных методов финишной обработки является метод электролитно-плазменного полирования (ЭПП). Он позволяет с высокой скоростью

обрабатывать сложнопрофильныеповерхности,к которым предъявляютсяособые требования по шероховатости.

Данный метод успешно применяется в случаях [1], когда:

– затруднена финишная обработка поверхности со сложной геометрией (пресс-формы);

– требуется гомогенный поверхностный слой (без внедрившихся абразивных частиц);

– требуются высокие декоративные свойства (зеркальный блеск).

При обработке алюминиевых сплавов методом ЭПП, наблюдается эффект травления поверхности при нахождении заготовки в растворе электролита.

Целью проводимого исследования, является подбор электролита, лишенного эффекта травления поверхностного слоя, для ЭПП алюминиевого сплава Д16 и определение рациональных условий проведения процесса.

При проведении экспериментов использовалось одно- и многофакторное планирование.

Таблица 1 – Влияние соли в составе электролита на внешний вид алюминиевого сплава Д16

Номер образца	Состав раствора	Внешний вид
1	KCl – 4%, $(COOH)_2$ – 3%	Блеск
2	NH_4Cl– 4%, $(COOH)_2$ – 3%	Осветление
3	$FeCl_3$– 4%, $(COOH)_2$ – 3%	Тёмные пятна
4	NaCl– 4%, $(COOH)_2$ – 3%	Блеск

При ЭПП в известном электролите [2], в состав которого, входит KCl и $(COOH)_2$ наблюдается активное травление поверхностного слоя.

В первой серии экспериментов проводилась обработка в различных электролитах на основе щавелевой кислоты и различных солей соляной кислоты. Условия проведения экспериментов:время обработки T = 120 сек., напряжение U = 300 B, температура раствора электролита t = 80 °С.

Оказалось, что наилучшим полирующим свойством (таблица 1) обладают электролиты, содержащие наиболее дешевые и не дефицитные соли (NaCl, KCl).

В связи с тем, что щавелевая кислота является одной из самых активных низших карбоновых кислот [3], она быстро снимает оксидную плёнку с поверхности алюминия и вызывает травление поверхности, что негативно сказывается на качестве обработанного изделия. Травление алюминия в растворе электролита после завершения процесса полирования увеличивает шероховатость и снижает отражательную способность поверхности. Поэтому во второй серии экспериментов производилось определение возможности замены щавелевой кислоты в выбранном в результате исследования растворе (NaCl – 4%, $(COOH)_2$– 2%).

В качестве заменителя щавелевой кислоты $(COOH)_2$ были выбраны менее активные карбоновые кислоты, не вызывающие процесса травления в своих слабых растворах [4] при высокой температуре: лимонная кислота ($C_6H_8O_7$) и уксусная кислота (CH_3COOH).

Условия проведения экспериментов: время обработки T = 120 сек., напряжение U = 300 B, температура раствора электролита t = 80 °С.

В результате экспериментов было определено, что электролит на основе уксусной кислоты не осуществляет полирование. На образцах (таблица 2) образовывается тёмная плёнка, предположительно, из алюмината натрия.

Электролит на основе лимонной кислоты показал результат эквивалентный электролиту на основе щавелевой кислоты.

Для определения параметров полирования реализован полный факторный эксперимент, в котором был использован электролит состава: NaCl – 4%, $C_6H_8O_7$ – 2%.

Полученные экспериментальные зависимости (Рисунок 1) показывают, что чем большей исходной шероховатостью (Ra 3,7 мкм) будет обладать поверхность, а обработка

будет осуществляться при меньшем напряжении (280 *B*), тем сильнее эффект уменьшение шероховатости (1,9 мкм/цикл). Тем не менее, уменьшение шероховатости недостаточно, чем требуется в ряде случаев при обработке алюминиевых сплавов (Ra 0,2 мкм).

Таблица 2 – Влияние состава электролита на
внешний вид алюминиевого сплава Д16

Номер образца	Состав раствора	Внешний вид
1	NaCl– 2%, CH_3COOH– 2%	Чёрный налёт
2	NaCl– 4%, CH_3COOH– 4%	Чёрный налёт
3	NaCl– 4%, CH_3COOH– 7%	Чёрный налёт
4	NaCl– 2%, $C_6H_8O_7$– 2%	Блеск
5	NaCl– 2%, $C_6H_8O_7$– 4%	Блеск
6	NaCl– 4%, $C_6H_8O_7$– 4%	Блеск,следы травления
7	NaCl– 5%, $C_6H_8O_7$– 4%	Блеск, следы травления
8	NaCl– 5%, $C_6H_8O_7$– 6%	Осветление

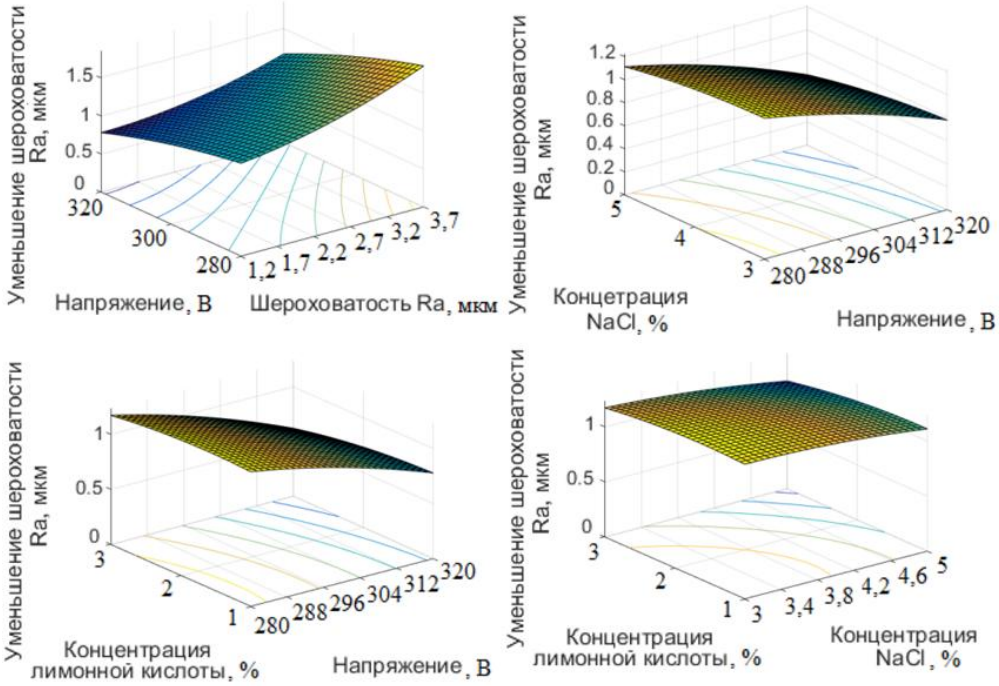


Рис. 1. Зависимость уменьшения шероховатости поверхности при ЭПП
от режимов обработки (время обработки 120 с).

При режиме с наименьшей исходной шероховатости (Ra 1,2 мкм) и наименьшем напряжении (280 *B*) уменьшение шероховатости может иметь значение порядка (1 мкм/цикл), тем самым, является наиболее близким, к искомому.

Вклад в уменьшение шероховатости концентрации NaCl и лимонной кислоты значительно меньше, вклада исходной шероховатости, при этом график имеет почти

линейную зависимость. Отсюда следует, что для ЭПП изделий из алюминиевого сплава Д16, достаточно довольно низких концентраций NaCl (3% и менее) и лимонной кислоты (2% и менее).

При этом, при относительно низкой исходной шероховатости (Ra 1,2 мкм), увеличение концентрации NaCl до 5% приводит к худшим показателям уменьшения шероховатости (до 1,1 мкм/цикл), а при высоких исходных шероховатостях (Ra 3,7) к лучшим показателям уменьшения шероховатости (до 1,9 мкм/цикл).

Так же как у NaCl, увеличение концентрации лимонной кислоты до 3% при относительно низкой исходной шероховатости (Ra 1,2 мкм), приводит к худшим показателям уменьшения шероховатости (до 1,1 мкм/цикл), а при высоких исходных шероховатостях (Ra 3,7) к лучшим показателям уменьшения шероховатости (до 1,9 мкм/цикл).

Вывод: Разработан новый состав раствора электролита, исключающий травление поверхностного слоя при погружении в него изделий из алюминиевого сплава Д16.

Определены рациональные режимы обработки деталей из алюминиевого сплава Д16. Для получения низкой шероховатости поверхности (Ra 0,2 мкм) после обработки методом ЭПП за один цикл (120 сек) рационально использование следующих технологических параметров: исходная шероховатость не более Ra 1,6 мкм, напряжение $U = 280\ B$, концентрация NaCl не более 3%, концентрация лимонной кислоты не более2%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Куликов И.С. Электролитно-плазменная обработка материалов / И.С. Куликов, С.В. Ващенко, А.Я. Каменев. – Минск:Беларус. навука, 2010. – 232 с.
2. Патент BY 7291 C1 2005.09.30 Электролитдляплазменно-электролитного полирования изделий из алюминия и его сплавов.
3. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов. – Л.: Машиностроение, 1977. – С. 113.
4. Справочник гальваностега. Г.Т. Бахвалов, Л.Н. Биркган, В.П. Лабутин. Металлургиздат, 1948. – 460 с.

УДК 66.088

Д.А. Зарубин, Л.А. Ушомирская
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТРУЙНОГО ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДЕТАЛЯМ, ПОЛУЧЕННЫМИ АДДИТИВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Введение. Метод селективного лазерного сплавления (англ.: SelectiveLaserMelting или SLM) является одним из аддитивных методов изготовления деталей. Использование данной технологии увеличивает производительность и сокращает себестоимость изготовления уникальных сложнопрофильных деталей за счет отсутствия стадии создания специальной оснастки и уменьшения количества технологических этапов. В отличие от традиционных технологий порошковой металлургии деталь из порошкового материала, полученная селективным лазерным сплавлением, имеет 99% плотность. Сущность селективного лазерного сплавления заключается в поочередном нанесении порошкового слоя материала и проплавлении его с помощью лазерного луча [1].

Одной из проблем применения данного метода является обеспечение уровня микронеровностей на поверхности готового изделия. Часто детали, полученные SLM-методом, используются в хирургии в различных протезах и требуют высокого класса

чистоты поверхности. В частности, в данной работе исследования проводились на ячеистых гексагональных решетках, полученных методом SLM и предполагающих использование в костных тканях организма человека (рис. 1).

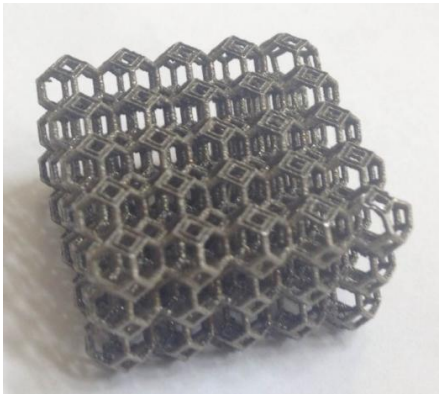


Рис. 1. SLM-решетка

После SLM детали имеют неудовлетворительную шероховатость. Связано это с эффектом сфероидизации, который проявляется в виде формирования лежащих отдельно друг от друга капель, а не сплошной дорожки расплава. Причиной этого является поверхностное натяжение, под действием которого расплав стремится уменьшить свободную поверхностную энергию путем образования формы с минимальной площадью поверхности, т.е. шара. При этом в полоске расплава наблюдается эффект Марангони, который проявляется в виде конвективных потоков из-за градиента поверхностного натяжения как функции от температуры, и если конвективные потоки достаточно сильные, то полоска расплава разделяется на отдельные капли. Также капля расплава под действием поверхностного натяжения затягивает в себя близлежащие частицы порошка, что приводит к образованию ямки вокруг капли и, в конечном счете, к увеличению пористости и шероховатости.

Для полирования изделий, полученных методом SLM, представляет интерес использование метода струйного электролитно-плазменного полирования (СЭПП), позволяющего обрабатывать сложные поверхности токопроводящих изделий [2]. Обработка поверхности электролитно-плазменным методом основана на действии импульсных электрических разрядов, которые происходят в пароплазменной оболочке, образующейся вокруг изделия, погруженного в разогретый электролит (водный раствор соли малой концентрации). За счет локализации обработки посредством струйного полива успешно решается проблема снижения требований к электрической мощности источника питания, обеспечивается постоянство параметров процесса. Реализация обратной связи по току позволяет осуществлять автоматическую подстройку напора в случае отклонения от эталонных параметров.

Цель работы – повышение качества поверхностного слоя методом СЭПП для деталей типа «Решетка» (рис. 1), полученных методом SLM. Материал изделия – 03Х16Н15М3.

Для достижения поставленной цели были проведены эксперименты с классическим погружением заготовок в электролит и при струйном истечении электролита на поверхность. Конечная оценка результатов проводилась по критерию шероховатости поверхности после обработки и проникающей глубине полирования. Последний параметр проявился на первом этапе экспериментальных исследований. Оказалось, что ячеистая структура затрудняет образование пароплазменного слоя, необходимого для возникновения низкотемпературной плазмы. Из-за этого полирование внутренних слоев решетки происходит хуже и требуется соблюдение особых условий, обеспечивающих внутреннее полирование.

Для экспериментов с использованием метода СЭПП производилась оптимизация режимов обработки, определены наиболее оптимальные значения удельного давления струи на дальнюю поверхность и максимальная глубина проникновения эффекта полирования при условии обработки поливом вертикально вверх гексагональной решетки с характерным размером ячейки 4,2 мм. Конечный параметр шероховатости, достигаемый в ходе эксперимента, считался удовлетворительным, если шероховатость поверхности снижалась до Ra 0,1 или ниже. Начальная шероховатость образцов составляла Ra 0,4..0,8.

Схема эксперимента представлена на рис. 2. Обработка проводилась при следующих режимах: рабочее напряжение $U_р = 330$ В, температура электролита $T_{эл} = 85..90°C$, время $t_{обр} = 30..240$сек. Плотность тока составила $j_A = 0{,}35$ А/см^2. В качестве электролита использовался раствор, содержащий 4% (вес.) сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$и 1% (вес.) динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты, остальное – дистиллированная вода [3, 4].

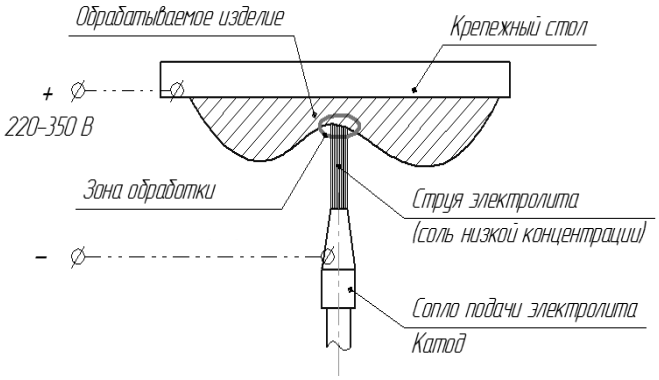


Рис. 2. Схема обработки

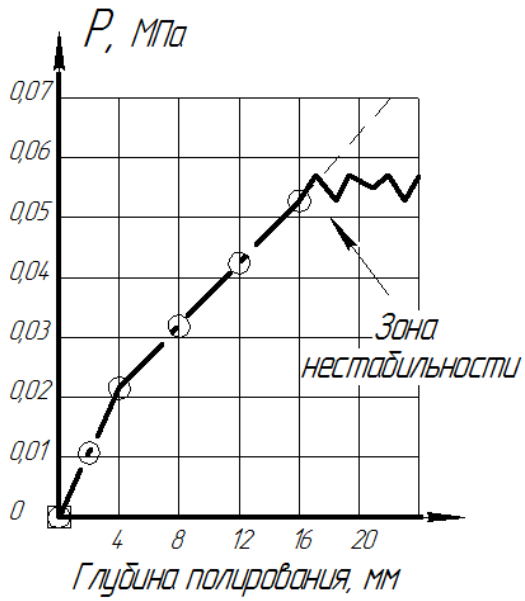


Рис. 3. График зависимости глубины проникновения эффекта полирования от удельного давления

Результаты. Полученные результаты представлены на рис. 3. Полученная лазерным сплавлением деталь полируется до зеркального блеска по областям, подвергнутым обработке. На первом этапе низкое давление струи обеспечивает полирование только близких к соплу участков, дальнейший рост давления (0,02..0,05 *МПа*) обеспечивает примерное равенство скорости струи по толщине заготовки и чем выше это равенство, тем более проникает эффект полирования. При давлениях выше 0,05 *МПа* наблюдается отрицательный эффект – высокая скорость струи не обеспечивает возникновения пароплазменной оболочки, происходят ее постоянные срывы и процесс становится нестабилен. При попытке обработать изделие при оптимальных давлениях по толщине свыше 20 мм, установлено, что в данном случае процесс ограничивает то, что при удалении катода от анода (сопла) растет сопротивление в системе анод-электролит-катод и поверхность полируется, но хуже.

Выводы. Проведенные исследования подтверждают возможность применения СЭПР для деталей изготовленных методом SLM. Установлено, что оптимальные значения удельного давления струи лежат в пределах от 0,02 до 0,05 *МПа*, а при больших давлениях процесс теряет стабильность. Максимальная глубина стабильного полирования пористого (ячеистого) образца составила 16 мм, дальнейшее увеличение глубины обработки не приводит к заведомо удовлетворительному результату. Тем не менее, метод СЭПР показал свою эффективность, и может успешно применяться для деталей, изготавливаемых методами аддитивными технологиями.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Назаров А.П. Разработка технологического процесса изготовления сложнопрофильных деталей из жаропрочного кобальтового сплава методом селективного лазерного плавления: Автореф. дис. … канд. техн. наук. – М., 2013. – 20 с.

2. Зарубин Д.А., Ушомирская Л.А. и др. Автоматизация процессов электролитно-плазменной обработки пространственно сложных поверхностей токопроводящих изделий методом контролируемого струйного полива: «Современные высокоэффективные технологии и оборудование в машиностроении» (МТЕТ – 2016) – 347 с ;

3. Куликов И.С. Электролитно-плазменная обработка материалов/ И.С. Куликов, С.В. Ващенко, А.Я. Камнев. – Минск: Беларус. Наука, 2010. – 232 с.
4. Патент: Способ электролитно-плазменного полирования деталей из нержавеющих сталей (RU 2461667).
5. Ушомирская Л.А., Новиков В.И., Фоломкин А.И. Формирование газовой анодной оболочки и ее влияние на возможности электролитно-плазменной обработки сложных поверхностей // Металлообработка: научно-производственный журнал. — СПб., 2012. — № 3 (69). — С. 11 – 14.

УДК. 621.525.

И.С. Кузьмичев, Л.А. Ушомирская
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРОТЯЖЕННЫХ, СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЯХ

Введение. Более совершенный метод, лишенный недостатков электрохимии связанных с использованием агрессивных щелочей и кислот, является метод электролитно-плазменного полирования (ЭПП). Обработка металлов происходит при постоянном напряжении в диапазоне 200 – 350 *В* и плотности тока (*j*) 0,2...0,8 *А/см*^{2}. При напряжении (*U*) более 200 *В* вокруг анода при переходе от пузырькового кипения к пленочному, у границ детали где плотность тока возрастает до значений, при которых электролит ионизируется по всей площади обрабатываемого изделия, образуется тонкая (50 – 100 *мкм*) пароплазменная оболочка (ППО). Напряженность электрического поля ППО достигает 10^4 – 10^5 *В/см* [1].

Актуальность. ЭПП позволяет значительно улучшить качество поверхностного слоя, заранее обработанного (механически) изделия, обеспечивая его финишную обработку. Полирование данным методом позволяет получать качество поверхностного слоя Ra до 0,01 *мкм*, при этом время обработки (τ) занимает не более 10 минут. Помимо увеличения чистоты поверхности, происходит ряд других улучшений поверхностного слоя, которые усиливают коррозионную стойкость и отражающую способность поверхностей изделий, обработанных электролитной плазмой. ЭПП может применяться в различных отраслях промышленности для полировки широкой номенклатуры изделий, в особенности для тонкостенных заготовок сложной формы, ввиду отсутствия сил возникающих при обработке и свойства электролита, как любого вещества в жидком агрегатном состоянии, повторять форму емкости в которую налиты. Возникающий в ППО комплекс химико-физических процессов, обеспечивает повышение класса чистоты поверхности на порядок превосходящие результаты достигаемые классическими электрохимическими или абразивными методами.

Цель исследования – повышение качества поверхности, выраженного параметром шероховатости Ra - мкм, в протяженном, сквозном отверстии, токопроводящего изделия, применяя технологию принудительного ЭПП (ПЭПП), путем позиционирования электрода катода (ЭК) эквидистантного обрабатываемому профилю.

Для достижения цели необходимо решить две задачи:

- Разработать технологию обработки протяженных, сквозных цилиндрических отверстий на установке экструзивного электролитно-плазменного полирования (ЭЭПП-100).
- Экстраполировать полученные данные на образцы сложного профиля, а именно реализовать обработку фрагмента волновода прямоугольного сечения по схеме ПЭПП с ЭК.

Исходные данные: трубка, из М3 *d* = 16 *мм*, *l* = 100 *мм*, шероховатость Ra = 0,63 *мкм*.

Получены значения параметра шероховатости Ra = 0,3 *мкм*, при этом шероховатость является неравномерным по длине трубки: становится грубее от конца трубки, на котором

монтируется насадок к середине образца, и достигает наименьшего значения шероховатости Ra = 0,02 *мкм* по направлению к выходу канала. [2].

Данный факт обусловлен природой электрического тока, который движется в направлении наименьшего сопротивления. Из-за недостаточной напряженности электрического поля в удаленных местах обрабатываемого изделия электролит не переходит в стадию кипения, что делает невозможным образование ППО. Таким образом, только при достаточной напряженности электрического поля у поверхности анода образуется высокотемпературная плазма, которая является своего рода инструментом метода ЭПП [3].

Изученные особенности образования ППО, непосредственно необходимой для реализации обработки, позволили определить ее закономерности. Как известно, существует два типа кипения жидкости: пузырьковое и пленочное. Для того чтобы в процессе ЭПП происходило снижение шероховатости путем съема микровыступов с поверхности детали, на аноде должен поддерживаться пленочный тип кипения электролита [4].

Решением проблемы стала фиксация, эквидистантного обрабатываемому отверстию, ЭК посредством двух элементов оснастки монтируемых по концам заготовки при обеспечении прокачки электролита со скоростью обеспечивающей пленочное кипение рабочей жидкости в межэлектродном зазоре, и обеспечение точности соосности ЭК с отверстием (не грубее 0,1 *мм* при обработке заготовок – $d_{отв}$ = 16 *мм*, l = 100 *мм*), для реализации ЭПП в отверстии.

Для обеспечения возможности сравнения степени равномерности обработки введем критерий равномерности $C = \frac{Ra_{min}}{Ra_{max}}$. При обработке цилиндрического образца, получаемое качество поверхностного слоя Ra = 0,06 – 0,07 *мкм*. C = 0,85, соответственно степень равномерности шероховатости Ra по длине обрабатываемого отверстия удовлетворительна.

Таким образом, разработана технология ПЭПП и определены ее особенности при обработке внутренних поверхностей и постоянстве выходных характеристик по длине.

Метод исследования. Варьируемыми параметрами были выбраны: концентрация электролита n, % (3, 5, 7), температура электролита T, °С у входа в оснастку (70, 80, 90), диаметр ЭК $D_{ЭК}$, мм, который выбирается из отношения к диаметру обрабатываемого отверстия $d_{отв}$ = 16 *мм* (2/8, 3/8, 4/8) и скорость потока электролита $V_{потока}$, обеспечивающая пленочное кипение рабочей жидкости.

По результатам полнофакторного эксперимента были получены следующие закономерности - шероховатость уменьшается в диапазоне от 0,23 *мкм* до 0,06 *мкм* при уменьшении отношения диаметра ЭК к диаметру отверстия с 4/8 до 2/8 и температуры электролита с 90°С до 70°С. Это объясняется тем, что при увеличении межэлектродного зазора стабилизируется процесс образования ППО, а минимальная температура способствует процессу пленочного кипения электролита, за счет чего улучшаются условия образования ППО и интенсивность полирования возрастает. Шероховатость уменьшается в диапазоне от 0,23 *мкм* до 0,06 *мкм* при уменьшении концентрации электролита с 7% до 3% и скорости потока рабочей жидкости. Это объясняется тем, что при большей скорости потока электролита происходит сдувание парогазовой оболочки, а при увеличении концентрации улучшается проводимость электролита, ввиду чего интенсивность тепловыделения возрастает, процесс кипения принимает переходный характер, снижается эффективность полирования.

Результаты. Итак, для достижения наименьшей шероховатости при использовании технологии ПЭПП и обеспечения равномерности обработки по длине заготовки необходимо обеспечить равномерную инициацию ППО по всей площади внутренних поверхностей изделия. ЭК должен быть эквидистантным профилю обрабатываемого отверстия и позиционирован с максимальной точностью. Рациональные режимы: электролит, используемый при обработке медных трубок – 3% водный раствор аммония сернокислого.

Диаметр ЭК ($D_{ЭК}$) назначается в 2/8 от диаметра обрабатываемого отверстия ($d_{отв}$). U = 300 В; τ = 2 *мин*; T = 70 °С.

Экстраполируя полученные данные по обработке цилиндрических образцов на образец с отверстием прямоугольного профиля, а именно фрагмент волновода: a = 14 *мм*, b = 28 *мм*, длинной l = 100 *мм*, назначаем ЭК с габаритами a = 3,5 *мм*, b = 7 *мм*, и изготавливаем оснастку для фиксации фрагмента волновода и ЭК с точностью соосности не грубее 0,2 *мм* (рис. 1).

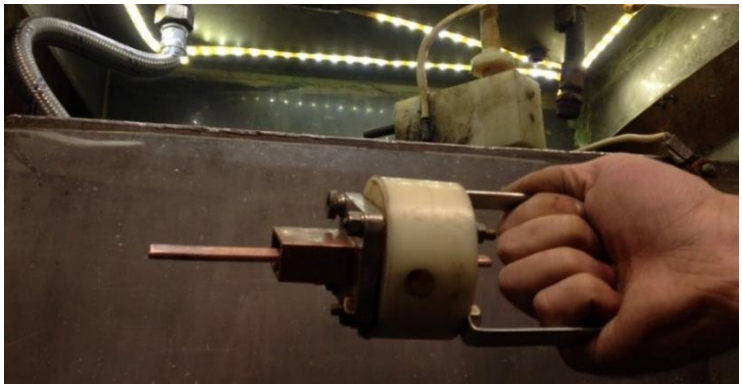


Рис. 1. Фрагмент волновода, базируемый в специальной оснастке при ПЭПП с ЭК

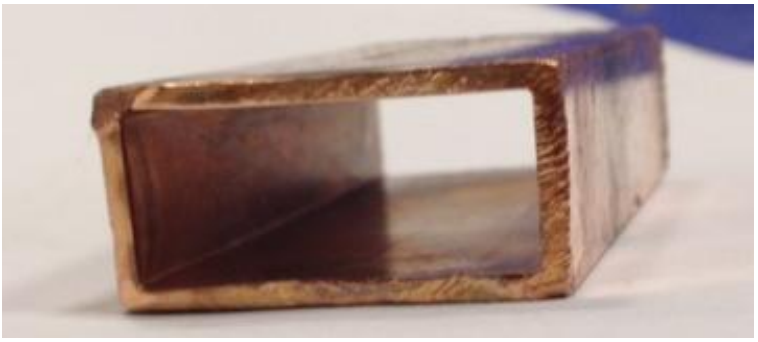


Рис. 2. Фрагмент волновода, обработанный по технологии ПЭПП с ЭК

При обработке фрагмента волноводной трубы с исходной шероховатостью Ra = 0,63 *мкм*, была получена шероховатость Ra = 0,29 – 0,37 *мкм* после одной минуты обработки по технологии ПЭПП с ЭК (рис. 2.), коэффициент равномерности в данном случаи С = 0,78 и удовлетворяет требованию к однородности шероховатости поверхностей по длине образца.

Выводы.

– Разработана технология обработки протяженных, сквозных цилиндрических и сложнопрофильных отверстий с линейной осью ПЭПП с ЭК. Найдены основные закономерности и обеспечено постоянство выходных характеристик.

– При обработке меди и сплавов на ее основе с исходной шероховатостью Ra ≈ 0,63 *мкм* получаемое качество поверхностного слоя Ra находятся в пределах 0,29 – 0,37 *мкм*, используя рациональные режимы: T = 70°С; U = 300 *В*; τ = 1 *мин* для прямоугольного фрагмента волноводной трубы длинной l = 100 *мм*, ЭК эквидистантен обрабатываемому профилю и масштабируется до 0,25 от габаритов отверстия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Воленко А.П. Некоторые особенности технологии ЭПП аустенитой нержавеющей стали. Вектор науки ТГУ. №2 (24), 2013. Тольяттинский государственный университет.

2. Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 5-й Международной научно-практической конференции. / Под ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 1445 с.; УДК. 621.737.79, Ушомирская Л.А., Кузьмичев И.С.; Финишная технология обработки внутренних поверхностей потоком смеси парогазовых компонентов при повышенном напряжении.
3. Воробьев Г.А., Похолков Ю.П., Королев Ю.Д., Меркулов В.И. Физика диэлектриков (область сильных полей). Томск: ТПУ, 2003. 244 с.
4. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов /под ред. П.М. Вячеславова.: Машиностроение, 1983. 101 с.

УДК 621.9.048

Е.Л. Левашова, В.Н. Кудрявцев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Процесс электроконтактно-абразивной обработки (ЭКАО) сложный процесс, который характеризуется целым рядом конструктивных и физических параметров, тесно связанных между собой. Актуальность нахождения оптимизационного решения обуславливает снижение себестоимости процесса обработки и как результат снижение стоимости готового изделия, что приведет к повышению конкурентоспособности в рамках ценовой политики по отношению к готовому изделию. Цель исследования – оптимизировать рабочие параметры ЭКАО. Задача исследования – выявление способов оптимизации ЭКАО. Критерием оптимизации, при анализе режимов черновой и получистовой обработки была принята технологическая себестоимость процесса, которая отражает связь технологических режимов оптимизируемой операции с производительностью и энергоёмкостью процесса. Методы исследования – графоаналитические и методы математического моделирования.

Основными параметрами ЭКАО являются: скорость вращения электрод-инструмента (ЭИ) V, скорость подачи V_s, глубина обработки t, напряжение источника питания (ИП) U_{xx} и сила тока I. [1]

В результате анализа технологических параметров ЭКАО в качестве оптимизируемых переменных были выбраны скорость подачи V_s и напряжение ИП U_{xx}. (для стали 12Х1818Н10Т – V_s = 3,3…5,3 *мм/с*, U_{xx} = 30…36 *В*, при обработке заготовок из стали 45 - V_s = 2,5…4,8 *мм/с*, U_{xx} = 35…42 *В*)

При ЭКАО минимальная энергоёмкость процесса достигается при полной загрузке ИП по току, при этом в межэлектродном пространстве (МЭП) устанавливается минимальное для данной потребляемой мощности N рабочее напряжение U_p и минимальный межэлектродный зазор. Учитывая, что напряжение U_p является функцией тока и определяется жесткостью вольтамперной характеристики ИП, необходимое напряжение ИП U_{xx} можно определить по формуле:

$$U_{xx} = \frac{N + I_p^2\left(R_{вн} + R_k\right)}{I_p} \qquad (1)$$

где $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление ИП, R_k – суммарное сопротивление переходных контактов, N – мощность, реализуемая в МЭП, I_p – рабочий ток технологической цепи.

В зависимости от мощности, реализуемой в МЭП – I_p=$I_н$. Т.о. технологические режимы, полученные в результате расчета, будут обеспечивать стабильность процесса и минимальную энергоёмкость.

Целевая функция представлена в виде технологической себестоимости операции ЭКАО

$$F = C_{зо} + C_a + C_э + C_u \quad (2)$$

где $C_{зо}$ – заработная плата основных рабочих; C_a – затраты на амортизацию оборудования; $C_э$ – затраты на электроэнергию; C_u – затраты на инструмент.

В целевую функцию включены только те элементы себестоимости, которые непосредственно зависят от времени выполнения операции [2], а такие элементы как затраты на приспособления, содержание зданий, на смазочно-обдирочные материалы и др. – исключены, т.к. они не зависят непосредственно от оптимизируемых параметров.

Заработная плата основных рабочих определяется по формуле:

$$C_{зо} = C_з K_д K_i K_C T_{шт} \quad (3)$$

где $C_з$ – часовая тарифная ставка, $K_д$, K_i, K_c – коэффициенты, учитывающие соответственно дополнительную заработную плату, приработок рабочих и отчисления в фонд социального страхования, $T_{шт}$ – штучное время.

Затраты на энергию при ЭКАО складываются из затрат на силовую энергию и технологическую. Последняя идет непосредственно на расплавление припуска и зависит от мощности N, потребляемой при ЭКАО. Затраты на технологическую энергию рассчитываются по формуле:

$$C_{ЭТ} = \frac{Nl}{V_s \cdot 60} k_з Ц_э \quad (4)$$

где N – мощность, потребляемая в процессе ЭКАО; $k_з$ – коэффициент загрузки ИП в процессе ЭКАО ($k_з$ = 0,95); $Ц_э$ – стоимость электроэнергии.

Затраты н силовую энергию, потребляемую при ЭКАО определяли по формуле

$$C_э = \frac{N_y K_{вр} K_N K_{од} K_W T_{шт}}{\eta K_в} Ц_э \quad (5)$$

где N_y – суммарная установленная мощность электродвигателей; $K_{вр}$ – коэффициент загрузки по времени; $K_{од}$ – коэффициент одновременности работы электродвигателей; $T_{шт}$ – штучное время на операцию; K_W – потери электроэнергии в сети завода.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по выражению

$$C_a = \frac{K_{oi} \mu_{oi} a}{100 Q_{ГЗ}} \quad (6)$$

где K_{oi} – балансовая стоимость оборудования; μ_{oi} – коэффициент занятости; a – норма годовых отчислений; $Q_{гз}$ – годовое количество продукции.

Затраты на инструмент при ЭКАО плоскостей определяется по формуле:

$$C_U = \frac{K_U K_{уб}}{n} \quad (7)$$

где K_U – стоимость инструмента; $K_{уб}$ – коэффициент, учитывающий случайную убыль инструмента.

Сравнение полученных рациональных режимов с режимами фрезерования плоскостей показывает, что при ЭКАО легированных материалов достигается повышение производительности в 2,0…2,5 раза.

Оптимизация целевой функции проводилась методом поиска по деформируемому многограннику (Нелдера-Мида) в совокупности с методом специальных функций. Суть метода Нелдера-Мида заключается в том, что для минимизации функции $F(x_1, x_2, \ldots x_n)$ n независимых переменных строится многогранник, имеющий $(n+1)$ вершину. После вычисления значений целевой функции $F(x_j)$ в каждой вершине, находится вершина с наибольшим значением, которая проецируется через центр тяжести остальных вершин.

Улучшенное значение целевой функции находится последовательной заменой вершин с максимальным значением $F(x_j)$ на вершины с более низким значением.

Данный метод характеризуется относительной простотой вычислений и быстротой сходимости.

Критерием конца поиска является условие:

$$\left\{\frac{1}{n+1}\sum_{j=1}^{n+1}\left[F\left(x_{jk}\right)-F\left(x_n^e\right)\right]^2\right\}^{0,5} \le \varepsilon \qquad (8)$$

где ε – заданная точность поиска.

Оптимизационная задача по данной целевой функции была реализована с помощью программного пакета MatLab [3]. Математическое моделирование показало, оптимальная скорость подачи при обработке легированной стали, для приведенного случая, составляет V_s = 4,85 *мм/с*, а для стали 45 – V_s = 3,8 *мм/с*. На рис. 1 приведена графическая интерпретация полученных значений.

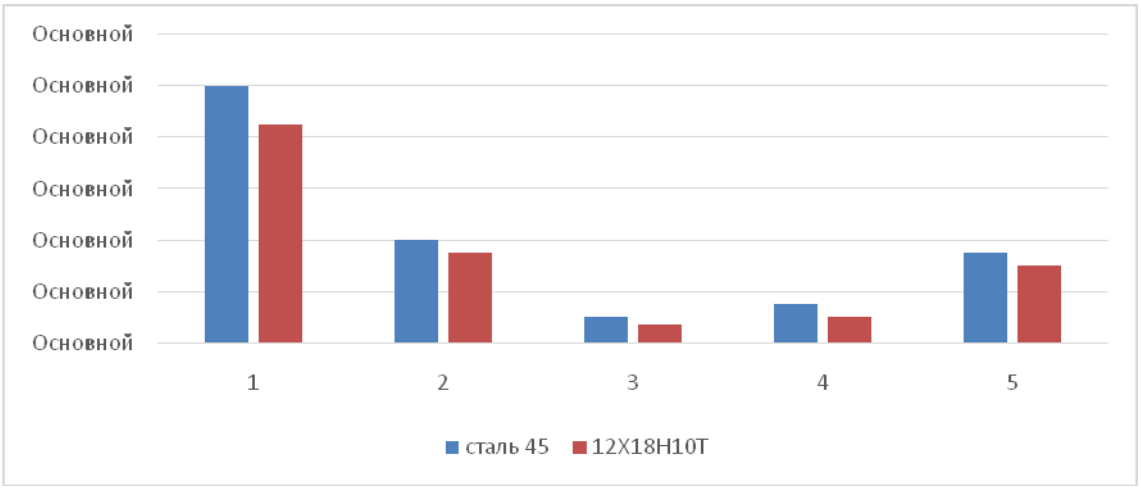


Рис. 1. Диаграмма элементов себестоимости ЭКАО плоскостей:
B = 60 *мм*, t = 8 *мм*; *1* – полная себестоимость, *2* – заработная плата, *3* – затраты на амортизацию, *4* – затраты на электроэнергию, *5* – затраты на инструмент

Диаграмма основных элементов себестоимости показывает, что основная часть затрат при ЭКАО плоскостей приходится на заработную плату (35-40%) и расходы на инструмент (25-30%). Затраты на амортизацию не превышают 15% от общей себестоимости обработки. Также следует отметить, что предложенная методика проще оптимизации электроэрозионной обработки с использованием цилиндрических функций Бесселя [4].

Выводы. В результате предложенной методики – вычисления целевой функции методами MatLab – разработанная целевая функция и результаты оптимизации могут использоваться в двух вариантах. При серийном производстве в виде графиков, рассчитанных для конкретных типоразмеров заготовок, а при большой номенклатуре изделий в виде модулей программного пакета MatLab, которые индивидуально учитывают свойства обрабатываемого материала и технологические характеристики оборудования. Это позволит более широко применять метод ЭКАО в промышленности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Л.А. Ушомирская, В.А. Гладышев Усовершенствование конструкцииэлектрод-инструмента для электроконтактно-абразивной обработки стали 40Х за счет перемещения электрода-пластин // XLI Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Ч. IV. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – С. 133.

2. Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов/ Под ред. Ю.М. Барона. — СПб.: Питер, 2012. — 512 с.
3. Дьяконов В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002.
4. В.Н. Кудрявцев, И.М. Дроздов Разработка модели оптимизации для электроэрозионной прошивки сплавов // Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Часть 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 141-143.

УДК 621.7.09

С.О. Ледовский, М.Т. Коротких
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Цель работы — Разработка программы исследования качества поверхностей цилиндрических поверхностей деталей машин после обработки методами отделочной пластической обработки на станках с ЧПУ и специального инструмента для её реализации.

Методы пластической отделочной обработки поверхности металлических заготовок известны уже более 50 лет. К таким методам относятся процессы обкатывания, раскатывания, алмазного выглаживания и прочее, в том числе и с наложением ультразвуковых колебаний.

Табл. 1. Характеристики поверхности после указанных способов обработки

Вид обработки	Шероховатость	Квалитет
Токарная обработка	50...6,3	9...12
Шлифование	3,2...0,4	4...9
Хонингование	0,63...0,04	5...6
Обкатывание и раскатывание	0,4...0,05	(по предшествующему методу обработки)
Алмазное выглаживание	0,32...0,08	(по предшествующему методу обработки)

Ранее неоднократно применялись попытки применения этих методов, как при токарной обработке, так и весьма ограничено на станках других типов. Однако до сих пор широкого распространения в промышленности эти методы не получили. Это связано в основном с тем, что низкая шероховатость поверхности чаще всего требуется на поверхностях выполняемых с высокой точностью, 5…7 квалитета. Однако эти методы не позволяют повысить точность обработки, так как съем металла при их реализации практически отсутствует. В то же время экономическая точность токарных станков обычно соответствовала 9...10 квалитету (см. табл. 1), что не позволяло производить обработку за одну установку заготовки на токарном станке, а при обеспечении требуемой точности шлифованием смысл обкатывания или выглаживания терялся, так как требуемая шероховатость обеспечивалась на шлифовальном станке. Производственных же случаев, при которых требовалось получение низкой шероховатости при низкой точности обработки было чрезвычайно мало.

В настоящее время ситуация кардинально изменилась с появлением на рынке и в промышленности токарных станков с ЧПУ экономическая точность обработки которых составляет 5…6 квалитет [4].

Например у станков фирмы OKUMA серий LU заявленная точность является ±0,004 мм. У токарно-револьверных обрабатывающих центров серии HAASST - ±0,005 мм.

Однако, несмотря на высокую точность данного оборудования проблемы получения низкой шероховатости определяются в основном взаимодействием инструмента и заготовки, а во многом контактным взаимодействием этих материалов. В этих условиях актуальным является создание простого инструмента для токарных станков с ЧПУ, позволяющего устанавливать его в обычные инструментальные магазины и отработка надежных технологических рекомендаций, позволяющих включать такую обработку с общую программу обработки заготовок резанием. Также значительный интерес представляет анализ возможностей упрочнения поверхностных слоев обработанной детали и влияние методов пластической отделочной обработки на точность поверхностей, так как в условиях получения особо точных поверхностей (5 квалитета) изменение величины шероховатости, достигаемое методами пластической деформации может быть сравнимо с величиной погрешности токарной обработки. Необходимо также получить надежные данные об изменении размеров тонкостенных деталей как при раскатывании, так и при обработке выглаживанием, так как без точного прогнозирования результатов обработки использование данных процессов в условиях автоматизированного производства невозможно.

Особого внимания заслуживает инструмент для реализации этих способов. Имеющаяся информация об инструменте для алмазноговыглаживания показывает, что он разрабатывался в основном для лабораторных исследований..

Специфические свойства инструментального материала при алмазномвыглаживании обеспечивают высокую твердость, малый коэффициент трения при работе по металлической поверхности, значительную износостойкость, хорошую теплопроводность и термостойкость. Кроме того, алмаз легко полируется до шероховатости Ra = 0,02-0,08 мкм. Все эти свойства алмаза позволяют обрабатывать любые материалы с твердостью от 62-63 $HRC_э$ и выше) [1].



Рис. 1. Устройство для заготовки

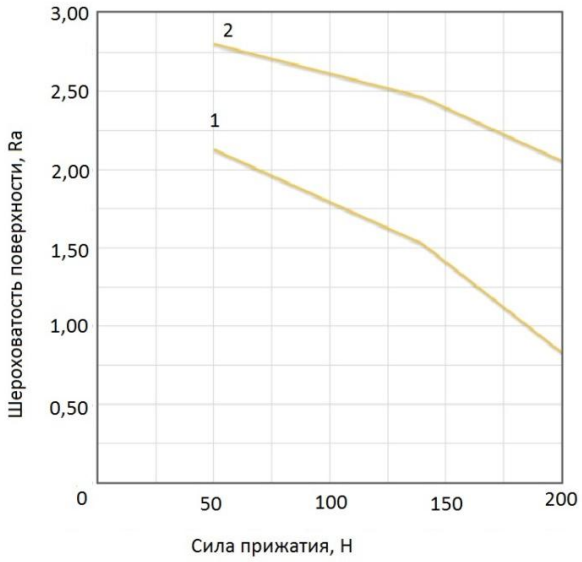


Рис. 2. Зависимость шероховатости от усилия прижима алмазного выглаживания Ra=3.3мкм;
Подача S=0,06 мм\об):
1). V=1250 м\мин; 2). V=630 м\мин;

В литературе отмечается, что использование в качестве деформирующего элемента алмаза с радиусом закругления 0,5-3 мм требует малых усилий деформирования, в связи с

чем выглаживанием можно обрабатывать детали с небольшой толщиной стенок (до 0,5 мм) и небольшими диаметрами (4-5 мм) [2, 3].

Спроектированное и изготовленное устройство для выглаживания (рис. 1) позволяет точно регулировать усилие прижима наконечника и может оснащаться электронным датчиком усилия, что позволит использовать его в автоматизированном производстве.

Выводы:

1. Спроектированное устройство для выглаживания позволяет производить обработку при широком изменении усилий прижима индентора при отсутствии вибраций.
2. Увеличение скорости обработки и усилия прижима индентора приводитк снижению шероховатости обработанной поверхности.
3. При обработке толстостенных заготовок изменение диаметрального размера происходит на величину не превышающую величину исходной шероховатости поверхности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Орнис Н.М. Основы механической обработки металлов. Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1968. – 230 с.
2. Третьяков А.В., Трофимов Г.К., Гурьянова М.К. Механические свойства сталей и сплавов при пластическом деформировании справочник. – М.: Машиностроение, 1971. – 62 с.
3. Степанова Т.Ю., Технологии поверхностного упрочнения деталей машин.Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2009. – 64 с.
4. Ловыгин А.А., Васильев А.В., Кривцов С.Ю. Современный станок с ЧПУ и CAD CAM. Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2006. – 286с.

УДК 669. 785.004.

Ю.Г. Иванов, М.А. Жукова, Е.Н. Крупкина, М.В. Яковицкая
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА УПРОЧНЕНИЕ ФЕРРИТА В СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЯХ

В промышленности и строительстве широко используют недорогие низколегированные малоуглеродистые стали. Они обладают повышенной технологичностью и хорошей свариваемостью. Проблемы повышения прочности, сопротивления хрупким разрушениям этих сталей связано с разработкой процессов термического, термомеханического упрочнения и рационального их легирования. В последние годы повысился интерес к исследованию процессов превращения в перлитной области, так как одним из важных факторов благоприятного влияния легирования на свойства малоуглеродистых сталей является повышение прочности феррита.

В ряде работ выполнены исследования по влиянию легирующих элементов на упрочнение феррита в безуглеродистых бинарных сплавах. При этом упрочнение феррита связывается с увеличением сопротивления движению дислокаций вследствие изменения силы межатомных связей, степени и характера искажений кристаллической решётки и величины зерна. Большую практическую ценность применительно к малоуглеродистым сталям имеют исследования влияния легирования на свойства и механизм упрочнения доэвтектоидного феррита в сплавах железа с углеродом, так как создают предпосылки для оптимизации химического состава указанных сталей и технологических процессов их упрочнения. Известно [2, 3], что феррит упрочняет легирование. При этом упрочнение связывается или с наличием в феррите дисперсных карбидных частиц, выделяющихся из аустенита до начала или в процессе превращения, или тем, что в процессе превращения аустенита ниже A_{c1} образуется не равновесный феррит, а пересыщенный твёрдый раствор

углерода в α - фазе (черновит), который при температурах его образования может быстро отпускаться, превращаясь в феррито-карбидную смесь.

В данной работе исследовался доэвтектоидный феррит (α-фаза), образующийся в процессе изотермического превращения в монолегированных сталях следующего состава (таблица 1).

Таблица 1.

Химический состав сталей

Марка стали	Содержание элементов, мас. %							
	C	Mn	Si	Cr	Mo	W	V	$A_{c1,\,^{\circ}C}$
17Ф	0,17	0,43	0,34	-	-	-	0,69	725
40А	0,40	0,45	0,26	-	-	-	0,74	728
16Х3	0,16	0,35	0,21	3,40	-	-	-	806
16М	0,16	0,42	0,33	-	0,71	-	-	726
25В	0,25	0,35	0,18	-	-	1,40	-	728
13С2	0,13	0,42	2,00	-	-	-	-	780

Образцы (пластины размером 1,2х20х15 мм) после аустенизации при температуре 1200 ˚С (для сталей, содержащих ванадий) в течении 7 мин в ванне с расплавом BaC_2, переносились в изотермическую среду (соляную ванну) и после выдержки заданной продолжительности охлаждались в соляной ванне. Высокая температура аустенизации обеспечивала полное растворение карбидов и способствовала получению крупного зерна аустенита. Это было подтверждено микроструктурными исследованиями и измерением микротвёрдости. Время выдержки при температурах изотермической среды определялось по данным исследования кинетики превращения (таблица 2).

Таблица 2.

Режимы термической обработки

Температура изотермической среды, ˚С	Время выдержки, с					
	Марка стали					
	13С2	16Х3	16М	24В	17Ф	40Ф
750	-	300	-	-	-	-
725	12	300	-	120	-	-
700	12	300	60	120	30	60
675	12	300	60	120	30	60
650	12	300	60	120	30	60
625	12	-	60	120	30	60
600	12	-	60	120	30	60
575	-	-	60	-	-	-

Так как известна однозначная зависимость между временным сопротивление и твёрдостью, то упрочнение α – фазы оценивали по величине микротвёрдости, получаемой в результате статистической обработки многочисленных измерений (не менее 100). Измерения проводились на микротвёрдомере ПМТ-3М при нагрузке 20 г в участках α – фазы, размеры которых позволяют получить надёжные результаты (степень распада не менее 20 %). Для сравнения микротвёрдости α – фазы, образующейся в изотермических условиях, и микротвёрдости равновесного феррита применялись эталонные образцы. В качестве эталонных использовались образцы тех же сталей, в которых произошло полное превращение аустенита при наиболее высокой изотермической температуре исследованного интервала, а затем дополнительно отпущенные при температуре A_{c1} -20˚С в течении 10 часов

с последующим медленным охлаждением с печью. Для удаления поверхностного наклёпанного слоя, который может оказать влияние на результаты, после механической шлифовки образцы подвергались электролитической полировке с удалением поверхностного слоя толщиной не менее 0,1 мм.

Исследование показало, что наиболее существенное влияние на упрочнение α – фазы и процессы структурообразования оказывает ванадий [1, 4]. Установлено, что в стали 17Ф при превращении аустенита в интервале 700 – 600 ˚С образуется α – фаза, имеющая выше 650 ˚С равноосное, а ниже – видманштеттово строение, перлит (псевдоэвтектоид) не образуется. В стали 40Х после образования α – фазы, которая выше 625 ˚С имеет равноосное, а ниже – видманштеттово строение, появляется весьма незначительное количество перлита (псевдоэвтектоида). На рис. 1 представлены результаты измерения микротвёрдости α – фазы после превращения аустенита в стали 17Ф в течении 30 с и в стали 40Ф в течении 60 с в указанном выше температурном интервале. Микротвёрдость доэвтектоидной α – фазы значительно отличается от микротвёрдости равновесного феррита. Она повышается по мере понижения температуры изотермы, приближаясь к микротвёрдости мартенсита у этих сталей. Для проверки последнего предположения будет проведено в будущем рентгеноструктурное исследование. Результаты статистической обработки измерений микротвёрдости α – фазы сталей, легированных хромом, вольфрамом, молибденом представлены на рис 2. Микротвёрдость α – фазы в этих сталях значительно ниже, чем α – фаза сталей, легированных ванадием (см. рис. 1). С понижением температуры образования микрообъёмов α - фазы (и увеличением изотермической выдержки до 5 мин.), её количество и значения микротвёрдости α – фазы значительно повышаются.

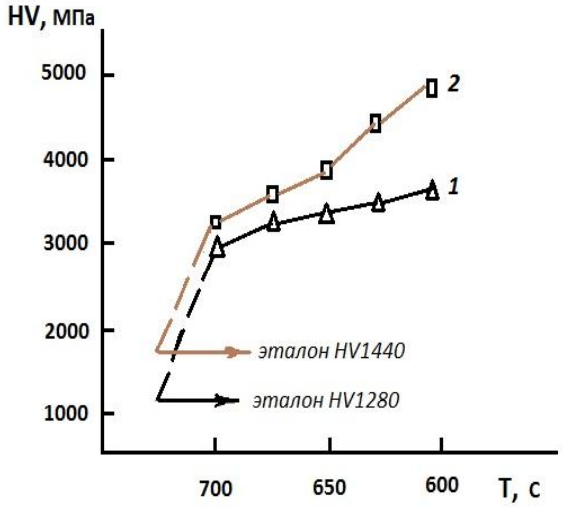


Рис. 1. Зависимость микротвердости α-фазы от изотермической температуры ее образования:
1 – сталь 17Ф, 2 – сталь 40Ф

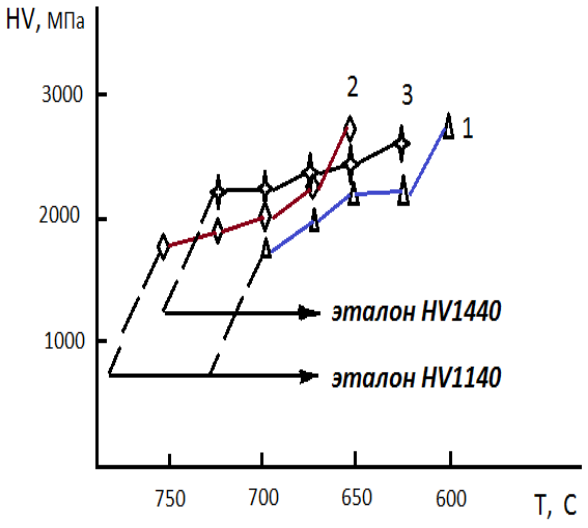


Рис. 2. Зависимость микротвердости α-фазы от изотермической температуры ее образования:
1 – сталь 16М, 2 – сталь 16Х3, 3 – сталь 24В2

Учитывая полученные результаты, можно сделать выводы, что:

– во всех рассмотренных доэвтектоидных малоуглеродистых строительных сталях образующаяся в γ→α перлитном интервале α – фаза имеет значительно более высокое содержание углерода по сравнению с равновесным ферритом, т. е. α – фаза пересыщена углеродом; это влияет на её (α –фазы) повышенную прочность;

– степень влияния каждого из легирующих элементов на упрочнение α – фазы необходимо учитывать при разработке и назначении термического упрочнения.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Строительные стали: Метод. указания к лабораторной работе/ Сост. Н.Б.Кириллов, СПб гос. техн. ун-т; СПб, 1996, 20 с.
2. Д.К. Чернов. Избранные труды по металлургии и материаловедению. М., Наука,1983.-290 с.
3. Ф.Б. Пикеринг. Физическое материаловедение и разработка сталей.- М.: Металлургия, 1982.- 182 с.
4. Г.В. Курдюмов, Л.М. Утевский, Р.Н. Энтин. Превращения в железе и стали. М., Наука, 1977, 237 с.

УДК 620.193.1

Б.М. Кириллов, М.Т. Коротких
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ. ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Теплозащита, высокая износо- и коррозионная стойкость необходимы деталям, работающим при больших температурах, давлениях, скоростях, в агрессивных средах, что характерно прежде всего для авиационной и космической техники, судостроения, энерго- и химического производства. Наиболее широкими возможно стями для получения таких деталей или их рабочих поверхностей обладают методы обработки материалов, которые используют концентрированные потоки энергии, например низкотемпературную плазму, лазерные, электронные и ионные лучи, импульсные разряды и т.п. [1]

Одним из таких методов является электроискровое легирование (ЭИЛ) токопроводящих материалов, созданное в СССР в 40-х годах прошлого века Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко[1]. ЭИЛ основано на явлении электрической эрозии и переноса материала анода на поверхность катода-детали при протекании импульсных (искровых) разрядов в газовой среде (воздухе, аргоне, азоте и др.)

Однако этот метод применялся в основном для упрочнения различного инструмента за счет нанесения особо твердых покрытий [2]. В настоящее время в промышленности стоит задача по восстановлению размеров деталей (например шейки валов), изношенных в процессе работы и эксплуатации.

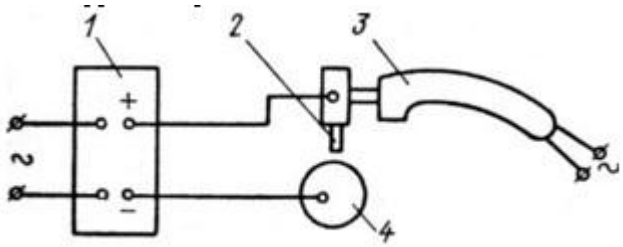


Рис. 9. Схема легирования. 1 – ИП, 2 – ЭИ, 3 – Ручка-держатель, 4 – Заготовка.

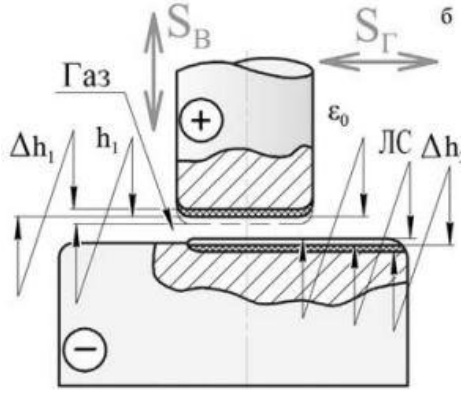


Рис. 2. Общая схема процесса ЭИЛ в газовой среде (многократное воздействие искровых разрядов). Sв – верт. возвратно-поступательные движения. Sr – продольная подача. ЛС – легирующий слой, h – высота слоя.

[1] Борис Романович и Наталья Иоасафовна Лазаренко – выдающиеся ученые, авторы метода электроэрозионной обработки, лауреаты Сталинской премии

Используя опыт, полученный в опытах по ЭИЛ можно применить похожую технология для размерной электро-искровой обработки. Стоит отметить, что в качестве одного из важнейших средств для увеличения толщины нанесенных (рис. 2) слоев – это осуществление эрозии материала анода преимущественно в капельно-жидкой фазе [3]. Ограничивающим фактором применения этого решения являются свойства материала в сочетании с электрическими параметрами процесса обработки.

Для анализа процесса ЭИЛ особый интерес представляют следующие положения: «Материал электрода, выброшенный действием электрического разряда, в большинстве случаев отлагается на поверхности другого электрода». При этом «искровая форма электрического разряда в подавляющем большинстве случаев сопровождается превалирующей убылью анода» [4]. Таким образом, можно сделать вывод: при ЭИЛ наблюдаются преимущественно эрозия материала анода и перенос продуктов эрозии на катод, что выражается в повышении массы катода.

Однако, для нанесения толстых слоев в работе Лазаренко Б.Р. предлагал метод чередования твердых и мягких металлов и сплавов (или, как вариант, вместо слоев более мягкого металлического слоя наносят графит), после чего покрытие подвергают отжигу, с целью усиления диффузии металлов и достижения этим более прочного сцепления слоев покрытий.

В рамках проводимой научной работы стоит задача разработки способа получения таких методов и режимов, которые позволят получить сплошной наносимый материал с контролем высоты обработки, при этом улучшить технологичность процесса.

Экспериментальные данные, которые показываю от возможности нанесения таких толстых покрытий. представлены на рисунке 3.

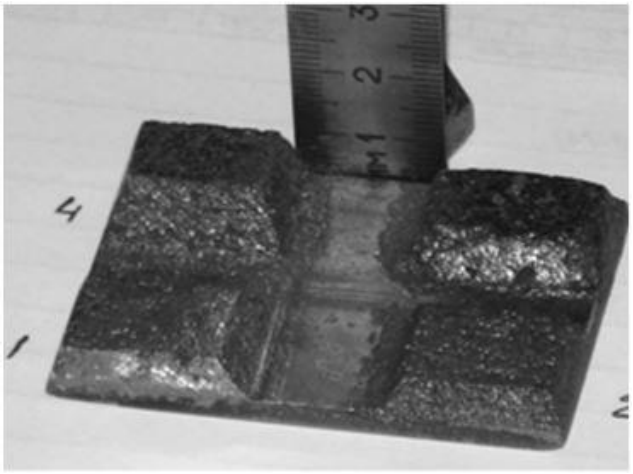


Рис. 3. Примеры толстостенных электроискровых покрытий повышенной сплошности

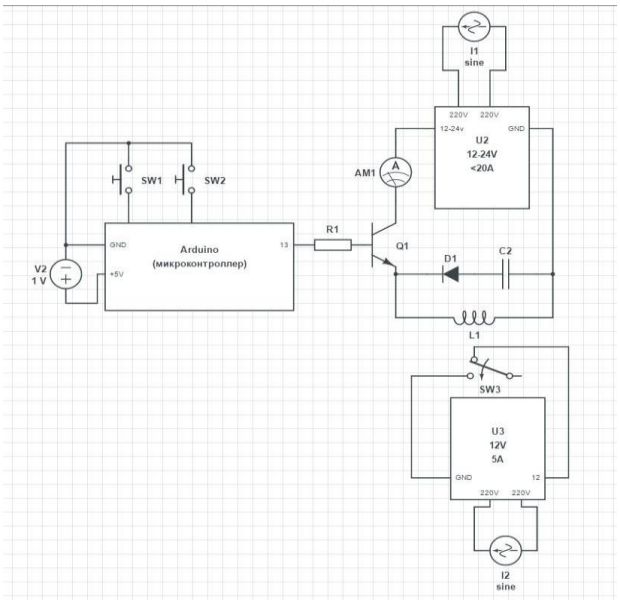


Рис. 4. Схема принципиальная

В работе предлагается поддерживать требуемый температурный режим на электродах либо регулированием их температурой с помощью специальных устройств, либо регулированием интенсивности введения потока энергии за счет изменения частоты следования импульсных разрядов, например, путем изменения частоты вибрации одного из электродов.

Кроме того, изменяя и чередуя жесткий и мягкий режимы можно обеспечить увеличения толщины наносимого слоя в 2-3 раза.

Разработанная, спроектирована и изготовлена установка, позваляющая изменять частоту и интенсивность коллебаний электрода-инструмента, и обеспечивает гальваническую развязку, что позволяет изменять рабочий ток обработки, тем самым баний, что позволяет изменять эти параметры независимо друг от друга. Электрическая схема принципиальная представлена на рисунке 4.

В результате анализа литературы, постановки задач и проведения экспериментов выявлена сложность ЭИО, связанная с тонким взаимодействием механического, электрического, химического и теплового влияния на процесс обработки.

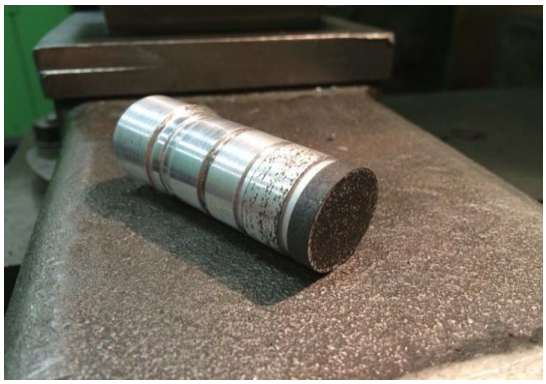


Рис. 5. Экспериментальные результаты легирования

Проведенные эксперименты показали возможность нанесения твердых покрытий высокой сплошности на детали, представляющие собой тела вращения. (рис. 5).

Поставлены новые цели и задачи перед изучением данного процесса, повышения качества и толщины поверхностного слоя деталей.

Выводы:

1. Метод ЭИО позволяет наносить различные виды металлических покрытий.

2. Разработанная установка обеспечивает проведение широких исследований по оптимизации режимов ЭИО для конкретных производственных условий.

3. В дальнейших исследованиях следует разработать методы по контролю качества наносимых покрытий при рациональном выборе их состава.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лазаренко Б.Р. Способ нанесения металлических покрытий. А.С. 89933 СССР/Б.И. 1951,(12). С. 2.
2. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. М.: Машиностроение, 1976. 47 с.
3. Верхотуров А.Д., Сычев В.С. О закономерностях формирования поверхности катода при электроискровом легировании металлических поверхностей переходными металлами. Электронная обработка материалов, 1971. - № 4 – С.21-27.
4. Бакуто И.А., Мицкевич М.К. О факторах, влияющих на образование покрытий при электроискровом способе обработки. Электронная обработка материалов, 1977. № 3 - С.17-19.

УДК 669.295.621.971.042.5

Д.С. Журавлев, Н.Р. Варгасов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ДНИЩЕ»

Актуальность работы. Показано, что двухфазный титановый сплав, имеющий размер зерна 5-7 мкм при температуре $840-860^0$С и скорости деформации растяжением 10^{-3} – 10^{2} $с^{-1}$ обладает всеми признаками сверхпластичности: относительное удлинение превышает 500 %, а показатель скоростного упрочнения выше 0,5. Сделан вывод о

целесообразности использования изотермической штамповки изделий типа «днище» из титанового сплава в состоянии сверхпластичности.

Введение. Типовой технологический процесс изготовления эллиптических и сферических изделий типа «днище» предусматривает: нагрев заготовки в электрических печах до температуры 960-970^{0}С с последующей штамповкой в предварительно подогретой до температуры 150-200^{0}С матрице. Вследствие значительной площади поверхности заготовки, скорость ее охлаждения составляет от 50 до 100^{0}С/мин в зависимости от толщины заготовки. Поэтому изготовление днищ эллиптической и сферической формы из титановых сплавов часто представляет собой сложную технологическую задачу. Связано это с тем, что из-за снижения температуры заготовки падает пластичность сплава и в процессе формообразования образуются многочисленные трещины на наружной поверхности (см. Рис. 1). Однако известно, что проведение систематических исследований сверхпластичности титановых сплавов открывают перспективу применения этого эффекта при производстве заготовок и деталей сложной конфигурации [1, 2, 3]. В связи с выше сказанным, представляется интересным и целесообразным с одной стороны исследовать термомеханические параметры сверхпластичного поведения титанового сплава сосредоточившись, главным образом, на установлении закономерностей связи между показателями сверхпластичности (δ и m) и температурой, а с другой стороны разработать технические предложения для промышленной реализации эффекта сверхпластичности при формообразовании изделий типа «днище».

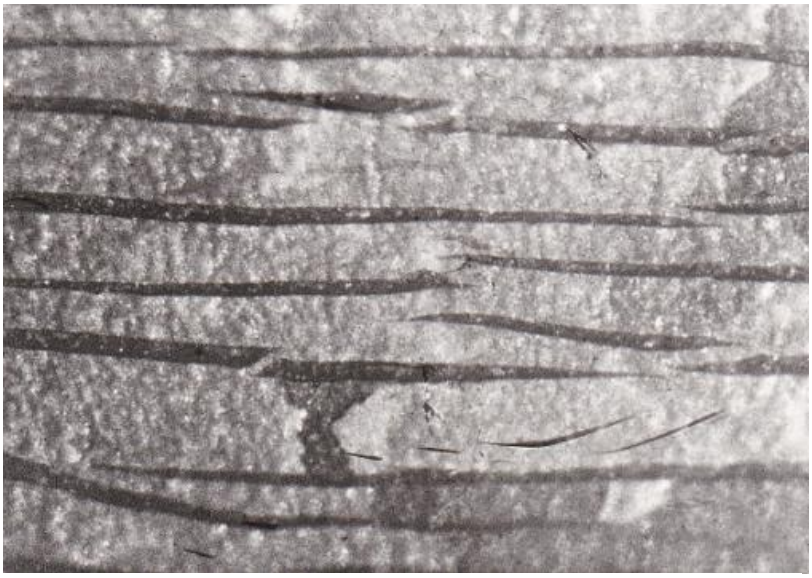


Рис. 1. Тещины на наружной поверхности эллиптического днища

Материалы и методика исследования.

Исследования влияния температурно-скоростных условий деформирования на характеристики сверхпластичности выполнены на двухфазном титановом сплаве Ti - 5Al - 4V- 2Mo-1,2Cr. Заготовки для изготовления стандартных пятикратных образцов диаметром 6 мм вырезали из горячекатаного листового проката. Окончание прокатки листа в межкритическом интервале температур позволило получить ультрамелкозернистую структуру сплава. Исходное структурное состояние образцов характеризовалось средним размером зерна 5-7 мкм., а содержание β-фазы составляло 30%.

Испытания на растяжение осуществлялись на испытательной машине SHIMADZU в диапазоне температур 760 – 960^{0}С со скоростями деформации 10^{-4} - 10^{-1}с$^{-1}$. При этом заданная температура поддерживалась с погрешностью 0,5^{0}С. В качестве критериев оценки сверхпластичного поведения материала были приняты относительное удлинение (δ) и коэффициент чувствительности напряжения течения к изменению скорости деформации (m), который определялся по формуле: $m = d\ln\sigma/d\ln\dot{\varepsilon}$.

Результаты экспериментов и их обсуждение.

Некоторые результаты экспериментальных исследований влияния температурно-скоростных режимов деформирования на основные характеристики состояния

сверхпластичности (максимально достигнутые значения δ) исследованного сплава представлены в таблице 1.

Таблица 1

Напряжение течения (числитель) и относительное удлинение (знаменатель) при испытаниях на растяжение образцов титанового сплава.

t,^{0}C	σ, Мпа/δ, %			
	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
760	48/110	94/230	165/120	200/80
800	29/160	64/260	118/150	162/100
840	15/250	41/480	88/200	117/140
880	12/200	25/290	59/170	80/110
920	10/190	24/283	46/160	60/100
960	9/120	22/160	39/140	47/80

Анализ диаграмм испытаний на растяжение исследуемого сплава показал, что их вид зависит от температурно-скоростных режимов деформирования. На начальной стадии диаграммы растяжения всегда наблюдается упрочнение, свидетельствующее о накоплении материалом энергии, а по мере развития деформации упрочнение сопровождается разупрочнением, что, по-видимому, связано с развитием процессов ответственных за рассеяние накопленной энергии [4].

Обобщая результаты экспериментальных исследований влияния температурно-скоростных режимов деформирования на сопротивление деформации и показатели пластичности можно сделать вывод о том, что при температурах 800-920 ºС и скоростях деформации 10^{-3}-$10^{-2}c^{-1}$ в исследованном сплаве наблюдаются все признаки сверхпластичности: относительное удлинение превышает 400%, а показатель скоростного упрочнения выше 0,5.

Поиски качественно новой технологии изготовления днищ из титанового сплава привели к использованию при их штамповке тепловых технологических экранов из углеродистой стали. Тепловые технологические экраны предохраняют титановую заготовку от охлаждения, что позволяет ее деформировать практически в изотермических сверхпластичных условиях.

Заключение. Опытная штамповка эллиптических днищ в оптимальных изотермических условиях сверхпластичности показала, что усилие деформации существенно снижается. Визуальный осмотр и люминесцентный контроль поверхности показал отсутствие трещин на поверхности днищ. Данные механических испытаний образцов изготовленных из днищ, отштампованных при различных температурно-скоростных условиях показали, что обработка сплава в условиях, соответствующих сверхпластической деформации обеспечивает оптимальное сочетание прочностных и пластических свойств. Причина такого повышения комплекса механических свойств после сверхпластической деформации по сравнению с обычной горячей пластической деформацией состоит в устранении исходной структурной неоднородности и трансформации пластинчатой микроструктуры в зернистую.

Таким образом, практическая реализация сверхпластичности при изготовлении сферических и эллиптических днищ штамповкой позволяет получать изделия высокого качества.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Варгасов Н.Р., Радкевич М.М. Изготовление изделий из титанового сплава в условиях сверхпластичности // Технология металлов. 2016. №6. С. 2 – 5.

2. Варгасов Н.Р., Радкевич М.М. Закономерности поведения титанового сплава в условиях структурной сверхпластичности. Материалы 5ой Международной НПК Современное машиностроение: наука и образование, СПБПУ, 2016. с. 1075 – 1087.
3. Крюкова А.А., Варгасов Н.Р. Применение эффекта сверхпластичности в современном дизайне – В книге: Неделя науки СПбГПУ Материалы научно-практической конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 2014. с. 136 – 138.
4. Варгасов Н.Р., Рыбин В.В. Аккумуляция и диссипация энергии при горячей пластической деформации титанового сплава // Вопросы материаловедения. 1999, вып.1(18), с. 63 – 69.

УДК 621.9.048.4

С.Р. Щербаков, М.Т. Коротких
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Алюминий обладает рядом свойств, затрудняющих получение качественных гальванических покрытий. Сложность нанесения покрытий обусловлена наличием на поверхности алюминия и его сплавов прочной и легко восстанавливающейся оксидной пленки, препятствующей удовлетворительному сцеплению осаждаемого металла с основанием. Образование на поверхности алюминиевых сплавов оксидных пленок связано с высоким сродством этого металла к кислороду [1].

В современном машиностроении процессы нанесения металлических покрытий на алюминий и его сплавы представляют ряд действий, связанных с подготовкой поверхности изделия (например, контактное осаждение цинка перед нанесением гальванических покрытий), а также с непосредственным нанесением гальванических покрытий. Данный способ отличается высокой трудоёмкостью, относительно дорогой стоимостью процесса [2].

Поэтому поиск альтернативных методов нанесения покрытий, повышающих износостойкость алюминиевых деталей, является актуальной технологической задачей и представляет большой интерес для применения во всех сферах машиностроения.

Литературный анализ показал, что в настоящее время существует весьма ограниченный круг работ, посвященных данной проблеме. Одна из таких работ [3] описывает метод «натирания» покрытия на заготовку. Эксперимент выполнен на базе токарного станка. В результате трения стержня, закрепленного в суппорте и детали, закрепленной в патроне, происходит повышение температуры, затем диффузия и намазывание материала. Авторам удалось нанести на поверхность такие материалы, как медь и цинк, однако на этом они остановились, т.к. достигли поставленной задачи.

В данной работе рассматривается метод нанесенияп окрытий –электроискровое легирование (ЭИЛ).

В литературе метод ЭИЛ описывается следующим образом [4]:

Процесс (рис. 1) заключается в переносе материала электрода-инструмента (ЭИ) 2 на обрабатываемую поверхность электрода-заготовки (ЭЗ) 1. Между ЭИ и ЭЗ создают электрический потенциал порядка 5-7 В при помощи источника напряжения 4. Электромагнит 3 служит для размыкания и замыкания цепи, в результате чего появляется искра и возникает высокое напряжение между ЭИ и ЭЗ. В результате, искра пробивает оксидную пленку на поверхности алюминия и происходит внедрение материала до образования новой пленки.

Весь процесс условно делят на 3 этапа:

1. *Оплавление.* При сближении на определенное расстояние ЭИ с ЭЗ происходит импульсный электрический заряд. В результате образуются локальные очаги электроэрозионного разрушения.

2. *Электрическая эрозия.* Эродированная масса ЭИ, имея избыточный положительный разряд и попадая в межэлектродное пространство, устремляется к поверхности ЭЗ, ускоряясь и нагреваясь за счет электрического поля и катода.

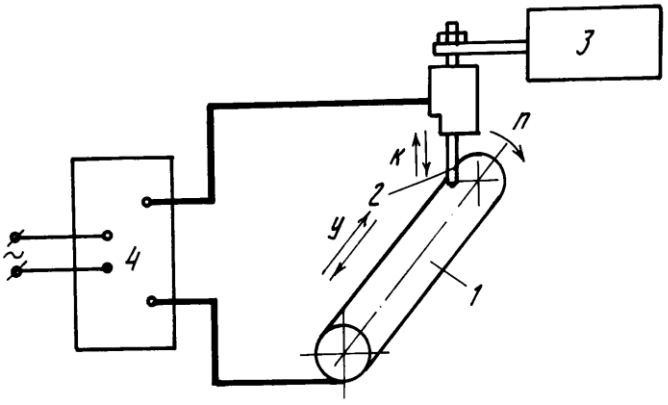


Рис. 1. Схема электроискрового легирования
1 – ЭЗ, 2 – ЭИ, 3 – электромагнит,
4 – источник питания

3. *Осаждение.* Расплавленные частицы ЭИ, выброшенные в межэлектродное пространство, не выносятся рабочей средой, а осаждаются на поверхности катода. Происходит прочное сцепление легирующего материала с поверхностью детали.

Однако, остаются нерассмотренными процессы физико-химического взаимодействия материалов ЭИ и ЭЗ. К моменту осаждения фрагменты эродированной массы несут в себе высокую электрическую, кинетическую и тепловые энергии, которые при взаимодействии с упрочняемой поверхностью выделяются в виде теплового импульса большой мощности. Возникающая экзотермическая реакция представляет огромный интерес, т.к. при такой реакции возможен процесс образования интерметаллических соединений, имеющих существенно отличные свойства.

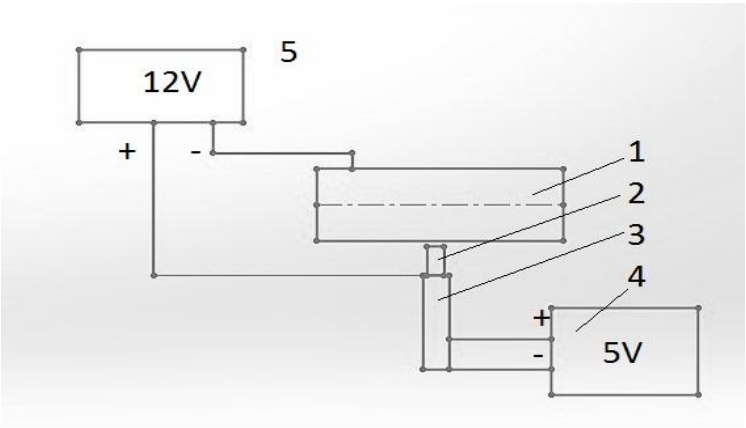


Рис. 2. Схема установки
1 – ЭЗ, 2 – ЭИ, 3 – Электромагнит, 4 – блок управления, 5 – Источник питания

В ходе экспериментальной части работы удалось применить данный метод для нанесения твердого покрытия на алюминиевую заготовку. Была спроектирована установка для проведения эксперимента (рис. 2). Установка включает в себя источник питания 5, который подключается к ЭИ 2 и ЭЗ 1. Между ними подается напряжение 7 В. ЭИ прикрепляется к электромагниту 3. Для создания размыкания и замыкания цепи используется источник питания, совмещенный с контроллером на базе Arduino 4. Данный блок управления позволяет регулировать частоту и амплитуду колебаний.

В результате эксперимента удалось нанести на алюминиевую деталь покрытие. Материал детали – алюминиевый сплав Д16. Материал покрытия – ВК8. Полученное покрытие имеет достаточно грубую шероховатость, однако имеет хорошее сцепление с основой и не отваливается. Данное покрытие можно шлифовать. Был проведен небольшой эксперимент с царапанием поверхности, в результате которого удалось определить, что твердость покрытия выше, чем у основы – алюминия.

Выводы по работе:

1. Данный метод работает и позволяет получать износостойкие покрытия на алюминиевых деталях, т.к. происходит повышение твердости поверхности.

2. Наблюдается хорошее сцепление материалов и не происходит отслоения, а также разрушения покрытия в результате эксплуатации.

3. Спроектированная установка позволяет проводить эксперименты в достаточно простых условиях и не требует применение сложной оснастки, создания специальной рабочей среды и т.п.

Очевидно, что ряд вопросов остается неразрешенным и требует дальнейшего рассмотрения.

Поэтому был составлен дальнейший план по работе:

1. Подобрать оптимальные режимы для протекания процесса (напряжение между ЭЗ и ЭИ, частота колебаний ЭИ, частота вращения ЭЗ, величина подачи ЭИ)

2. Получить покрытия из различных материалов, не менее 5.

3. Разработать метод определения микротвердости получаемых покрытий, позволяющий точно определить твердость получаемого покрытия.

4. Изучить физико-химические процессы, протекающие при ЭИЛ, а также получить интерметаллические соединения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лайнер В.И. Современная гальванотехника. М., Металлургия, 1967.
2. Вайнер Я.В, Дасоян М.А. Технология электрохимических покрытий. Л, Маш-е, 1972.
3. Балабанов В.И., Болгов В.Ю., Ищенко С.А. «Нанесение трением наноразмерных антифрикционных покрытий на детали машин», 2010.
4. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Кишинев: Штиинца, 1985.

УДК 621.9.048.4

М.Т. Коротких, К.А. Полубок
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ ВЫРЕЗАНИЕМ

Обработка зубчатых колес в машиностроении и приборостроении является важнейшей технологической задачей, решение которой было найдено созданием широкой гаммы зубообрабатывающегооборудования, использующего процессы обработки резанием, пластической деформации и абразивной обработки. Таким образом, предприятие должно быть оснащено различными видами зубообрабатывающего оборудования, которое в условиях мелкосерийного и опытного производства может не быть востребовано.

В связи с тем, что методы обработки зубчатых колес в условиях опытно-экспериментального производства требуют существенных затрат на подготовку производства, обоснование применения альтернативных методов зубонарезанияявляется актуальной технологической проблемой.

Развитие электроэрозионных вырезных станков, повышение их точности и производительности, расширение возможностей формообразования позволяет теоретически обрабатывать на них как цилиндрические, так и конические зубчатые колеса, зубчатые колеса с внутренними зубьями, зубчатые сектора и т.д.

Это позволило бы отказаться от множества зубообрабатывающих станков различного типа, от широкой номенклатуры специального зубообрабатывающего инструмента и значительно снизить время и затраты на подготовку производства.Однако применение электроэрозионной обработки при изготовлении зубьев наталкивается на рядпроблем, решению которых и посвящена данная работа, среди которых наиболее важными следует считать:

- отсутствие данных по сравнительной производительности процесса электроэрозионной обработки с традиционными методами;
- отсутствие данных по параметрам точности колес, получаемых электроэрозионным вырезанием, во всем диапазоне предъявляемых к ним требований;
- влияние метода обработки на прочностные свойства изделия (при рассмотрении всех влияющих параметров).

Проведенные экспериментальные исследования и расчеты показали показали, что производительность метода в ряде случаев не уступает производительности нарезания зубьев резанием, а точность обработки электроэрозионным методом может достигать 4 класса, что соответствует зубчатым колесам после точного шлифования (см. табл.1).

Надо отметить, что достигаемая шероховатость поверхности соответствует поверхности зубьев после шлифования, однако топология микронеровностей существенно отличается.

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика 3-х методов обработки зубьев по основным параметрам[1], [2].

Таблица 1

Сравнительные характеристики методов нарезания зубьев

Метод нарезания зубьев	Относительная производительность	Степень точности	Достигаемая шероховатость Ra
Резанием	1	7…9	2,5…10
Шлифованием *	0,5…1	4…6	0,32…1,25
Электроэрозионным вырезанием	1…1,5	4…9	0,32…2,5

*- после нарезания резанием

Приведенная сравнительная характеристика была получена на основе анализа данных методов обработки и оборудования для них, и она показывает широкие технологические возможности электроэрозионной обработки зубчатых колес, однако на пути широкого применения этого метода существует ряд проблем связанных со специфическими требованиями, предъявляемыми к этому виду деталей.

Так, в зависимости от условий выполняемой работы и назначения требуется высокая износостойкость рабочих поверхностей зубьев и высокая усталостная прочность зубьев, достигаемые за счет применения высококачественных легированных сталей, термической и химико-термической обработки, механического упрочнения, отделки поверхности [1].

Это предъявляет специфические требования к качеству поверхностного слоя металла. Исследования показали, что структура поверхности металла стальных зубчатых колес, вырезанных электроэрозионным методом, состоит из нескольких слоев (рис. 1).

Как показано на рис. 1, поверхность металла состоит из 5-ти слоев [3], [4]:

1. Зона насыщения элементами рабочей жидкости, образующаяся в результате разложения рабочей жидкости: отдельные элементы рабочей жидкости проникают в поверхностный слой заготовки, диффундируют в него и образуют с обрабатываемым материалом новое химические соединения.

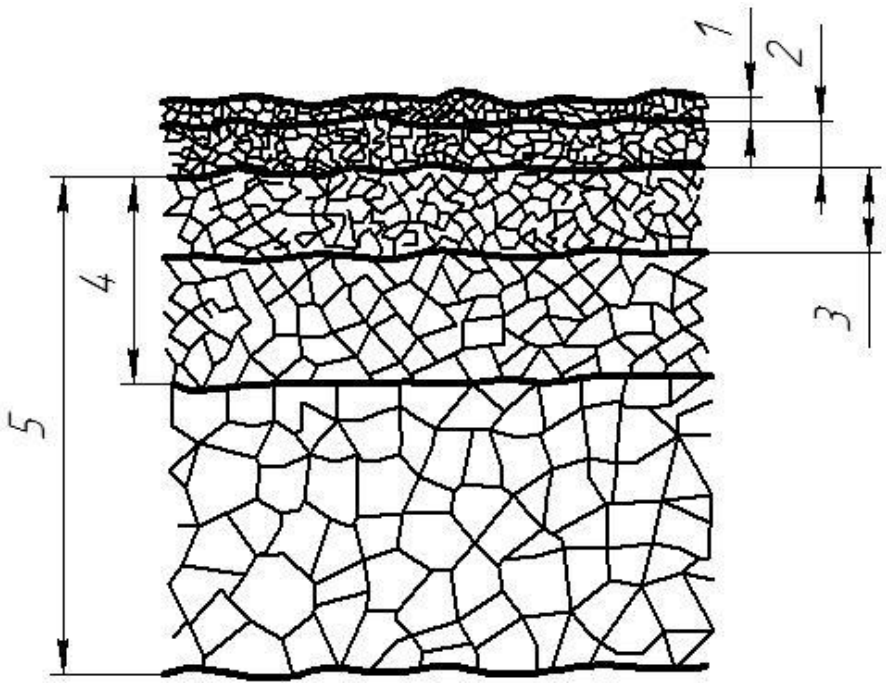


Рис. 1. Структура поверхности после электроэрозионного вырезания

2. Зона отложения материала электрода-инструмента (ЭИ) характеризуется присутствием частиц материала ЭИ. Эти частицы появляются в обрабатываемой заготовке переносом части энергии факелами, состоящими из паров материала ЭИ. Помимо скопления материал ЭИ на поверхности заготовки, он также может диффундировать (проникать) в более глубокие слои, например, в слой расплавленного материала заготовки, и образовывать там различные фазы – твердые растворы, соединения и т.п.

3. Белый слой имеет мелкозернистую структуру и обладает высокой химической стойкостью. В нем легко образуются сплавы компонентов материала с материалом ЭИ и элементами рабочей жидкости, а также карбиды и оксиды.

4. Зона термического влияния зависит от материала заготовки и ее исходного состояния, свойств рабочей среды и режимов обработки. Последовательность расположения структур от поверхности вглубь металла после обработки закаленной стали на мягких режимах в углеродсодержащих рабочих жидкостях в основном будет следующей: мартенсит, основной металл; при обработке на более грубых режимах: аустенит, мартенсит, тростито-сорбит, отпущенный металл, основной металл, а при обработке на тех же режимах в воде: мартенсит, тростито-сорбит, отпущенный металл, основной металл. При обработке незакаленной углеродистой стали расположение структурных составляющих аналогично вышеприведенным, отличие заключается в отсутствии зоны отпуска.

5. Зона пластической деформации возникает в связи с тем, что в процессе электроэрозионной обработки поверхность металла испытывает значительные ударные воздействия, связанные с перемещением волны напряжений от расширения и сжатия металла при нагреве и охлаждении обрабатываемой заготовки над воздействием электрического разряда; от давления газа, образовавшегося в результате испарения рабочей жидкости; от давления струй факелов, движущихся со скоростью, близкой к скорости звука; от возникающих в процессе обработки электростатических и электромагнитных вил, а также от протекающих в зоне термического влияния структурных изменений и других факторов. Зона пластической деформации проявляется в виде измельчения зерен, образования больших дислокаций, а также изменения параметров решетки.

Выводы:

1. Электроэрозионное вырезание зубчатых колес и секторов отличается широкими технологическими возможностями.

2. Данный метод может применяться при изготовлении зубчатых колес и секторов в различных кинематических передачах, особенно в условиях опытно-промышленного производства.

3. Применение данного метода для изготовления ответственных и тяжелонагруженных зубчатых колес невозможно без проведения широкомасштабных исследований по установлению влияния метода на характеристики прочности и долговечности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мерчанский Д.П. Зуборезное дело. — Л.: Издательство «Машиностроение», 1969.-224 стр.
2. Немилов Е.Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов.—Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989.— 164 с: ил.
3. Артамонов Б.А., Волков Ю.С. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Москва, "Высшая школа", 1983
4. Лившиц А.Л. Электроэрозионная обработка металлов. Москва, "Высшая школа", 1979

УДК 623.983:531

К.С. Арсентьева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИМПУЛЬС ДАВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ТОНКОЛИСТОВОЙ ВЫТЯЖКЕ

Введение. В последнее время большую популярность приобрело компьютерное моделирование различных технологических процессов. Конечно-элементный программный комплекс LS-DYNA может применяться для расчета импульсных процессов, в том числе и вытяжки тонколистовых и особо тонколистовых заготовок [1, 2, 3]. При упрощенных расчетах процессов импульсной листовой штамповки важно корректно задавать параметры нагрузки подвижной среды, в частности – форму импульса давления. Для реального импульса давления при электрогидравлической штамповке характерны множественные пульсации и общая сложная форма графика зависимости давления от времени. Для упрощенных расчетов имеет смысл упростить форму импульса.

Цель работы – подбор приемлемого закона изменения импульса давления во времени (формы импульса), чтобы при его использовании обеспечивалась необходимая точность вычислений.

Изначально форма импульса давления задавалась при помощи данных зависимости давления в центре камеры вблизи заготовки от времени, полученных в работе [4, 5] (см. рис 1). На графике показаны множественные пульсации, однако установлено что пульсации давления вызваны отражением волн давления от стенок камеры и имеют незначительное влияние на величину деформации заготовки [5]. Рассмотрены варианты аппроксимации давления синусоидальной функцией, как это делалось в работе [6] и степенной функцией.

Данные графика были перенесены и аппроксимированы средствами программы MS Excel при помощи полиномиальной функции таким образом, чтобы величина достоверности аппроксимации R^2 была максимальной и стремилась к 1 (см. рис. 1). Полиномиальной функции соответствует уравнение шестого порядка, вида:

$$y = -2{,}53e^{23}x^6 + 1{,}08e^{21}x^5 - 1{,}79e^{18}x^4 + 1{,}44e^{15}x^3 - 5{,}92e^{11}x^2 + 1{,}19e^{8}x - 9{,}10e^{3}$$

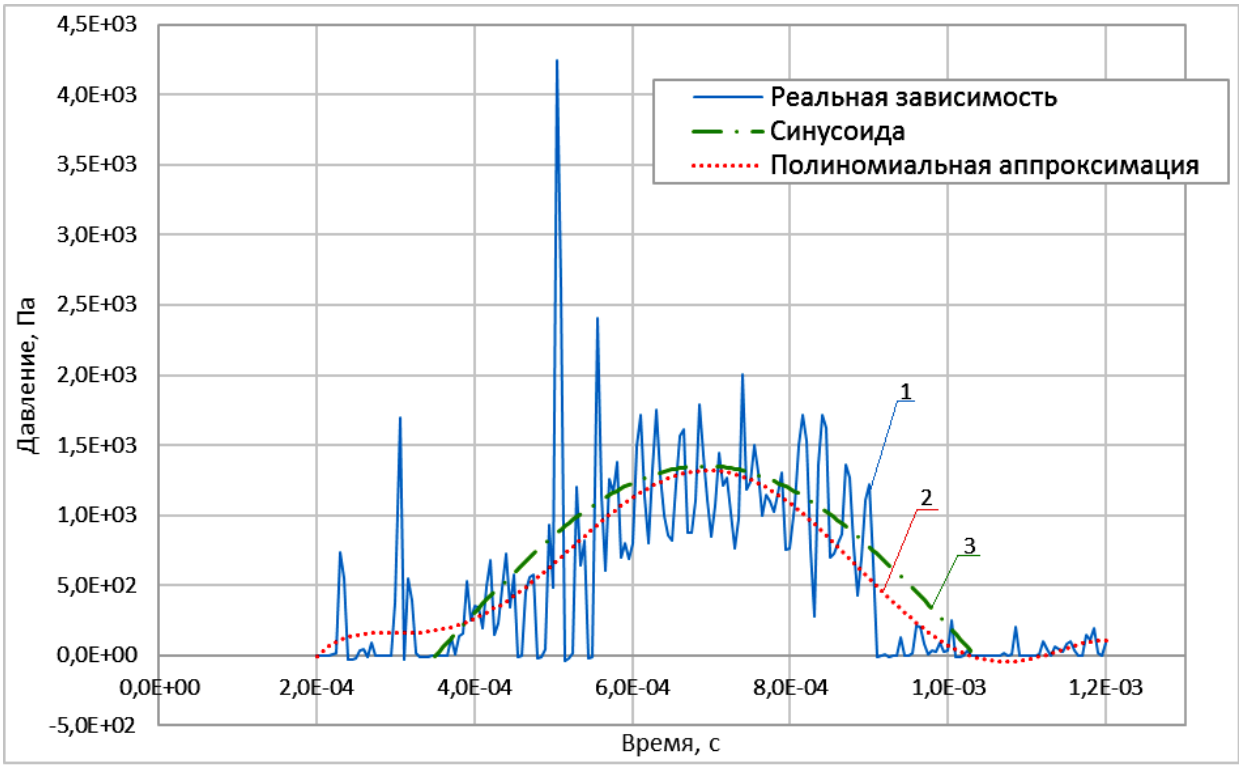


Рис. 1. Формы импульса давления: реальная зависимость (1), аппроксимированная полиномиальной функцией (2), положительная полуволна синусоиды (3)

Помимо применения полиномиальной аппроксимации, форма импульса давления также задавалась при помощи синусоидальной функции. Подбор синусоиды происходил таким образом, чтобы положительная полуволна синусоиды с длительностью полуволны T_0 = 60 мкс и амплитудой p_0 = 13 МПа повторяла график полиномиальной функции (см. рис. 1).

Для определения корректности замены реального импульса аппроксимированным вариантом делались компьютерные расчеты в программном комплексе LS-DYNA. При этом рассматривался процесс вытяжки круглой в плане заготовки из латуни Л68 диаметром 110 мм и толщиной 0,24 мм в матрицу с диаметром очка 60 мм. Выходной диаметр разрядной камеры также равнялся 60 мм. Зазор между прижимом и матрицей оставался постоянным и равным 0,275 мм.

При расчетах материал заготовки принимался изотропным, модель материала задавалась степенной зависимостью MAT_POWER_LAW_PLASTICITY со следующими параметрами. Упругие константы: $E = 1{,}15 \cdot 10^{11}$ Па – модуль Юнга, $\upsilon = 0{,}34$ – коэффициент Пуассона, $\rho = 8600$ кг/м^3 – плотность; параметры динамической кривой деформационного упрочнения: $B = 740$ МПа, $m = 0{,}44$; принималось кулоновское трение со значениями коэффициента при трении покоя $\mu = 0{,}2$ и при движении $\mu = 0{,}15$. Заготовка из особо тонколистового материала моделировалась плоской оболочкой и задавалась в виде элемента Thin Shell 163.

Для всех трех случаев моделирования проводилось сравнение по величине эффективных пластических деформаций для элементов, выбранных в центре заготовки и на фланце (см. рис. 2).

Результаты. Графики, полученные при использовании аппроксимированных зависимостей «давление – время», показали приемлемое сопоставление. Относительная погрешность ε вычислялась средствами программы MS Excel по методу Стьюдента с заданной доверительной вероятностью 95% и составила 2,2%. Ступенчатость графиков 1 и 2

соответствует волнообразному деформированию заготовки, но, как было сказано ранее, пульсации имеют незначительное влияние на эффективность деформации заготовки. На графике видно, что деформация при различных формах давления происходит с разной скоростью, однако, на конечной деформации это не сказывается. Выбор синусоиды в данном случае предпочтительнее, поскольку позволяет варьировать амплитуду давления сравнительно проще, чем при помощи полиномиальной функции.

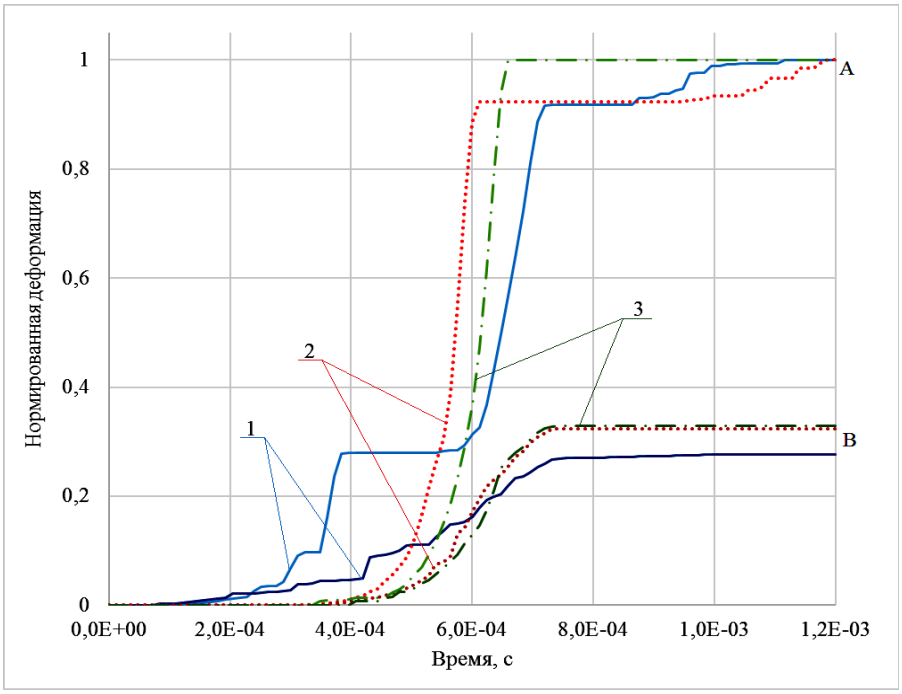


Рис. 2. Эффективные пластические деформации для элементов в центре (A) и на фланце (B) заготовки при задании формы импульса давления в виде реальной зависимости (1), степенной функции (2) и положительной полуволны синусоиды (3).

Вывод. Был проведен подбор приемлемого закона изменения формы импульса давления с обеспечением удовлетворительной точности вычислений. Исследование показало, что использование синусоидальной функции в качестве формы импульса давления приемлемо для расчетов свободной глубокой вытяжки тонколистовых заготовок. Однако, для расчета калибровочных операций рекомендуется использовать реальную зависимость давления от времени, для обеспечения максимальной точности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мамутов А.В. Моделирование электрогидроимпульсной листовой формовки с применением комплекса LS-DYNA / - А.В. Мамутов, В.С. Мамутов // НТВ СПбГПУ. - 2014. - №1(190). - с. 101-107

2. Alexander V. Mamutov, Sergey F. Golovashchenko, Viacheslav S. Mamutov, John J.F. Bonnen. Modeling of electrohydraulic forming of sheet metal parts. Original Research Article. Journal of Materials Processing Technology, Volume 219, May 2015, Pages 84-100.

3. Головащенко С.Ф. Методика компьютерного моделирования электрогидроимпульсного формоизменения тонколистовых металлов с применением программного комплекса LS-DYNA 971 / С.Ф. Головащенко, А.В. Мамутов, В.С. Мамутов // Металлообработка: научно-производственный журнал. — СПб, 2012. — № 3 (69) .— С. 23-29.

4. Mamutov V.S., Mamutov A.V., Golovaschenko S.F. Simulation of High-Voltage Discharge Channel in Water at Electro-Hydraulic Forming Using LS-DYNA®. 1th International LS-DYNA® Users Conference, Metal forming, Dearborn, USA, 2014, p. 9.

5. Арсентьева К.С. Давление при электрогидроимпульсной вытяжке-формовке тонолистовой заготовки / К.С. Арсентьева, С.Е. Насс, В.С. Мамутов // Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Лучшие доклады. - Санкт-Петербург, - 2016. – с.80 – 83.
6. Tushar Mane, et al. Finite element modeling of electro-hydraulic forming of sheets. Procedia Material Science. 2014. vol. 6, pp. 105 - 114.

УДК 621.77.014

В.В. Блажевич, Л.Б. Аксенов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНОЙ ВТУЛКИ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СТУПИЧНОГО УЗЛА АВТОМОБИЛЯ LADA-2107

Введение. LADA-2107 (раннее обозначение ВАЗ-2107 «Жигули») — отечественный заднеприводный автомобиль III группы малого класса с кузовом типа седан, один из последних автомобилей так называемой «классики». Последний седан LADA-2107 сошел с конвейера завода «ИжАвто» в апреле 2012 года. Однако российские автовладельцы не спешат расставаться с этим автомобилем. В тоже время, по мнению многих водителей, у этого автомобиля есть существенный недостаток: частые поломки кулаков передней ступицы, вызванные быстро образующимся люфтом в подшипниках.

Модернизация ступичного узла автомобиля LADA-2107 [1] осуществляемая с помощью использования поворотного кулака от автомобиля ВАЗ-2108 [2] (рис. 1) с заменой двух конусных однорядных подшипников одним шариковым двухрядным, устанавливаемым на переходную втулку [3] (Рис. 2). В исходной конструкции было два подшипника. В настоящее время втулка переходная изготавливается механической обработкой, что отражается на ее цене и качестве.



Рис. 1. Кулаки ступиц автомобилей LADA-2107 (слева) и ВАЗ-2108 (справа)

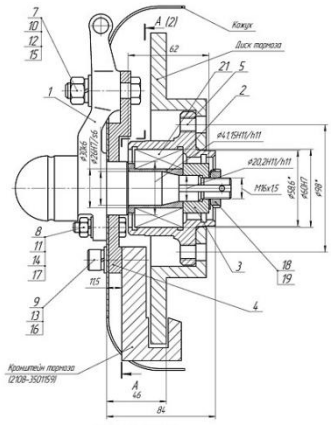


Рис. 2. Модернизированный ступичный узел ВАЗ-2108 с переходной втулкой (2)

Цель работы. Разработать технологию изготовления детали «втулка переходная» обработкой металлов давлением, обеспечивающую повышение эффективности ее производства по сравнению с технологией механической обработки.

Методика исследований. Для изготовления детали «втулка переходная»по рекомендациям, содержащимся в работах [4, 5], разработан технологический процесс, основные формоизменяющие операции которого приведены на Рис. 3. Деталь изготавливается из малоуглеродистой стали 08пс (ГОСТ 1050-88). Заготовки с размерами

Ø29х47 отрезаются от прутка сортового проката, (ГОСТ 7417-75). В технологическом процессе изготовления втулки можно выделить:

- девять основных штамповочных операций (отрезка заготовки от прутка, осадка заготовки, калибровка заготовки, прямое выдавливание,обратное выдавливание, осадка фланца, отрезка дна; две операции вытяжки по внутреннему контуру);
- шесть термических операций (полный рекристаллизационный отжиг);
- шесть химических операций (травление, промывка, фосфатирование, промывка, омыление, сушка);
- одну механическую операцию.

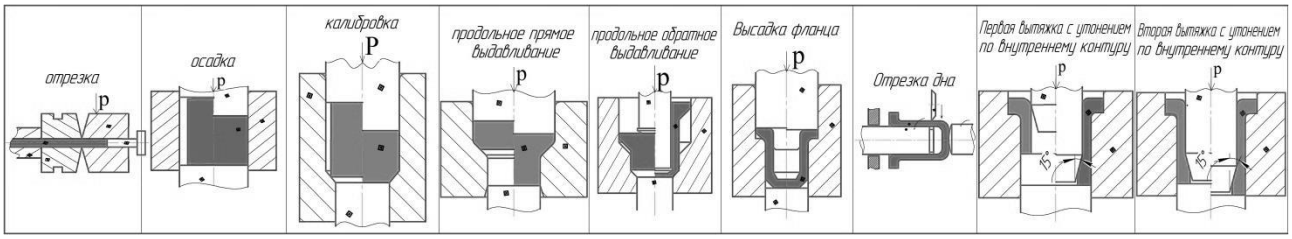
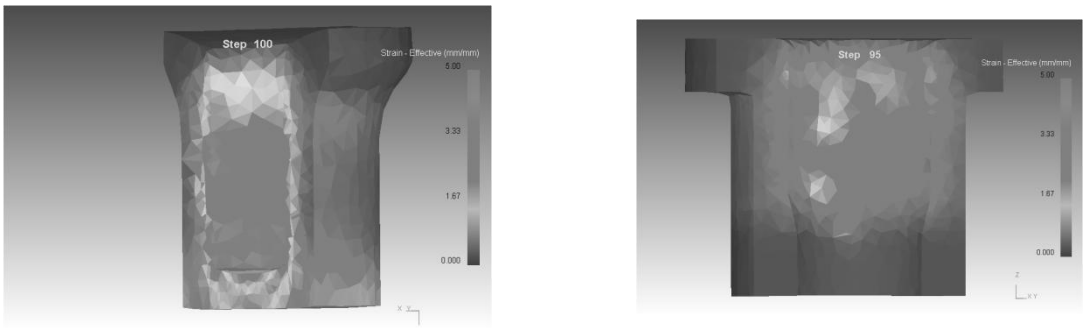


Рис. 3. Технологический процесс изготовления детали «втулка переходная»

Преимуществами предлагаемой технологии по сравнению с технологией механической обработки являются более высокие механические свойства, повышенная точность размеров, возможность автоматизации производства, высокий коэффициент использования металла: 0,32 для детали получаемой механической обработкой и 0,76 для детали получаемой обработкой давлением.

Для определения основных параметров было произведено моделирование двух наиболее важных штамповочных операций (обратное выдавливание, вытяжка по внутреннему контуру) в расчетном комплексе DEFORM-3D [6] при следующих условиях:

- заготовка–упругопластическоетело из стали AISI-1010 (зарубежный аналог 08пс);
- инструмент(матрица и пуансоны) -абсолютно жесткое тело;
- матрица на всех технических переходах неподвижна, пуансоны перемещаются;
- оборудование - гидравлический пресс, скорость деформирования -1,0 мм/сек;
- решалась изотермическая задача; температура заготовки и инструмента постоянная, равная 20°С; теплообменом из-за малой скорости деформации пренебрегали;
- коэффициент трения f=0,12;
- количество конечных элементов -32000;
- количество шагов деформирования изменялось в диапазоне 95-100.



а. б.

Рис. 4. Распределение эффективной деформации по объему заготовки в операциях обратного выдавливания (а) и вытяжки с утонением по внутреннему контуру (б)

Предельная деформация в основных операциях холодной штамповки ограничивалась величиной ресурса пластичности металла (рис. 4), что обеспечивает требуемое формообразование без разрушения металла.

В результате компьютерного моделирования двух операций холодной штамповки определены максимальные усилия для этих операций: 0,7 МН - для операции обратного выдавливании и 0,4 МН - для вытяжки с утонением по внутреннему контуру. Таким образом, для реализации многостадийной штамповки на одном прессе требуется гидравлический пресс усилием 2,5 МН, например, ДЕ2434. Установлен характер распределения эффективной деформации и определены опасные зоны деформируемой заготовки (рис. 4.). Моделирование течения металла в процессе формообразования поковки показало полное заполнение между штампового пространства, что обеспечивает получение детали требуемой геометрии.

Выводы:

- Разработан технологический процесс получения детали «втулка переходная», обеспечивающим получение детали заданной геометрии с коэффициентом использования металла 0,76.
- На основе компьютерного моделирования определено, что ресурс пластичности стали 08пс достаточен для холодного деформирования детали «втулка переходная» по предлагаемой технологии.
- Для многостадийной штамповки заготовки детали «втулка переходная» требуется гидравлический пресс с номинальным усилием 2,5 МН.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ВАЗ-2107, -21047 с двигателями 1,5; 1,5i; 1,6; 1,6i. Устройство, обслуживание, диагностика, ремонт. В13 Иллюстрированное руководство. — М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2011. — 256 с.: ил. — (Серия «Своими силами»).
2. ВАЗ-2108, -2109, -21099 с двигателями 1,1; 1,3; 1,5; 1,5i. Эксплуатация, обслуживание, ремонт, тюнинг. Иллюстрированное руководство. — М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2012. — 272 с.: ил. —(Серия «Своими силами»).
3. Доработка поворотных кулаков (классика). Электронный ресурс: http://www.vaz.ee/articles/vaz/dorabotka-povorotnyh-kulakov-klassika_376.html (дата обращения 14.11.2015).
4. Гуменюк Ю.И., Лобов В.А. Теоретическое обоснование процесса вытяжки с утонением стенки по внутреннему контуру/И.Ю.Гуменюк, И.Л. Лобов//Обработка материалов давлением/ М., 2011 128-133с.
5. В.А. Лобов, Э.И. Ульянов, Е.А. Сафонов. Прогнозирование неравномерности степени деформации по толщине стенки при вытяжке с утонением по внутреннему контуру//Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением/М.2014. С.134-140.
6. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D. Учебное пособие/ В.С. Паршин, А.П. Карамышев, И.И. Некрасов, А.И. Пугин, А.А. Федулов. Екатеренбург: УрФУ, 2010, 266с.

УДК 621.7.011

К.С. Арсентьева, С.Е. Насс, В.С. Мамутов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ВЫТЯЖКЕ

Введение. Электрогидроимпульсная штамповка (ЭГИШ), в том числе вытяжка, представляется эффективной технологией изготовления сложных точных деталей из тонколистовых металлов и труб в условиях мелкосерийного производства. Поэтому в настоящее время ЭГИШ востребована промышленностью ведущих западных стран, Беларуси и Украины [1, 2]. Неправильное проектирование ЭГИШ, которая характеризуется сложными физико-механическими процессами преобразования электрической энергии конденсаторов в энергию пластического деформирования, приводит к низкому КПД процесса. В результате может получиться низкоэффективная или вообще не работоспособная технология. Избежать этого можно привлечением компьютерного моделирования процесса. Компьютерное моделирование ЭГИШ с комплексным учетом плазменного канала разряда, гидромеханики и других физико-механических особенностей, характеризующих процесс, сделано в работах [3, 4]. Однако такое моделирование требует специальной квалификации расчетчиков и вычислительной мощности компьютеров, которые отличаются от доступных персональных компьютеров. Это вызывает определенные проблемы для инженерных оценок эффективности технологий, в математических экспериментах, когда необходимо получать и анализировать много вариантов расчета процесса ЭГИШ. В ряде случаев компьютерную модель можно упростить, задавая некоторый закон давления, полученный из эксперимента или на основе результатов с комплексным учетом плазменного канала и гидромеханики, как это сделано в цитируемых выше работах. Например, в работе [5] давление на подвижной заготовке экспериментально определялось по результатам сверхскоростной фотосъемки струи жидкости, вытекающей из небольшого отверстия в заготовке.

Обоснованность такого подхода к моделированию электрогидроипульсной свободной вытяжки показана в статье [6], так как отдельные пульсации давления не сильно влияют на общую пластическую деформацию заготовки, которая определяется в большей степени давлением гидропотока, определяемым кинетической энергией жидкости. Кинетическая энергия, в свою очередь определяется уровнем вводимой в жидкость электрической энергии.

Задачей данной работы являлось создание компьютерной модели свободной электрогидроимпульсной вытяжки тонколистовых металлов с заданным законом давления, действующего на заготовку и оценка ее корректности.

Для анализа разработки эффективной технологии электрогидроимпульсной вытяжки тонколистовых металлов в качестве ключевого параметра необходима информация о давлении внутри камеры. Закон давления можно получить, проведя сложный ресурсоемкий компьютерный расчет с применением описанной в работе [6] схемы.

Рассмотрим вытяжку круглой в плане заготовки. Материалом выбрана хорошо штампуемая латунь Л68 с диаметром заготовки D_0 = 110 мм, толщиной 0.24 мм. Диаметр отверстия матрицы $D_м$ = 60 мм. Зазор между прижимом и матрицей оставался в процессе формоизменения постоянным и равным: 0.275 мм.

При расчетах материал заготовки полагался изотропным, и была выбрана модель MAT_POWER_LAW_PLASTICITY с параметрами динамической кривой деформационного упрочнения B = 851 МПа, с учетом корректирующего динамического коэффициента K_d = 1.25 (справочная величина [5]); m = 0.473.

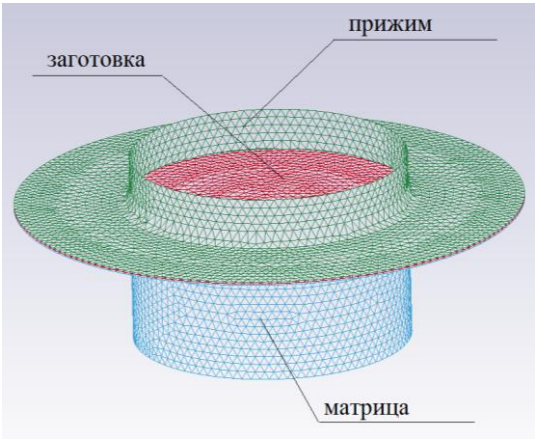


Рис. 1. Конечно-элементная модель матрицы, заготовки и прижима для электрогидроимпульсной-вытяжки

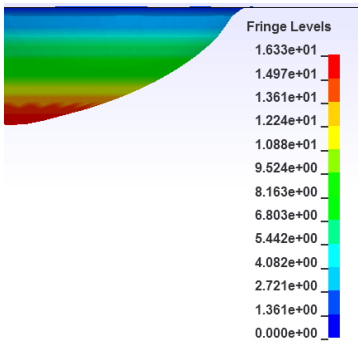


Рис. 2. Перемещение заготовки в конечной точке деформирования, мм

Упругие константы материала задавались: $E = 1.15 \cdot 10^{11}$ Па – модуль Юнга, $\nu = 0.34$ – коэффициент Пуассона; величина плотности – $\rho = 8600$ кг/м^3.

Предполагалась кулоновское трение со значениями коэффициента при трении покоя – $\mu = 0.2$ и при движении $\mu = 0.1$ (за счет использования смазки).

Для тонколистового материала предполагается целесообразным моделировать заготовку плоской оболочкой, которая берется в виде пластинчатого элемента типа SHELL 163. Материал матрицы и прижима задавался абсолютно жесткой моделью типа RIGID. На рис. 1 представлена конечно-элементная модель матрицы, заготовки и прижима для электрогидроимпульсной-вытяжки.

В *результате* расчета получено перемещение заготовки в конечной точке деформирования в миллиметрах (рис. 2).

Ранее, в ходе проведения натурного (физического) эксперимента, была получена и измерена форма заготовки (рис. 3). Значения по ординате диаграммы представляют собой отношение величины прогиба к диаметру матрицы. Значение 0.28 по оси ординат соответствует величине прогиба равной 16.8 мм. В свою очередь на рис. 2 максимальный прогиб 16.3 мм.

Таким образом, получены схожие результаты с небольшой погрешностью.

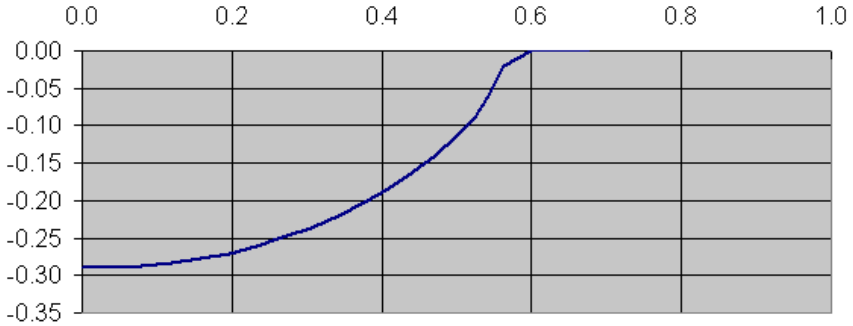


Рис. 3. Экспериментально измеренная форма заготовки при высокоскоростной формовке-вытяжке традиционным способом

Далее на разных участках отштампованной детали были определены значения интенсивности деформаций, распределение которой представлено на рис. 4.

Такие зависимости позволяют оценить корректность разрабатываемой расчетной модели. Это в дальнейшим позволяет использовать разработанную упрощенную схему компьютерного расчета электрогидравлической вытяжки в инженерных расчетах при проведении математических экспериментов.

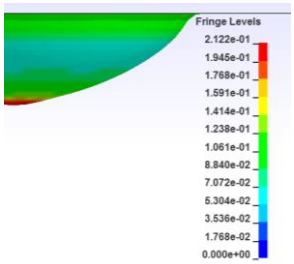


Рис. 4. Распределение интенсивности деформаций на отштампованной детали

Максимальное значение интенсивности деформаций соответствует суммарному значению компонентов тензора логарифмических деформаций при высокоскоростной вытяжке традиционным способом (рис. 5), кривые для которых также получены с помощью натурного эксперимента.

По оси ординат (рис. 1) можно определить компоненты тензора, а по оси абсцисс – относительное уменьшение диаметра заготовки.

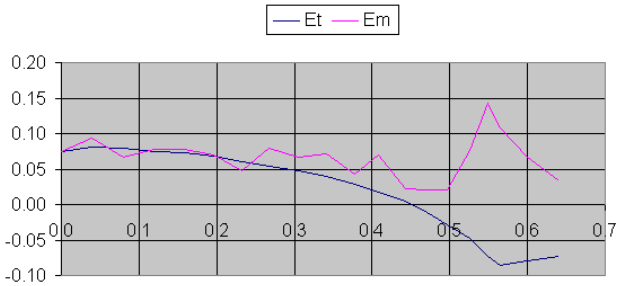


Рис. 5. Экспериментально измеренные компоненты тензора логарифмических деформаций при высокоскоростной вытяжке традиционным способом

Выводы. Таким образом, разработана компьютерная модель свободной электрогидроимпульсной вытяжки тонколистовых металлов с заданным законом давления, которая может прогнозировать параметры деформированного состояния с погрешностью, приемлемой с точки зрения точности технологических расчетов. Данная компьютерная модель позволяет определить величины интенсивности деформации и перемещение точек заготовки и может быть использована в практике инженерных расчетов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Здор Г.Н., Исаевич Л.А., Качанов И.В. Технологии высокоскоростного деформирования металлов. – Минск: Изд-во БНТУ, 2010. – 456 с.

2. Тараненко М.Е. Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы. – Харьков: Изд-во ХАИ, 2011. – 272 с.

3. Mamutov Viacheslav, Mamutov Alexander, Sergey Golovaschenko Simulation of High-Voltage Discharge Channel in Water at Electro-Hydraulic Forming Using LS-DYNA® 13th International LS-DYNA® Users Conference, Metal forming, Dearborn, USA, June 8-10, 2014, p. 9.

4. Alexander V. Mamutov, Sergey F. Golovashchenko, Viacheslav S. Mamutov, John J.F. Bonnen. Modeling of electrohydraulic forming of sheet metal parts. Journal of Materials Processing Technology, 219 (2015), pp. 84-100

5. Вагин В.А., Здор Г.Н., Мамутов В.С. Методы исследования высокоскоростного деформирования металлов. – Минск: Наука и техника, 1990.– 208 с.

6. Арсентьева К.С., Насс С.Е., Мамутов В.С. Давление при электрогидроимпульсной вытяжке-формовке тонколистовой заготовки. Материалы научного форума «Неделя науки СПбПУ»: Лучшие доклады. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016, с. 80-83

УДК621.77

И.Д. Карачевцев, П.А. Кузнецов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОЦЕСС МНОГОКРАТНОЙ ИНТЕНСИВНОЙ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ

В настоящее время разработаны различные методы получения компактных субмикрокристаллических материалов путем приложения интенсивной пластической деформации [1]. Главные факторы, определяющие эффективность методов - создание благоприятной схемы нагружения и возможность многократного повторения процесса деформирования заготовки. Метод интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением характеризуется созданием квазигидростатической схемы нагружения, что позволяет производить интенсивную сдвиговую деформацию заготовки. Метод равноканального углового прессования заключается в многократном перемещении очага однородной сдвиговой деформации по всей длине заготовки. Оба метода получили экспериментальное подтверждение [2]. Согласно экспериментам, необходимым условием получения требуемой структуры является достижение степени деформации $\varepsilon = 4..7$ [3].

Одной из задач, которую приходится решать при реализации на практике указанных методов является значительное трение и вызванное им налипание металла заготовки на поверхность инструмента (при интенсивной деформации). Можно утверждать, что одним из вариантов решения указанной задачи может быть использование для процесса многократной интенсивной деформации способа гидростатической штамповки трубчатых заготовок. В процессе гидравлической штамповки трубчатой заготовки создаются благоприятные схемы напряжения [4]. На рисунке 1 представлена схема напряженно - деформированного состояния при операции раздачи с осевым нагружением. Заготовку подвергают осевому сжатию F и гидростатическому давлению p, действующему на ее внутреннюю полость. Периферийные участки 1 заготовки подвержены действию сжимающих осевых σ_z, тангенциальных σ_θ и радиальных σ_r напряжений. Деформируемые участки 2 подвержены растягивающим осевым и тангенциальным, а также сжимающим радиальным напряжениям.

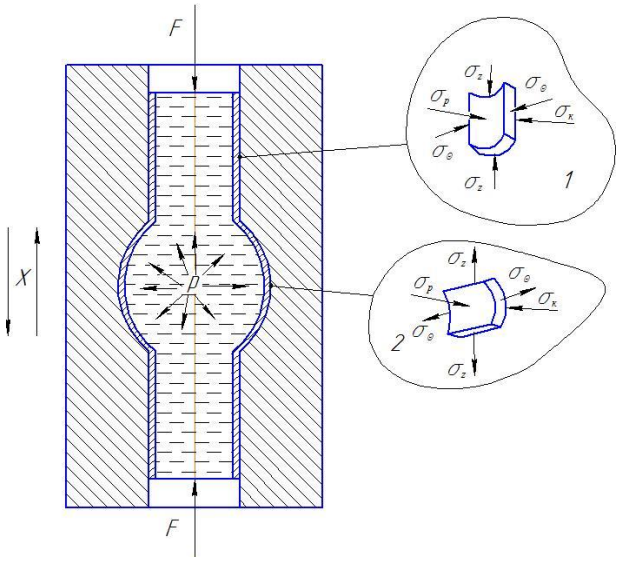


Рис. 1. Напряженно-деформированное состояние материала при раздаче с осевым сжатием

Для того, чтобы переместить очаг деформации вдоль оси заготовки в направлении *X* необходимо переместить саму заготовку относительно матрицы. Для этого необходимо перераспределить осевые усилия *F* в сторону перемещения. При этом должно выполняться условие $|\sigma_z| > |\tau_к|$, следовательно, необходимо всячески уменьшать коэффициент трения μ между поверхностями заготовки и матрицы. Как показал предварительный конечно-элементный расчет, приемлемая величина $\mu = 0.1$, что является достижимой величиной при применении смазки [5].

На рисунке 2 показана схема приложения усилий на этапах деформирования заготовки. На этапе 1 производится раздача заготовки в матрице, на заготовку помимо давления жидкости действуют сжимающие усилия F1 и F2. Конечно - элементное моделирование процесса показало, что на этом этапе главным параметром, определяющим формообразование заготовки является давление жидкости в ее полости. Большое давление приведет к утонению стенки, недостаточное давление приведет к неполному прилеганию поверхности заготовки к полости матрицы. На этапе 2 производится перемещение заготовки относительно матрицы, при этом очаг деформации перемещается по длине заготовки. При этом необходимо обеспечить благоприятное соотношение усилий F1 и F2. На этапе 3 происходит обратное перемещение деформированного участка трубчатой заготовки в исходное положение. При этом указанный участок подвергается повторной раздаче. Таким образом можно осуществлять многократную интенсивную деформацию.

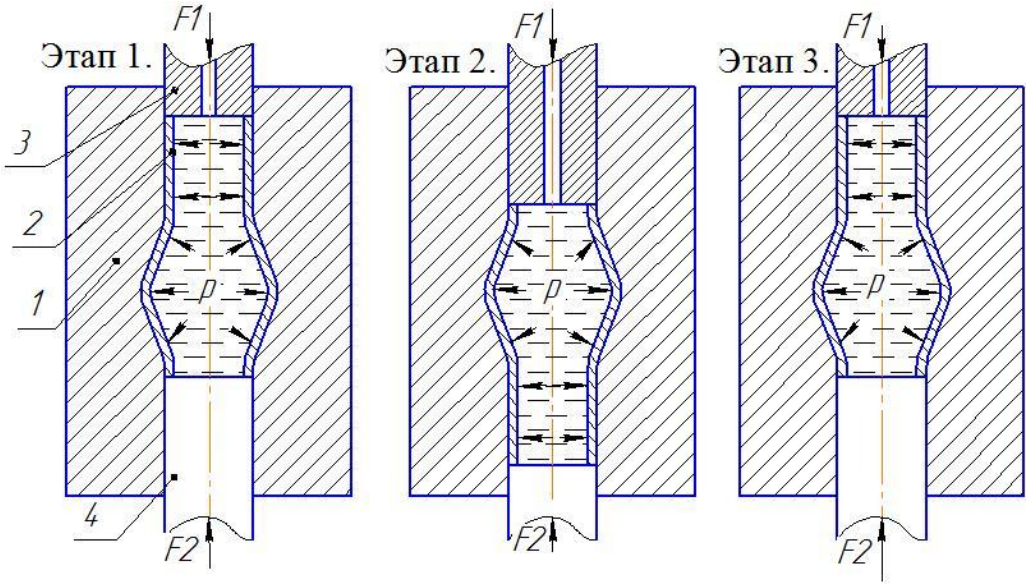


Рис. 2. Этапы деформирования заготовки
1 - Матрица; 2 - заготовка 3, 4 - Верхний и нижний пуансоны

Моделирование процесса было произведено в программном комплексе ABAQUS/CAE. Геометрия заготовки и инструмента была задана квадратичными оболочечными элементами. Схема нагружения была проверена на примере деформирования заготовки длиной 100 мм, наружным диаметром *d*=20 мм и толщиной стенки *h*=2 мм. Модель материала была задана для технически чистого алюминия с параметрами кривой деформационного упрочнения по Холломану. Значение давления в полости на первом этапе нагружения линейно увеличивалось от $\mathrm{p} = 15\ \mathrm{МПа}$ до $\mathrm{p} = 25\ \mathrm{МПа}$. На последующих этапах перемещения заготовки в матрице давление было задано постоянным $\mathrm{p} = 25\ \mathrm{МПа}$.

Геометрия полости матрицы, определяющей формоизменение заготовки в очаге деформирования, должна обеспечивать локализованную интенсивную сдвиговую деформацию, при этом позволяя перемещать ее очаг. В ходе конечно-элементного моделирования процесса многократной интенсивной деформации были использованы следующие параметры полости для наружного диаметра заготовки *d*=20 мм: длина $l = 30\mathrm{мм}$, радиус в месте наибольшего уширения $R = 28\mathrm{мм}$ и радиусы скругления $r = 5\mathrm{мм}$. Деформация в месте наибольшего уширения составила порядка $\varepsilon = 0.6$.

Результаты конечно - элементного расчета показали возможность использования описанного метода для интенсивного деформирования заготовки. На рис. 3 представлены картины распределения деформации на первых трех этапах деформирования. В результате

одного полного цикла деформации заготовки получилась зона, деформированная со значением степени эффективной пластической деформации $\varepsilon = 1.1 \ldots 1.2$. Для получения суммарного значения $\varepsilon = 4..7$ требуется несколько циклов деформирования.

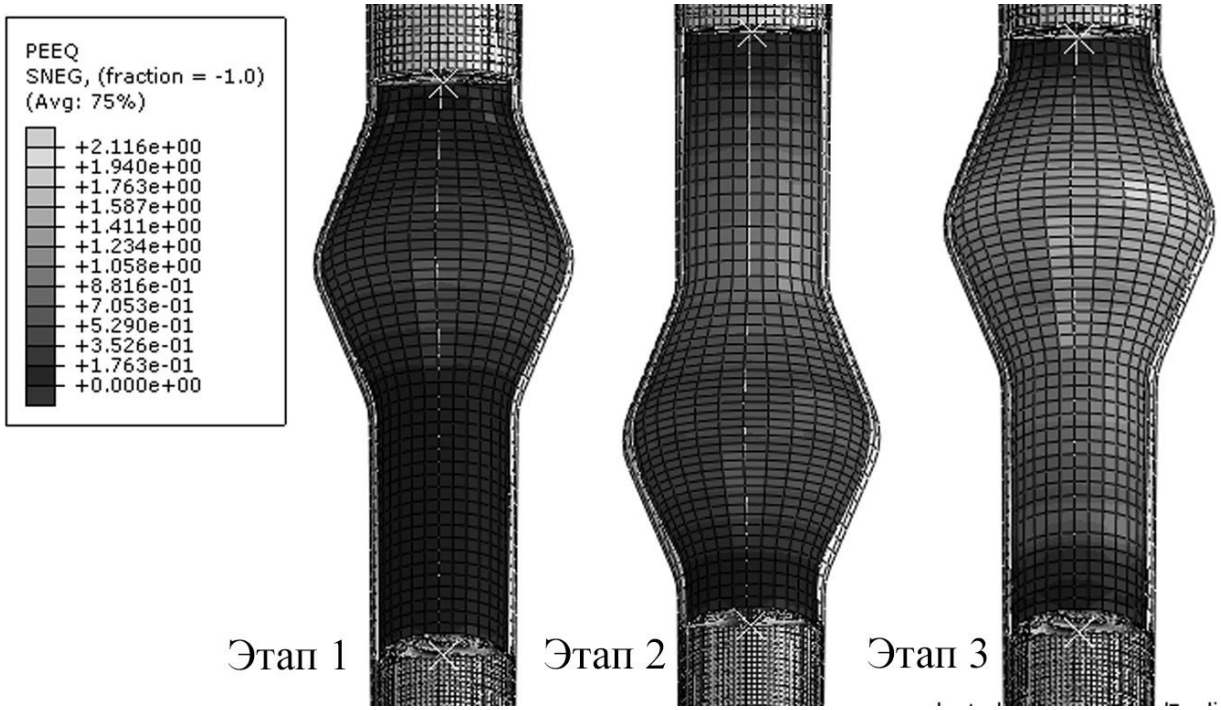


Рис. 3. Картина распределения эффективной пластической деформации
на первых трех этапах деформирования заготовки, полученная конечно - элементным расчетом

ЛИТЕРАТУРА:

1 Рудской А.И. Нанотехнологии в металлургии СПб, Наука, 2007 - 185 с.

2. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией - М.: Логос, 2000. - 272 с.

3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 416 с.

4. Богоявленский К.Н., Вагин В.А., Кобышев А.Н. Гидропластическая обработка металлов - Л.: Машиностроение, 1988 -256с.

5. Богоявленский К.Н. и др. Изготовление сложных полых деталей Л: Машиностроение. 1979 - 218 с.

УДК 621.7.043

Н.В. Бельчак, А.М. Жданова, В.С. Мамутов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОСОБЕННОСТИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ С НЕБОЛЬШИМ ОЧАГОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Введение. Расчетные задачи обработки металлов давлением (ОМД) являются одними из самых сложных задач механики. Если формулировать задачу в корректной постановке без допущений относительно физической и геометрической нелинейностей, а также нелинейностей в дифференциальных или интегральных уравнениях движения, то такие

задачи допускают только численное решение. Возможность решения реальных задач ОМД появилась только с развитием численных методов математической физики и с развитием вычислительной техники, начиная примерно с начала 70-х годов прошлого столетия. Примерно в это же время для расчета процессов ОМД начали использовать метод конечных элементов (КЭ) [1], который начал вытеснять широко используемые в то время дифференциально-разностные методы. В настоящее время к услугам расчетчиков целый спектр КЭ пакетов: LS-DYNA, ANSYS, Q-FORM, AUTOFORM, DEFORM-3D, SIMUFACT.FORMING, включающий в себя пакеты MSC.Superform и MSC.Superforge, а также много других менее известных. В этих КЭ пакетах (не во всех) могут одновременно присутствовать явные и неявные решатели. Не квалифицированные в области вычислительной математики расчетчики (большинство пользователей) применяют эти комплексы, не задумываясь о корректности получаемых результатов расчетов. Тем более что качественная экспериментальная проверка расчетов в современных условиях, например нашего университета, затруднена. Особенно такие проблемы возникают при КЭ моделировании процессов обработки металлов давлением, таких как прокатка, раскатка, накатывание зубьев, получение беззаклепочных соединений, связанных часто с разрушением металла и др. [2]. Эти процессы характеризуются небольшим очагом пластического деформирования и большой упругой зоной, деформации в которой на несколько порядков ниже, чем в пластической области. В случае использования неявных решателей при численной реализации КЭ алгоритма это приводит к вырождению матрицы решаемой системы алгебраических уравнений, и в итоге к ошибке в расчетах. Поэтому необходимо правильно выбирать КЭ комплекс в соответствие с особенностями решаемой задачи.

Задачей данной работы являлось показать реальность указанных проблем на примере КЭ моделирования процесса беззаклепочного соединения прессованием.

Рассматривалось КЭ моделирование беззаклепочного соединения прессованием аналогично, как это делалось в работе [3]. В качестве материала заготовок бралась сталь 08ю толщиной 1,5 мм. Задавались следующие физические характеристики стали: плотность ρ = 7800 кг/м^3, модуль Юнга E=200 ГПа, коэффициент Пуассона ν = 0,3. Кривая деформационного упрочнения задавалась в виде степенного закона

$$\sigma_s = B\varepsilon_i^m,$$

где σ_s – напряжение текучести, ε_i – логарифмическая деформация, а параметры закона определялись аппроксимацией данных близкой по свойствам стали 08кп, взятых из справочника [4]: $B \cong 948$ МПа, $m \cong 0{,}439$. Геометрическая модель скрепляемых заготовок и инструмента представлена на рис. 1.

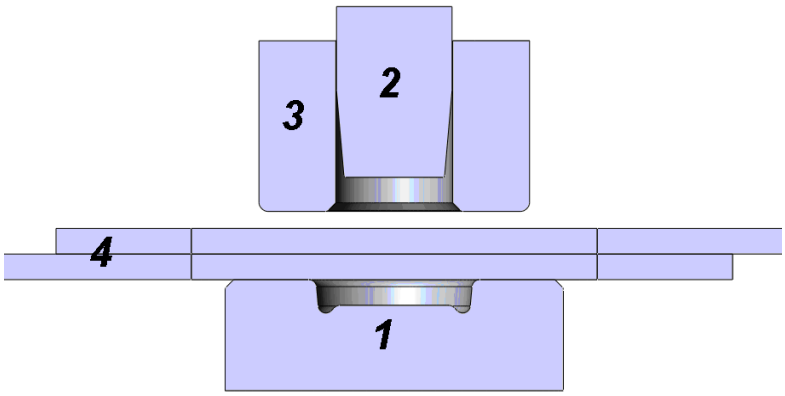


Рис. 1. Геометрическая модель скрепляемых заготовок и инструмента:
1 – матрица, *2* – пуансон, *3* – прижим, *4* – скрепляемые заготовки

Моделирование процесса осуществлялось в КЭ комплексе SIMUFACT.FORMING. Данный комплекс включает внешнюю оболочку, позволяющую работать малоквалифицированным пользователям. Также он включает исходный внутренний пакет MSC.Superform [4], позволяющий работать квалифицированным специалистам в области ОМД. Если первый вариант расчета (рис. 2, *а*) обеспечивает выбор из двух простых решателей, то второй вариант (рис. 2, *б*) дает выбрать из 9-и, среди которых есть и явные решатели.

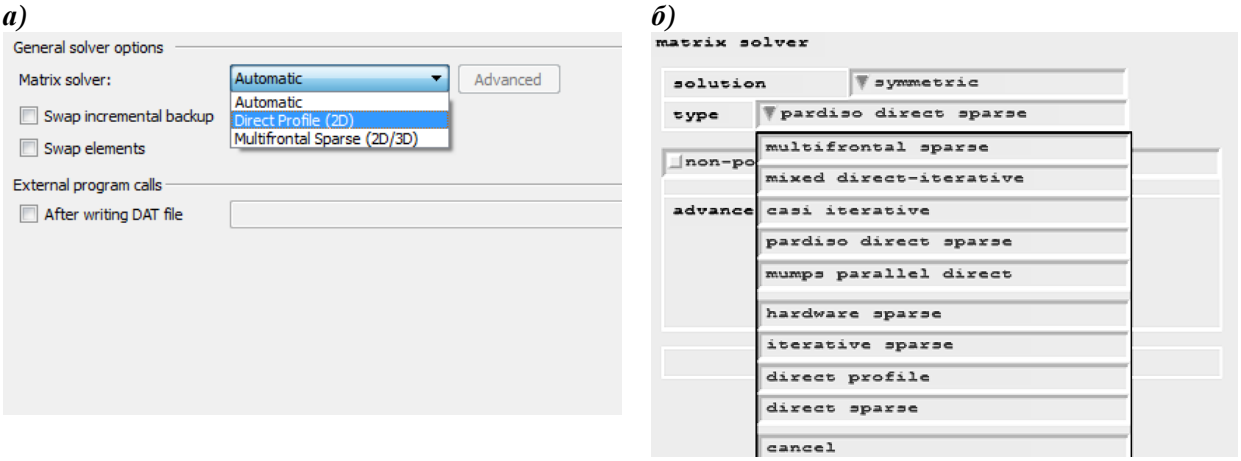


Рис. 2. Меню выбора решателей: *а* – SIMUFACT.FORMING, *б* – MSC.Superform

Первый вариант при простом интерфейсе дает быстрые результаты, но не гарантирует точности. Этого может быть достаточно для студента и не специалиста преподавателя, но не достаточно для будущего специалиста. Во втором варианте требуется знание особенностей решателей на уровне математики алгоритма, относительно длительная их настройка при сложном интерфейсе. Но в итоге может быть обеспечена необходимая точность вычислений.

В качестве примера на рисунке 3 представлены стадии моделирования процесса беззаклёпочного соединения прессованием, выполненные в двух вариантах КЭ комплекса.

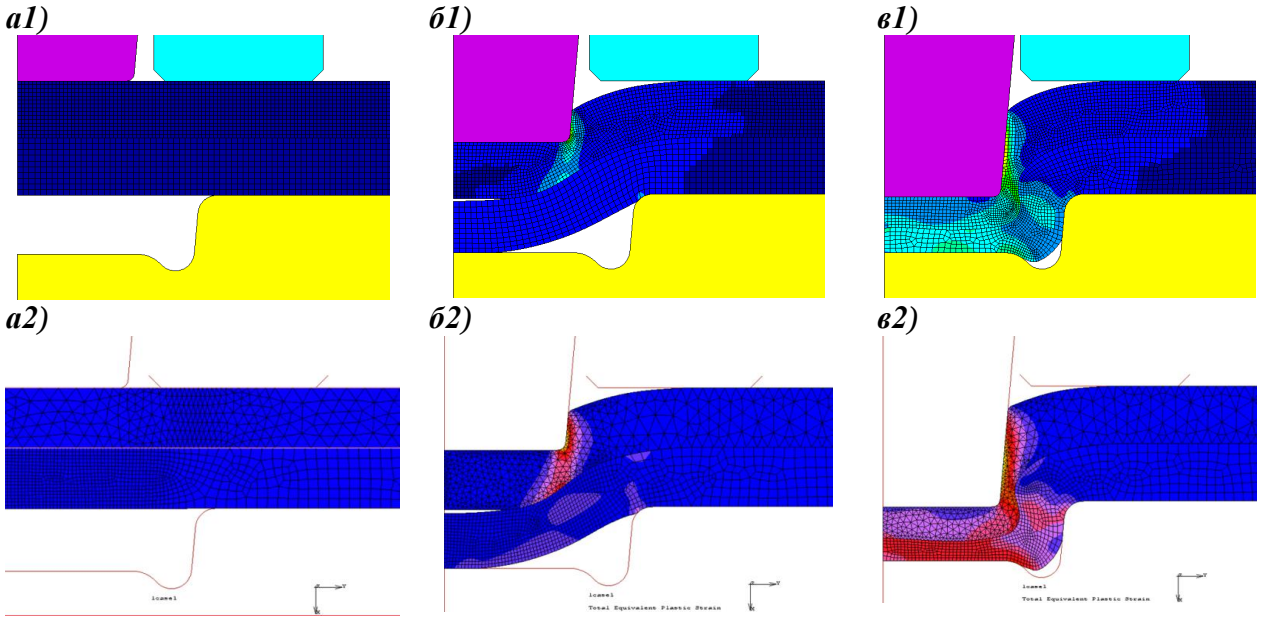


Рис. 3. Стадии формоизменения заготовок: *1* – SIMUFACT.FORMING (внешняя оболочка), *2* - MSC.Superform ; *а* – исходное положение, *б* – 50%, *в* – 100%

Кроме разной картины деформированного состояния можно отметить расхождение в усилиях штамповки: максимальное усилие на штампе для первого варианта – 48 кН, а для второго варианта – 30,5 кН.

Выводы. Ряд процессов ОМД характеризуются небольшим очагом пластического деформирования и большой упругой зоной, деформации в которой на несколько порядков ниже, чем в пластической области. На примере КЭ расчета процесса беззаклепочного соединения прессованием показано, что неправильный выбор решателя КЭ комплекса приводит к значительным погрешностям расчета.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сегал В.М. Технологические задачи теории пластичности. Мн.: Наука и техника, 1977, 254 с.
2. Морозов Е.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. М.: Наука, 1980, 254 с.
3. Бельчак Н.В. Моделирование процесса беззаклёпочного соединения прессованием // Материалы научного форума «Неделя науки СПбПУ»: Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ. Ч. 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015, с. 208-211.
4. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М: Металлургия, 1973, с. 224.
5. MSC.SuperForm User's Guide. Version 2005.

УДК 621.762

А.Н. Кошурин[1], Д.Л. Кедо[2], А.В. Гоциридзе[1], К.В. Мартынов[1]
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
[2]АО "Завод "Красный Выборжец"

УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ПОЛУЧЕННЫХ ГОРЯЧИМ ПРЕССОВАНИЕМ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ БРОНЗ

Введение. В настоящее время наблюдается активный рост металлургического производства. На сегодняшний день Российская Федерация является одним из лидеров по производству и обработке в цветных металлов и сплавов.

На сегодняшний день АО "Завод "Красный Выборжец" являясь одним из ведущих производителей цветного металлопроката, прессованных и тянутых труб и профилей, в значительной степени покрывает потребности предприятий военно-промышленного комплекса, судостроения, космической отрасли в этих видах продукции.

Зная высокие требования предъявляемыезаказчиками к выпускаемой продукции на АО "Завод "Красный Выборжец" была создана специальная система управления качеством в соответствие требованиям международного стандарта.

Работа этой системы показала, что не всегда удается обеспечить требуемый уровень различных компонентов в одной марке сплава.

Среди медных сплавов алюминиевые бронзы занимают одно из первых мест по распространению в промышленности

Бронза БрАЖН 10-4-4 относится к алюминиевым бронзам, обладающим более высокой коррозионной стойкостью, механическими и антифрикционными свойствами по сравнению с другими медными сплавами. [1,2].

Благодаря эвтектоиду и железистым включениям антифрикционные свойства и прочность этих бронз становится выше. Применение никеля приводит к облагораживанию алюминиевых бронз и повышению их жаропрочности. Легирование алюминием влияет на механические и коррозионные свойства.

Возможность упрочнения за счет термической обработки появляется при легировании оловянных бронз никелем. На сегодняшний день влияние режимов термической обработки на свойства алюминиевых бронз исследовано недостаточно. Не смотря на различные области применения различных марок бронз, практически все заказчики обязательно оговаривают уровень прочностных свойств.

Целью данной работы является выбор метода управления прочностными свойствами полуфабрикатов полученных прессованием из алюминиевых бронз.

Исследовательская часть.

Исследования проводились в центральной лаборатории на оборудовании АО "Завод "Красный Выборжец".

Для проведения исследований была выбрана алюминиевая бронза БрАЖН 10 – 4 – 4

Влияние на механические свойства прессованных полуфабрикатов могут оказывать следующие факторы: а) температура прессования, б) степень деформации, в) термообработка сплава.

Предыдущие исследования показали, что качественные полуфабрикаты из бронзы БрАЖН 10 – 4 – 4 могут быть получены прессованием при температуре не ниже 900 С, что превышает температуру рекристаллизации более, чем на 100С.

Поскольку температура прессования выше температуры рекристаллизации, степень деформации не оказывает существенного влияния на механические свойства [3,4]. Остается только один возможный способ – это термообработка алюминиевых бронз (закалка, отпуск, отжиг).

Исследование влияния термообработки на твердость бронзы БрАЖН 10-4-4 проводились на образцах, вырезанных из прессованных прутков диаметром 80 мм. Прессование производилось при температуре 925^{o}С из слитков диаметром 300 мм, полученных полунепрерывным методом литья. Слитки отливали в спрейерные кристаллизаторы с параллельным выходом воды (без выхода воды на слиток).

Химический состав бронзы БрАЖН 10-4-4 в соответствии с ГОСТ 18175-78 приведен в таблице №1.

Таблица №1

Fe	Si	Mn	Ni	P	Al	Cu	Pb	Zn	Sn	Примесей
3.5-5.5	до 0.1	до 0.3	3.5-5.5	До 0.01	9.5 - 11	ост.	до 0.02	до 0.3	до 0.1	всего 0.6

В экспериментах использовались образцы со средними значениями легирующих компонентов.

Как видно из таблицы №2 и №3 образцы подвергались термической обработки по семи режимам. Время выдержки, перед каждой операцией (закалкой, отпуском, отжигом) составило 20 мин.

Таблица № 2

Твердость до закалки НВ 10/1000/30	Температура закалки, С	Твердость после закалки НВ 10/1000/30	Температура отпуска, С	Твердость после старения НВ 10/1000/30
192	800	263	750	184
205	800	258	800	191
198	800	249	850	197
192	900	279	750	192
205	900	283	800	185
198	900	291	850	198

Таблица №3

Твердость до термообработки НВ 10/1000/30	Режим термообработки	Твердость после термообработки НВ 10/1000/30
211 192 217 195 206	Отжиг при температуре 800С, охлаждение с печью.	183 179 184 186 187

В качестве прочностной характеристики была выбрана твердость по Бринеллю, которая измерялась в соответствии с ГОСТ 1628-78.

Твердость после закалки возросла на 25-30%. После отпуска или старения, твердость стабилизировалась на нижнем пределе по ГОСТ 1628-78.

Также проводились металлографические исследования. На рис. 1 представлены фотографии микрошлифов до и после закалки.

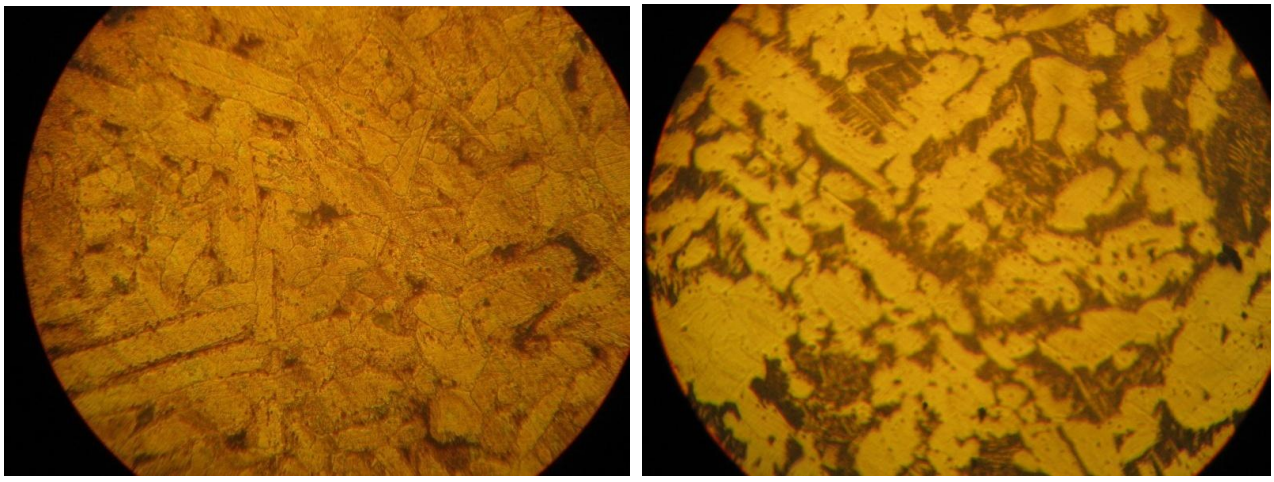


Рис. 1. Макрошлифы образца сплава БрАЖН 10-4-4 (х625)
а) образец перед закалкой; *б)* образец после закалки

Выводы:

Поскольку полуфабрикаты из сплавов на основе меди получают горячим прессованием, то единственным возможным путем управления прочностными свойствами является термообработка.

Проведенные эксперименты показали, что при помощи соответствующих режимов термообработки прессованных заготовок можно обеспечить прочностные характеристики, как по нижнему, так и по верхнему твердости по ГОСТ 1628-78 для сплава БрАЖН 10-4-4.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Меркулова Г.А. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2008.
2. Штанов Е. Н., Штанова И. А. Цветные металлы и сплавы. Н. Новгород: Вента-2, 2001.
3. Баричко Б.В., Космацкий Я.И., Панова К.Ю. Технология процессов прессования. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011.
4. Жолобов В.В. Прессование металлов. М.:Металлургия, 1971.

УДК 621.98.04

Н.М. Потапов, С.Н. Кункин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «ЗАЖИМ»

Актуальность. Холодной листовой штамповкой изготавливают детали широкой номенклатуры, а также детали изготовление которых другими способами невозможно (сложная полая форма, мелкозернистая структура, анизотропия свойств) либо экономически не выгодны.

Цель работы – разработка технологии последовательной листовой штамповки с использованием операций гибки и учетом упругого пружинения для оптимизации геометрии инструмента и обеспечения необходимой точности после штамповки.

Процессы проектирования и изготовления технологической оснастки занимают существенное место в цикле технической подготовки производства в автомобилестроительной, авиационной, космической и других отраслях. Программные продукты Siemens PLM Software являются лидерами в повышении качества и снижения трудоемкости создания проектов технологических процессов и оснастки. Программа NX позволяет снизить время по отработке геометрии детали, а также проектировать оснастку с применением библиотек типовых деталей, что значительно сокращает время подготовки документации [1, 2].

На начальном этапе строится модель детали по чертежу в приложении NX листовой метал. Чертеж детали и полученная модель представлена на рисунке 1.

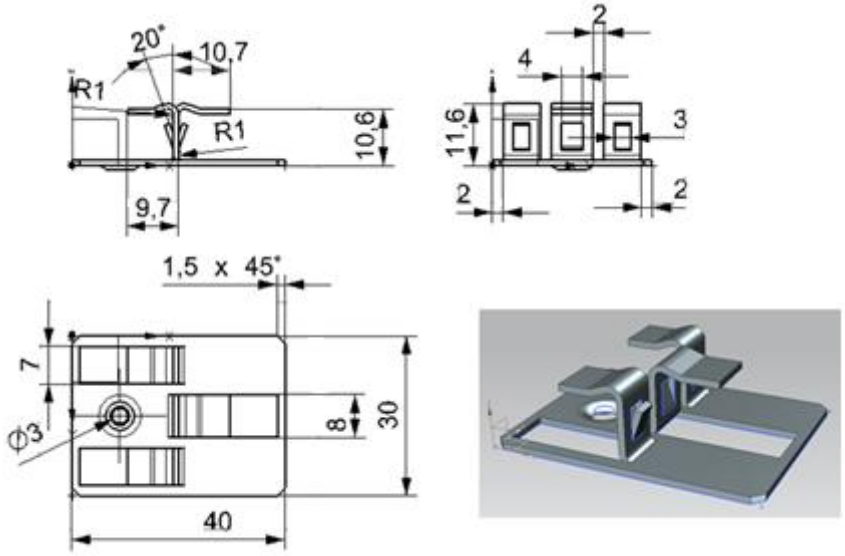


Рис. 1. Чертеж и 3D модель детали «Зажим»

Толщина листового материала детали «Зажим» 0,8 мм. Материал детали - сталь высокой коррозионной стойкости 12Х18Н10Т.На втором этапе производим анализ штампуемости детали и оценку пружинения материала после снятия нагрузки. Специализированные программные комплексыдля моделирования процессов обработки давлением позволяют выполнять анализ штампуемости изделия и расчет пружинения, построение развертки, определение оптимального раскроя, расчет стоимости изделия, моделирование процесса штамповки, предоставляет возможность проверить, отработать и

оптимизировать конструкцию изделия непосредственно на стадии его конструкторской разработки [3, 4, 5,6].

В качестве входных параметров задаем геометрию части детали и свойства материала таблица 1.

Таблица 1. Механические свойства материала 12Х18Н10Т

Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, кг/м^3
530	205	2.1e5	0.3	7920

Пружинение металла после операций гибки представлено на рисунке 2. Точками отмечены наибольшие отклонения геометрии от заданной, так на рисунке 2, *а* точки 1 и 2 соответствуют максимальным значениям 0,06 мм, а точка 3 минимальному -0,09 мм. Аналогично на рисунке 2, *б* точка 3 максимальное отклонение 0,06 мм, точка 1 отклонение -0,1 мм, точка 2 отклонение - 0,089 мм.

Угол пружинения зависит от многих факторов и рассчитать его абсолютно точно не представляется возможным. Также угол пружинения может изменяться в зависимости от партии поставки одного и того же материала. Компьютерное моделирование гибки с учетом пружинения позволяет оценить данный параметр и выбрать рациональную форму инструмента для изготовления штамповки в соответствии с чертежом [7].

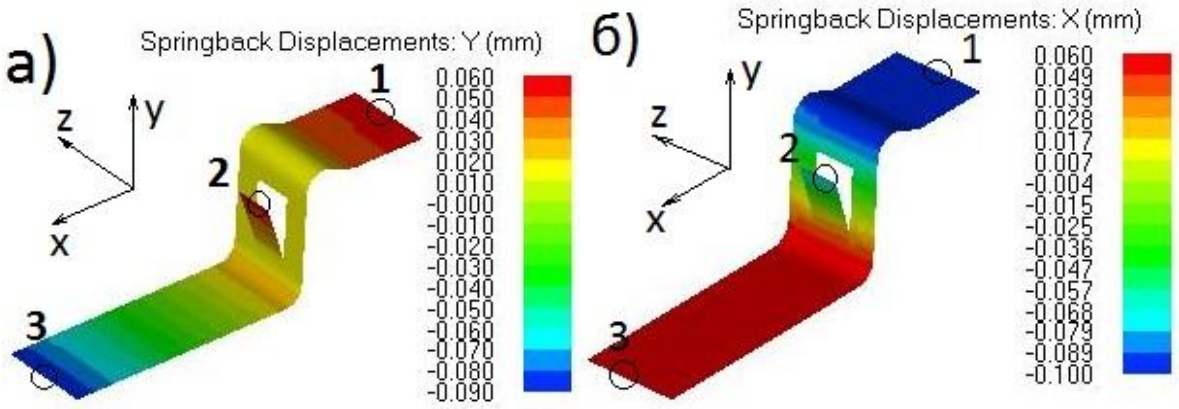


Рис. 2. а) Пружинение вдоль вертикальной осиY. б)Пружинение вдоль оси X.

Результат моделирования показал необходимость изменить величину углов, представленных на рисунке 3.

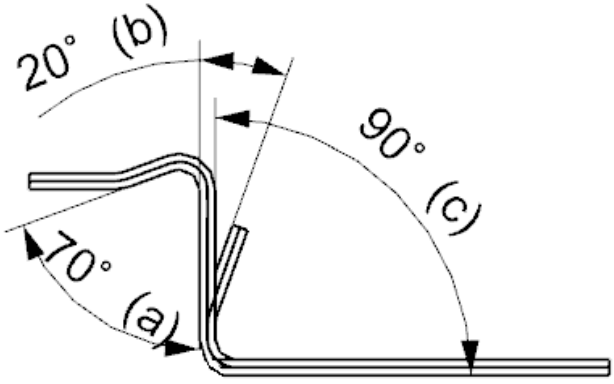


Рис. 3. Деталь с указанными изменяемыми углами

Результаты: Расчет пружинения показал необходимость при разработке инструмента учет пружинения металла после снятия нагрузки. Для этого необходимо изменить углы инструмента a) уменьшить на 30', b) увеличить на 1°40', c) увеличитьна 1°.

Выводы: Использование программных комплексов CAE-класса, а также специализированных программных продуктов для обработки давлением позволяют в короткие сроки оптимизировать геометрию детали, грамотно спроектировать инструмент, учитывая поведение металла в процессе нагружения и после снятия нагрузки, что значительно сокращает время разработки оснастки и технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке.- 6-е издание, перераб. И доп.-Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1979 г. 520с.
2. Почекуев Е.Н., Путеев П.А., Шенбергер П.Н. Проектирование штампов для последовательной листовой штамповки в системе NX. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 336 с.: ил.
3. Моделирование процессов штамповки деталей в программном комплексе FormingSuite : электрон. метод. указания / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. Я.А. Ерисов, А.Г. Шляпугин, М.В. Хардин. - Электрон. текстовые и граф. дан. (4,81 Мбайт). - Самара, 2011.
4. ASM Handbook, Volume 22B, Metals Process Simulation D.U. Furrer and S.L. Semiatin, editors, 2010.
5. Sheet Metal Forming. Fundamentals. Edited by Taylan Altan and ErmanTekkaya ASM International ©. Copyright © 2012.
6. Sheet Metal Forming. Processes and Applications. Edited by Taylan Altan and ErmanTekkaya ASM International ©. Copyright © 2012.
7. В.Л. Марченко, Л.И. Рудман, А.И. Зайчукидр. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л.И. Рудмана. - М.: Машиностроение, 1988. - 496 с.: ил. - (Б-ка конструктора).

УДК 621.9.048

Д.А. Зарубин, Н.Н. Горобей
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЗОНА ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ПОЛИРОВКЕ МЕТАЛЛОВ

Введение. Одной из центральных научных проблем материаловедения является проблема влияния физико-химических свойств поверхности на функциональные характеристики деталей машин, инструментов и приборов. Поэтому уровень наших знаний о структуре, составе и физических свойствах поверхностей металлических деталей, а также о физических процессах, протекающих на поверхностях при различных видах обработки или полировки, обуславливает возможность успешного развития различных областей промышленности, в том числе и машиностроения.

В последнее время особое внимание уделяется электролитно-плазменному полированию (ЭПП) металлов [1,2]. Однако при ЭПП в течение короткого промежутка времени в локальных областях поверхности образца-заготовки происходит повышение температуры до температуры плавления. Это может привести к снижению прочностных свойств поверхностного слоя образца.

Цель работы. Разработать теорию зависимости размеров зоны термического влияния от параметров ЭПП.

Эксперимент и теория. ЭПП образцов-заготовок проводилось в электрохимической ячейке. ЭПП отличается от электролитно-химического полирования тем, что проводится при более высоких напряжениях $U = 300 - 400\ B$ и больших плотностях тока $[2,3]$. В электрохимической ячейке металлический образец играет роль анода. При данном режиме вокруг образца возникает плотная парогазовая оболочка, толщина которой составляет $0{,}025$ см. Эта оболочка представляет собой диэлектрический слой, который при высоком напряжении пробивается разрядами с образованием плазменного канала между электролитом и вершиной пирамидки поверхностного рельефа. Это сопровождается резким повышением локальной температуры в зоне разряда $[3]$. В этой области происходит процесс плавления и испарения металла, а, следовательно, температура достигает температуры плавления. Однако ввиду малости расплавляемого объема и короткого времени разряда температура образца оставалась невысокой, т. е. порядка $\geq 100^o C$. В конечном счете, в результате разрядов происходит сглаживание вершин пирамидок за счет сил поверхностного натяжения расплавленного материала.

Из экспериментов известно, что время протекания газового разряда порядка 10^{-7} с. Этот факт, а также прерывистая форма разрядов в виде молний и интенсивность свечения свидетельствуют о том, что мы имеет дело с искровыми разрядами.

Распределение температуры T со временем t в образце можно найти из уравнения теплопроводности. Решение этой задачи относится к решению краевой задачи для дифференциального уравнения эллиптического типа $[4]$:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \Delta T\,, \tag{1}$$

где Δ - оператор Лапласа.

В данной работе нас не интересуют детали решения этой задачи. Поэтому будем использовать решение одномерной задачи ($\Delta = d^2/dx^2$) с фиксированными температурами на верхней и нижней границах. В начальный момент времени $t = 0$ температура заготовки одинакова и равна комнатной температуре T_o. В начальный момент на верхней границе температура испытывает скачок. Температура на верхней границе все время поддерживается постоянной и равна $T_{\text{пл}} > T_o$. Требуется найти распределение температуры $T(x,\tau)$ в пирамидке во все последующие моменты времени. Направим ось x внутрь пирамидки. Решение уравнения (1) имеет следующий вид $[4]$:

$$T = A \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}} \exp\left(-\xi^2\right) d\xi + B, \tag{2}$$

$\alpha = \lambda / c\rho$ - коэффициент температуропроводности.

Остается найти постоянные интегрирования A и B. Полагая $x = 0$, $t \neq 0$, получаем $T = B$. Таким образом, постоянная B дает температуру поверхности заготовки во все моменты времени $t \neq 0$. Но в данном эксперименте она постоянна и равна $T_{\text{пл}}$. Для определения постоянной A воспользуемся начальным условием: $T = T_o$ при $t = 0$. Это дает $T_o = A\int_0^{\infty} \exp\left(-\xi^2\right) d\xi + T_{\text{пл}}$. В интегральном исчислении доказывается, что входящий сюда интеграл равен $\sqrt{\pi}/2$. Таким образом, $T_o = A\sqrt{\pi}/2 + T_{\text{пл}}$. Окончательное решение задачи имеет вид

$$T = 2\frac{T_o - T_{пл}}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}} \exp\left(-\xi^2\right) d\xi + T_{пл} \qquad (3)$$

Из фононной теории [5] теплопроводности твердого тела следует, что коэффициент теплопроводности определяется по формуле

$$\lambda = \frac{1}{3}\rho V_{зв}\left\langle l_ф \right\rangle c\,, \qquad (4)$$

где $V_{зв}$ - скорость звука в твердом теле, $\left\langle l_ф \right\rangle$ - средняя длина свободного пробега фононов, вычисление которой является не простой задачей. Найдем коэффициент температуропроводности, от которого сильно зависит распределение температуры в пирамидке,

$$\alpha = \frac{1}{3}V_{зв}\left\langle l_ф \right\rangle. \qquad (5)$$

Однако надо иметь ввиду то, что мы рассматриваем теплопроводность в одной пирамидке шероховатого поверхностного рельефа, в которой отсутствует трансляционная симметрия пространства. Поэтому для оценки коэффициента α в качестве $\left\langle l_ф \right\rangle$ следует взять межатомное расстояние a. Тогда оценка дает $\alpha \cong 1{,}0 \cdot 10^{-8} м^2/c$, что почти на 3 порядка меньше обычного коэффициента α, взятого для объемного материала. Это означает, что температура достаточно резко спадает в пирамидках поверхностного рельефа. Следовательно, высокая температура при ЭПП не проникает в объем металлической заготовки и не приводит к существенным структурным изменениям, в результате которых снижаются прочностные свойства металлической заготовки.

Зная α нетрудно оценить зону термического влияния $l_{тв}$ по формуле

$$l_{тв}{}^2 \cong 4\alpha t\,. \qquad (7)$$

Здесь t - длительность импульса подаваемого напряжения. Чем меньше импульс, тем меньше размер зоны термического влияния. При $t = 10^{-2} c$ зона термического влияния имеет размер $l_{тв} \cong 20$ мкм. При $t = 10^{-4} c$ - $l_{тв} \cong 2$ мкм. В обоих случаях размер превышает размер шероховатости. Поэтому оптимальным параметром времени является $t = 10^{-5} c$, так как в этом случае $l_{тв} \cong 0{,}63$ мкм, что не превышает размер шероховатости. Если размер зоны термического влияния не превышает размера пирамидок, то структурные перестройки, происходящие при повышенной температуре, не скажутся на прочностных свойствах образца-заготовки.

Выводы. При оптимальном подборе временного параметра подачи напряжения можно добиться того, что зона термического влияния не выходила за пределы шероховатости. Тем самым, мы может обеспечить сохранение прочностных свойств образцов-заготовок после ЭПП.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дураджи В.Н., Парсаданян А.С. Нагрев металлов в электролитной плазме. Кишинев. Изд. «Штиинца». – 1988. –216 с.

2. Локтев Д.Е., Ушомирская Л.А., Новиков В.И. Исследование параметров электролитно-плазменного полирования низколегированной стали методом планирования полного факторного эксперимента. Металлообработка: научно-производственный журнал. 2009. - №5 (53). – С.15-18.

3. Новиков В.И., Ушомирская Л.А. Исследование шероховатости поверхности сталей от параметров электролитно-плазменного полирования. Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов. XXXYII Неделя Науки СПбГПУ. – 2008. – Ч.IY. – С.107-108.
4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: «Наука». – 1977. – 736 с.
5. Киттель. Ч. Введение в физику твердого тела. М.: «Наука». – 1978. – 792 с.

УДК 621.73.

А.Р. Мухамадуллина, А.А. Мельников, П.А. Кузнецов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЕТАЛИ «СОЛНЕЧНАЯ ШЕСТЕРНЯ» НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель работы - разработка рационального технологического процесса холодного выдавливания детали «солнечная шестерня» на основе компьютерного анализа.

Детали типа «солнечная шестерня» широко применяются в редукторах электроинструментов и медицинских хирургических устройствах. Деталь является сложным стержневым изделием с широким фланцем и рабочим наружным зубчатым профилем. На рисунке 1 представлен общий вид детали «солнечная шестерня». Распространенным вариантом изготовления таких деталей является горячая штамповка с последующей механической обработкой [1]. Данная технология позволяет получать изделия с высокими механическими свойствами, но имеет низкий коэфициент использования металла (отход до 40%) и значительную шероховатость (Ra1.25 – 3.2). Представляет значительный интерес получение таких деталей методом холодной объемной штамповки. При этом детали обладают высоким качеством поверхности. На поверхности образуется определенный качественный слой, отличающийся малой величиной микронеровностей и высокой несущей способностью. Прочность и износостойкость повышаются в результате наклепа металла в результате деформации и благоприятного расположения волокон его структуры [2]. На рисунке 2 представлены возможные варианты технологических процессов изготовления детали «солнечная шестерня» методом холодного выдавливания.

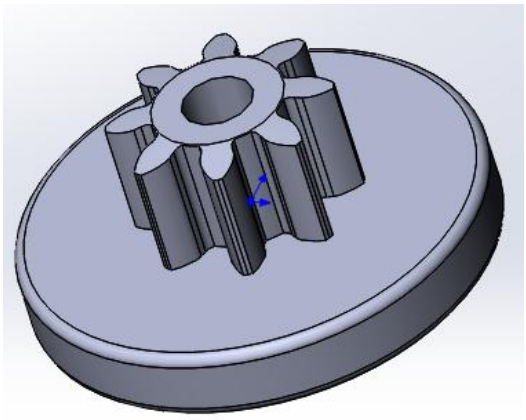


Рис. 1. Солнечная шестерня

Первый вариант – комбинированное выдавливание на прессе двойного действия, включает в себя следующие операции: предварительная термическая обработка; резка прутка на штучные точные заготовки; подготовка заготовок к холодной объемной штамповке; прямое выдавливани стержня; высадка фланца; комбинированное выдавливание зубьев шестерни с фиксацией фланца.

Второй вариант – комбинированное выдавливание в плавающей матрице, включает в себя следующие операции: предварительная термическая обработка; резка прутка на штучные точные заготовки; подготовка заготовок к холодной объемной штамповке; прямое выдавливание стержня; высадка фланца; комбинированное выдавливание зубьев шестерни в плавающей матрице.

Третий вариант – прямое выдавливание зубьев шестерни на первой операции, включает в себя следующие операции: предварительная термическая обработка; резка прутка на штучные заготовки; подготовка к холодной объемной штамповке; прямое выдавливание зубьев шестерни; предварительная осадка фланца; окончательное выдавливание.

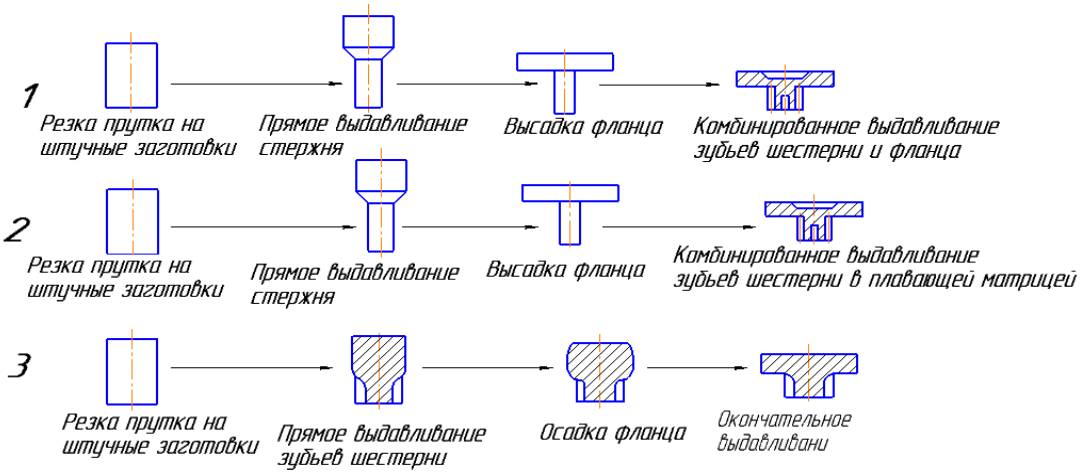


Рис. 2. Альтернативные варианты выдавливания

В процессе моделирования использовался программный продукт - Simufact.Forming с исходными данными: геометрия импортирована из CAD, оборудование – гидравлический пресс, температура заготовки и инструмента постоянная, равная 20^0C, коэффициент трения равен – 0.08, материал заготовки 16MnCr5. Компьютерное моделирование позволяет определить возможные дефекты при последовательном ступенчатом формообразовании деталей сложной формы [3, 4].

При компьютерном анализе первого варианта было выявлено, что напряжения и деформации возрастают в области резкого перехода от большего диаметра матрицы к меньшему диаметру. Наблюдается сложная картина напряженно – деформированного состояния,возникает встречное течение металла и на основании зубьев образуется складка. Полость зубьев заполняется не полностью. При компьютерном моделировании второго варианта наблюдается бочкообразность при осадке зубьев и возникает складкообразование на переходе от стержневой части заготовки к фланцевой. При моделировании третьего варианта не было выявлено явных дефектов, картина общего напряженно – деформационного состояния лучше в плане нагрузки на заготовку, существуют плавные переходы от фланцевой части к стержневой,что показано на рисунке 3.

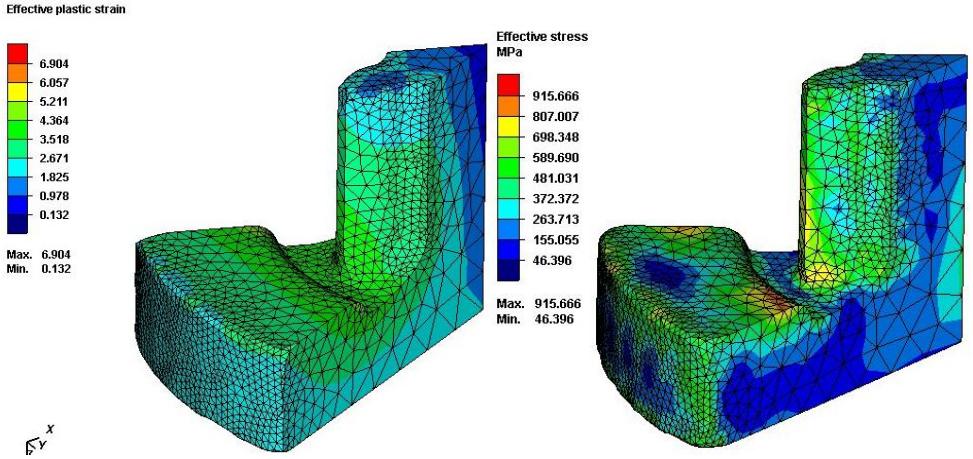


Рис. 3. Распределение деформаций и напряжений в детали

В заключении следует отметить, что наиболее эффективным вариантом технологии холодного выдавливания деталей типа «солнечная шестерня» является 3-ий вариант, включающий в себя следующие операции: предварительная термическая обработка; резка прутка на штучные заготовки; подготовка к холодной объемной штамповке; прямое выдавливание зубьев шестерни; предварительная осадка фланца; окончательное выдавливание, что убедительно показано при моделировании выбранных операций.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред.совет: Е.И. Семенов (пред) и др. – М.: Машиностроение, 1987 – т.3. Холодная объемная штамповка/ Под ред. Г.А. Навроцкого. 1987. 384 с
2. Григорьев Л.Л. Холодная штамповка: Справочник / Л.Л. Григорьев, К.М. Иванов, Э.Е. Юргенсон; Под ред. Л.Л. Григорьева. – СПб. Политехника, 2009. -665с
3. Порсин М.М., Кузнецов П.А. Оптимизация процессов выдавливания полостей сложной формы XXXVII1 Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всеро-ссийской межвузовской научной конференции студентов и аспирантов. Ч.4. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010г.
4. Кононов И.Ю., Гимранова Л.Р., Кузнецов П.А, Компьютерное моделирование и анализ комбинированного последовательного выдавливания ступенчатых полостей в спечённых заготовках, Неделя науки СПбГПУ: Материалы научно-практической конференции с международным участием. Часть 4. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014г.с

УДК 621.77

Д.В. Чехомов, В.С. Мамутов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ КЛЕПКА ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Введение. В автомобилестроении, самолетостроении, а также в других областях промышленно развитых стран широко применяется процесс соединения листовых деталей пробивкой их заклепкой с последующей осадкой продавленного металла в полость канавки на заклепке [1]. С конца 90-х годов работы по исследованию данного процесса начались и в нашей стране [2]. Заклепка выполняется из высокопрочной закаленной стали. В результате образуется соединение с механическим замком. Данный процесс применяется и для соединения деталей из коррозионностойких сталей. Давно известно также, что даже небольшие пластические деформации могут вызывать процесс аустенитно-мартенситного превращения [3]. Это может отрицательно сказаться на качестве заклепочного соединения за счет увеличения остаточных напряжений вблизи очага разрушения материала. Также следует отметить, что процесс обычно осуществляется на низкоскоростном оборудовании, что имеет тенденции к образованию трещин на поверхности разрушения в период вылеживания (1-2 месяца), а также при их нагреве. При увеличении скорости перемещения инструмента, например при разгоне инструмента энергией порохов, наблюдается уменьшение области пластической деформации, а сама пробивка характеризуется отсутствием макро- и микротрещин на границах отверстия [4]. Однако использование порохов в технологическом процессе является небезопасным и не способствует улучшению экологии. Применение магнитно-импульсного усилия в операциях импульсной клепки представляется более целесообразным.

Задачей данной работы являлось определение возможности комбинирования указанного выше способа клепки и магнитно-импульсного нагружения.

Для осуществления данной задачи была спроектирована технологическая оснастка, представленная на рис. 1. Экспериментальные исследования осуществлялись на магнитно-импульсной установке (МИУ) со следующими основными параметрами:

- максимальное напряжение заряда конденсаторной батареи – 5,8 кВ,
- емкость конденсаторной батареи – около 500 мкФ,
- собственная частота разрядного тока – 28 кГц,
- собственное сопротивление – менее 0,001 Ом.

Масса подвижного элемента равнялась 0,71 кг при внешнем диаметре 130 мм. Для образцов использовалась коррозионностойкая хромоникелевая сталь аустенитного класса 12Х18Н10Т толщиной 1,5 мм.

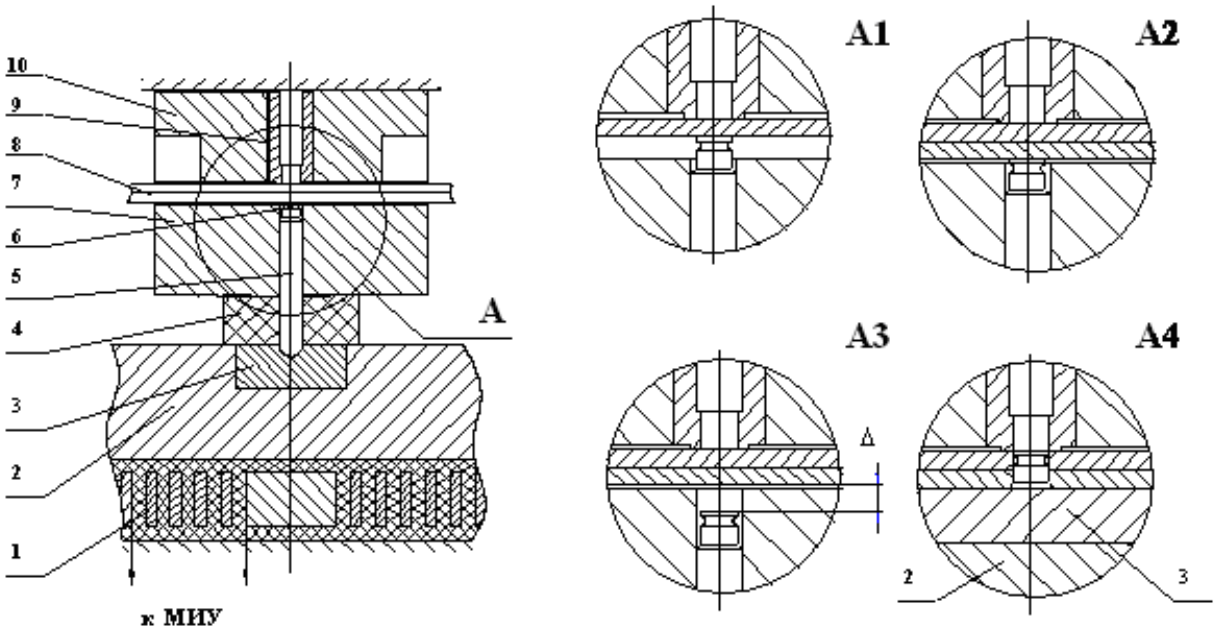


Рис. 1. Схема технологической оснастки для исследования энергии пробивки (А1, А2, А3) и продавливания материала в канавку на заклепке (А4): *1* – плоский спиральный индуктор, *2* – подвижный элемент из алюминиевого сплава, *3* – подпятник из закаленной стали, *4* – полиуретановый буфер, *5* – толкатель, *6* – заклепка, *7* – центрирующая втулка, *8* – соединяемые листовые детали, *9* – матрица, *10* – матрицедержатель

Технологический эксперимент проводился в несколько этапов. На первом этапе осуществлялась оценка энергоемкости пробивки отверстий в листовом материале. Энергоемкость при пробивке по схеме А1 (одиночная толщина без зазора) составила W_0 = 2,6 кДж. При пробивке по схеме А2 (двойная толщина без зазора) энергоемкость составила W_0 = 3,2 кДж. При задании зазора Δ = 1...3 мм между торцем заклепки и поверхностью листовой заготовки в схеме А3 энергоемкость снижалась примерно на 30…50% по сравнению со случаем отсутствия зазора. Оценивалась величина КПД импульсной пробивки по отношению работы пробивки к запасаемой в конденсаторной батарее энергии. Величина КПД для схем А1, А2 оценивалась величиной 2…3%, а для схемы А3 величиной 3…4%. Нелинейность увеличения энергии и низкий КПД при пробивке одного и одновременно двух образцов можно объяснить влиянием большого отношения диаметров подвижного элемента и толкателя, что при волновом характере передачи энергии может приводить к значительным ее потерям.

На следующем этапе определялась энергия, необходимая для продавливания материала в канавку на заклепке. Опыты проводились по схеме А4. Энергия требовалась в пределах

2,5…3,0 кДж. Так как на предыдущем этапе произошло затупление режущей кромки матрицы коническим участком заклепки при передозировке энергии ($W_0 \cong 4$ кДж), то это приводило к появлению заусенца.

На заключительном этапе осуществлялась комбинированная пробивка и осадка. Потребная для осуществления операции энергия составляла примерно 3,5 кДж. Так как максимальная запасаемая энергия установки – 10 кДж, то имеется достаточно большой запас энергии для отладки, оптимизации и дальнейшего исследования процесса. Таким образом, показана возможность магнитно-импульсной клепки листовых деталей.

Выводы. Разработана экспериментальная оснастка для магнитно-импульсной клепки листовых деталей. Оснастка испытана для соединения листовой стали 12Х18Н10Т толщиной 1,5 мм. Сделана оценка энергоемкости для отдельных стадий процесса и формирования заклепочного соединения в целом. Показана возможность магнитно-импульсной клепки листовых деталей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Meschut G., Janzen V., Olfermann T. Innovative and Highly Productive Joining Technologies for Multi-Material Lightweight Car Body Structures. Journal of Materials Engineering and Performance.V. 23(5). 2014, pp. 1515—1523.

2. Рис В.В. Новые технологии соединения листовых деталей / В.В.Рис, К.Крюгер, Ф.Либрехт // КШП № 1.-1997.-С.22-23.

3. Вилби Б.А., Христиан И.В. Мартенситные превращения // Успехи физических наук. I960.- Т. LXX, вып. V.-С.515-564.

4. Верещагин П.В., Чеканов М.А. Соединение листовых деталей недеформируемыми элементами с использованием энергии порохов // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы 2-ой межрегиональной научно-практической конференции с международным участием 26-27 сентября 2002 года. Бийск: Изд-во Алт ГТУ, 2002.- 15-18.

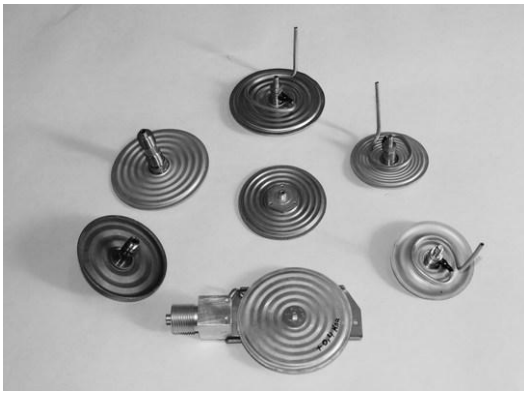
УДК 621.715.2

И.Ю. Кононов, Л.Б. Аксенов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ФОРМОВКА ГОФРИРОВАННЫХ МЕМБРАН В ПЛАСТИКОВЫХ ШТАМПАХ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ 3-D ПЕЧАТЬЮ

Введение. Мембраны, коробки и блоки мембранные металлические широко используются для манометрических измерительных приборов в качестве чувствительных элементов, а также используются как разделители двух сред и как гибкие уплотнители для перемещений в области давления или разрежения (Рис. 1). Гофрировка поверхности мембраны в виде кольцевых волн значительно повышает надежность ее работы и спрямляет статическую характеристику мембраны. Наиболее часто применяемые профили для гофрированных мембран -синусоидальный, трапецеидальный и пильчатый [1-3]. Мембраны металлические измерительные изготавливаются из фосфористой или бериллиевой бронзы, нейзильбера и стали. Измерительные металлические мембраны выпускаются диаметром от 20 до 127 мм при толщине от 0,045 до 0,32 мм.

Постоянно растущее разнообразие приборов, использующих металлические мембраны, выдвигает требования к быстрой подготовке производства. Однако трудоемкость изготовления металлических штампов для производства мембран и их относительно высокая стоимость стоят на пути быстрой смены номенклатуры производимых мембран. Применение пластиковых штампов вместо металлических могло бы решить эту проблему [4].





а. *б.*

Рис. 1. Металлические мембраны, коробки и блоки мембранные (а) [2];
мембрана и корпус тензосенсора (б) [3]

Цель работы – исследовать возможность тонколистовой формовки в пластиковых штампах, обеспечивающей формовку металла заданного профиля без разрушения металла при ограничении напряженного состояние пластиковых штампов упругой зоной.
Для этого была выполнена формовка гофрированных мембран с пильчатым профилем из алюминия 3103, толщиной 0,1 мм, диаметром 80 мм пластиковыми штампами, изготовленными на 3D принтере из акрилонитрилбутадиенстирола. Пильчатый профиль наиболее труден для формообразования и требует повышенных усилий формовки по сравнению с другими видами профилей. Высотой профиля варьировалась от 2 до 4 мм. На (Рис. 1, *а*) представлена отформованная заготовка с высотой профиля 4 мм. Штамповая оснастка (Рис. 1, *б*) представляет собой разъёмный, полностью функциональный блок, состоящий из пружины, пуансона, матрицы и прижима. Данный штамповый блок позволяет формовать тонкостенные мембраны из тонколистовых заготовок диаметром до 80 мм.





а. *б.*

Рис. 1. Гофрированная мембрана, изготовленная в пластиковых штампах (а) и
штамповая оснастка, использованная для формовки мембраны пластиковыми штампами (б)

Эксперименты показали, что применение пластикового инструмента позволяет достигнуть требуемой геометрии формуемых мембран. Визуально заметных признаков износа или пластической деформации пластикового инструмента после формовки не обнаружено.

Компьютерное моделирование процесса формовки было осуществлено в комплексе Simufact 13.3.1.Для ускорения конечно-элементного моделирования задача была сведена к плоской. Для конечно-элементного разбиения пуансона и матрицы использовался сеткопостроитель –Quadtree, тип элемента – четырехточечный; количество элементов – 860 для пуансона и 991 для матрицы (рис. 2).Для конечно-элементного разбиения заготовки использовался сеткопостроитель –Advancingfrontquad, тип элемента – четырехточечный; количество элементов –588.

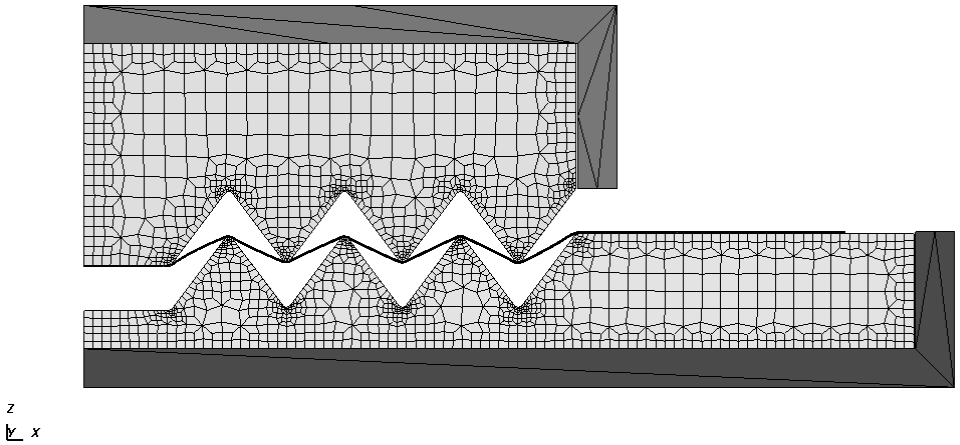
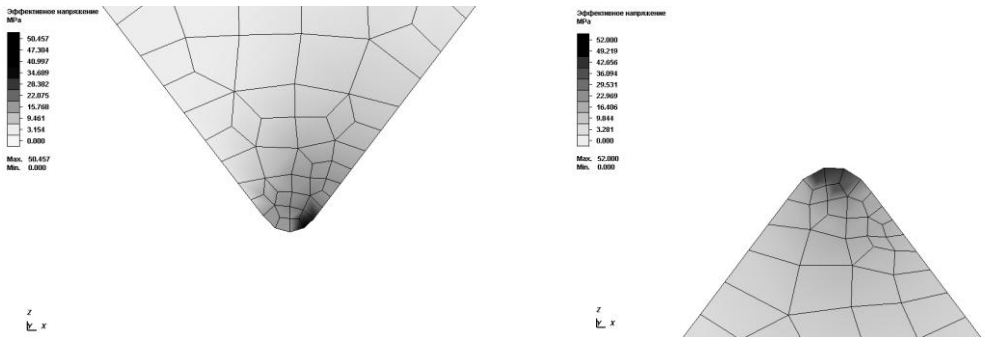


Рис. 2. Деформация конечно-элементной разбивки штампов в процессе формовки тонколистовой заготовки в пластиковых штампах

Для пластиковых штампов задавался модуль упругости материала равный–2,4 ГПа [5]. Для материала заготовки была принята модель упруго-пластического тела с деформационным упрочнением по Людвигу. Предел текучести отожжённого материала заготовки составлял 115 МПа [6]. В процессе расчёта были получены распределения эффективных напряжений в пуансоне (Рис. 3, *а*) и матрице (Рис. 3, *б*), из которых следует, материал достигает предельных возможностей сохранения упругого состояния, учитывая что предел текучести для примененного пластикового материала составляет 52 МПа. При формовке других профилей (синусоидального и трапецеидального) или меньшей высоте профиля значение максимума эффективных напряжений снижается.



а. б.

Рис. 3. Эффективные напряжения в пуансоне (а) и матрице (б) на конечной стадии формовки

Выводы:

- Экспериментально установлено, что пластиковый инструмент изготовленный методом 3D печати может быть использован для формования гофрированных мембран – профиля, высотой не более 4 мм из алюминия 3004 толщиной 0,1 мм.
- Визуально установлено, что при исследуемой формовкезаметных признаков износа или пластической деформации пластикового инструмента не обнаружено.
- Конечно-элементное моделирование в программном комплексе Simufact.Forming показало, что напряженное состояние пластиковых штампов не выходит за пределы упругой зоны.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Упругие чувствительные элементы. Мембраны. Электронный ресурс: http://geyz.ru/load/izmerenie_davlenija/uprugie_chuvstvitelnye_ehlementy_membrany/4-1-0-33 (Дата обращения: 03.10.2016).
2. Мембраны, коробки и блоки мембранные измерительные металлические. Электронный ресурс: http://www.saranskpribor.ru/product-catalog/bellows-and-bellows-assemblies/membranes-boxes-and-blocks-of-metal-measuring-diaphragm.html (Дата обращения: 03.10.2016).
3. Датчики давления с аналоговым выходом. Электронный ресурс: http://knowkip.ucoz.ru/publ/teplotekhnicheskie_izmerenija/i/datchiki_davlenija_s_analogovym_vykhodom/2-1-0-13. (Дата обращения: 03.10.2016).
4. Кононов И.Ю., Аксенов Л.Б. Использование пластиковых штампов, изготовленных3D-печатью, в обработке металлов давлением// Заготовительные производства в машиностроении. 2016. № 6. С. 22-26.
5. REC LLC. Acrylonitrile butadiene styrene properties. Электронный ресурс: http://www.rec3d.ru Дата обращения: 03.10.2016).
6. Kaufman J.G. PropertiesofAluminumAlloys: Tensile, Creep, andFatigueDataatHighandlowtemperatures. – ASM International, 1999. – 305 p.

УДК 621.822.591

М.Ю. Трифонов, С.Н. Яковлев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

Введение. 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. По своим конструкционным и технологическим возможностям полиуретаны – наиболее универсальный полимерный материал. Полиуретан характеризуется высокими физико-механическими свойствами, имеет большой диапазон твердости, эластичности, низкую истираемость, высокую прочность, высокое сопротивление раздиру, маслобензостойкость, кислотостойкость и рабочий температурный интервал от -35^0С до $+75^0$С [1][2][3].

Цель работы - экспериментальное определение интенсивности изнашивания полиуретана от величины нормального давления и скорости скольжения во фрикционном контакте со стальной шлифованной поверхностью.

Материалы и методика исследования. В качестве материала для экспериментального исследования нами выбран полиуретан торговой марки Vulkollan фирмы Bayer (Германия) твердостью 92 ShA, 95 ShA, 98 ShA. Вулколлан отличается от большинства других

полиуретанов тем, что в него для получения хороших механических свойств не нужно вводить усиливающие наполнители.

В настоящее время единственным надежным способом, позволяющим точно ответить на вопрос, каков будет износ полиуретанового вкладыша при эксплуатации, является проведение испытаний в условиях, точно воспроизводящих режим реального нагружения.

Режим нагружения подшипника скольжения определяется нормальным давлением *p* во фрикционном контакте и скоростью скольжения V вала относительно вкладыша.

Испытания полиуретановых образцов из вулколлана будем производить в заранее намеченных пределах по нормальному давлению p = 0,4…1 Мпа и V = 1…2 м/с, так как реальные вкладыши, установленные в гидроразбивателях бумажного производства, работу которых мы будем моделировать на экспериментальной установке, работают при нормальном давлении p = 0,7 Мпа и скорости скольжения V = 1,4 м/с.

Для исследования вопросов изнашивания полиуретановых образцов в режиме скольжения была спроектирована и изготовлена специальная экспериментальная установка. Экспериментальная установка относится к барабанному типу с вращающейся наружной рабочей поверхностью [4]. В качестве двигателя используется мотор-редуктор с асинхронным электродвигателем мощностью = 1,1 КВт с регулируемой частотой вращения. Линейная скорость во фрикционном контакте стального шлифованного барабана с полиуретановым образцом из вулколлана может меняться от 0,4 м/с до 4 м/с, что соответствует скоростям работы технологического и транспортного оборудования.

Кинематическая схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. В качестве нагружающего устройства в экспериментальной установке используется рычаг второго рода 4. На рычаге имеется место для крепления кронштейна 5 с образцами из полиуретана для проведения испытаний.

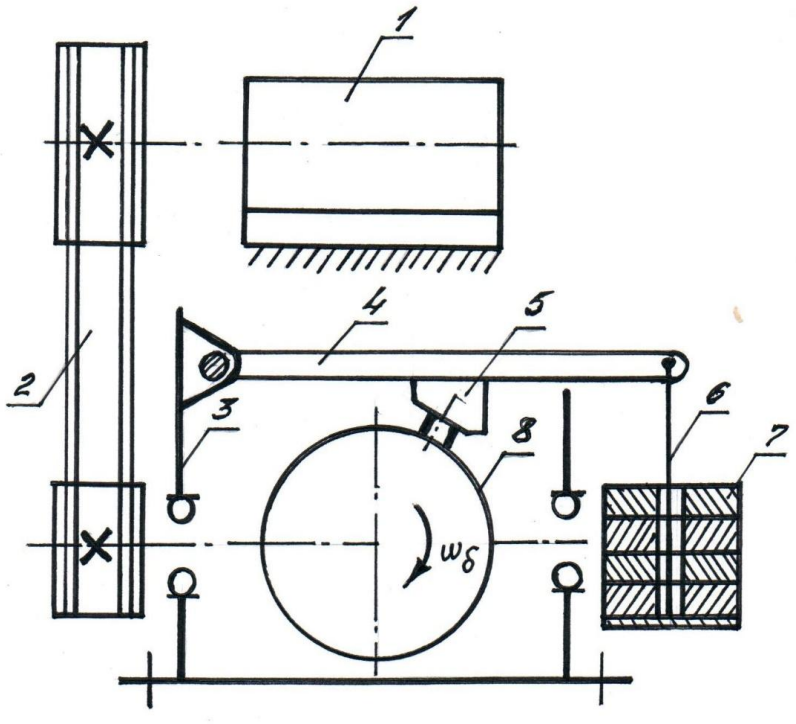


Рис. 1. Кинематическая схема установки: *1* - мотор-редуктор; *2* - клиноременная передача; *3* - корпус; *4* - рычаг; *5* - кронштейн с образцом; *6* - подвес; *7* - груз.

В соответствии с заранее намеченными пределами изменения нормального давления во фрикционном контакте исследование зависимости износа полиуретанового образца будем проводить при следующих фиксированных значениях p = 0,4; 0,6; 0,8;1 Мпа.

Скорость скольжения во фрикционном контакте во время экспериментального исследования будем изменять с помощью частотного преобразователя в электрической цепи испытательного стенда. В качестве фиксированных значений скорости скольжения во фрикционном контакте при проведении эксперимента примем следующие значения V= 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2 м/с.

Таким образом, мы можем изучать влияние на изнашивание полиуретана в режиме скольжения следующих параметров: нормальной нагрузки, скорости скольжения и твердости полиуретана.

При проведении экспериментального исследования мы измеряем величину износа полиуретанового образца определенной твердости при различных величинах давления во фрикционном контакте при фиксированной скорости скольжения и таким образом получаем зависимость износа от давления. Аналогичным образом проводим серию экспериментов при фиксированном давлении во фрикционном контакте, но с разными линейными скоростями.

В нашем случае исследование касается трех переменных и целью серии испытаний является установление зависимости в заранее намеченных пределах изменения переменных. В этом случае рекомендуется использовать при обработке экспериментальных данных факториальный анализ и вывести раздельное влияние каждой переменной на результат эксперимента.

Результаты исследования и их обсуждение. Далее был проведен ряд экспериментов с различными линейными скоростями и была получена апроксимирующая зависимость линейной интенсивности износа I_h от нормального давления p и скорости скольжения V для полиуретанов различной твердости.

$$I_h = [\quad 0{,}8 + 2{,}7\,p^{1{,}43} + 4{,}2(V) \quad + 0{,}1(98 -]10^{-8}, \qquad (1)$$

где p – нормальное давление, МПа; V - скорость скольжения, м/с; ShA – твердость полиуретана по Шору.

Соответственно толщина истертого слоя h равна:

$h = I_h \cdot L$, (2)

где I_h - линейная интенсивность износа;

L– путь трения, мм.

В инженерной практике используются полиуретаны твердостью 92…98 ShA, работающие постоянно в режиме скольжения. Это уплотнения и подшипники скольжения, применяемые в химической, бумагоделательной и других отраслях промышленности, где полиуретаны используются ввиду их высокой химической стойкости [5].

Для уплотнений и подшипников скольжения при работе в качестве контртела выступает шлифованная стальная поверхность.

Выводы. Интенсивность изнашивания от нормального давления имеет показательную зависимость, т.к. с увеличением давления контактирующие поверхности сближаются, и фактическая площадь контакта увеличивается.

С увеличением скорости скольжения интенсивность изнашивания возрастает линейно. Увеличение изнашивания связано с разогревом поверхностного слоя и уменьшением прочности полиуретана.

С уменьшением твердости полиуретана интенсивность изнашивания увеличивается, так как меняется механизм изнашивания. У более мягких полиуретанов появляется механизм

изнашивания в виде скаток, а он более интенсивный, нежели у твердых полиуретанов, для которых характерен абразивный износ.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Sheng Li, Effect of Elastomer on Flame Retardancy, Thermal Degradation, and Mechanical Properties of Intumescent Flame-Retardant Polyethylene / Sheng Li // Journal of Elastomers and Plastics. - 2011. - №43. - P. 257-273
2. Manuel Valero, F. Polyurethane adhesive system from castor oil modified by a transesterification reaction / Manuel Valero F. // Journal of Elastomers and Plastics.- 2012. - № 44. - P. 433-442.
3. Kahraman H., Haberstroh E. Einfluss von aktiven Fullstoffen in Elastomeren auf den anisotropen Mullins-Effekt. Anisotroper Mullins-Effekt / Kahraman H., Haberstroh E. // Gummi. Fasern. Kunststoffe. - 2014 - № 5. - P. 296-298.
4. Кислицин, А.М. Долговечность автомобильных шин в различных режимах движения / А.М. Кислицин. – Н. Новгород : Волго-Вятское книжное издательство, - 1992. – 223с.
5. Крыжановский, В.К. Пластмассовые детали технических устройств / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов. – Санкт-Петербург : Издательство НОТ, - 2014. – 456с.

УДК 621.777.01

И.П. Гусаков, А.Ф. Фомичев
Санкт- Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШТАМПОВКИ ПОКОВОК ИЗ СТАЛИ 08Х17Т

Введение. При составлении технологического процесса технологами кузнечных цехов чаще приходится использовать типовые решения, описанные в справочной литературе. При освоении же поковок, выходящих за рамки классификации, специалистам приходится полагаться на свой опыт и интуицию. Особые трудности возникают при выборе числа переходов штамповки, так как этот процесс невозможно формализовать из-за большого количества типоразмеров поковок. Ошибочные решения, как правило, обнаруживаются на последнем этапе технологической цепочки – при штамповке пробной партии поковок [1-4].

Исключить возможность ошибок технологов может использование компьютерных программ, ориентированных на моделирование процессов обработки металлов давлением (ОМД).

Цель работы – показать, как одна из компьютерных программ была использована при разработке технологического процесса штамповки корпуса коллектора доильного аппарата. Форма не сложная: цилиндрическая, близкая к усеченному конусу и с полостью такой же геометрии. Наружный диаметр 79,2 мм, высота 38,7 мм. То есть геометрия поковки не является сложной. Материал поковки легированная сталь марки 08Х17Т. Это диктуется требованиями к изделиям, применяемым в пищевой промышлености.

Несмотря на простоту формы поковки, пришлось решать проблему выбора размеров исходной заготовки. Проблема связана с фиксацией исходной заготовки, то-есть куска круглого проката в нижней половине штампа. Геометрия же нижней половины штампа диктует два варианта фиксации. В первом, заготовку нужно устанавливать на дно полости штампа диаметром 40 мм. С учетом возможного отклонения размера проката, диаметр заготовки должен быть не более 39 мм, а длина 98,6 мм. Соотношение $l/d = 2{,}53$ близко к допустимому критическому из соображения возможной потери устойчивости заготовки при осевом сжатии. Есть и другой недостаток при таком способе фиксации. Он заключается в том, что при обычном способе разрезки проката на пресс – ножницах торцы заготовок

получаются скошенными. Заготовка с такими торцами не может устойчиво занимать вертикальное положение в нижней половине штампа. Для получения ровного торца, перпендикулярного оси заготовки, придется использовать малопроизводительный метод механической резки. Положительным в этом варианте является то, что штамповать можно за один переход.

При втором варианте заготовку можно фиксировать в верхней части нижней половины штампа. Размеры заготовки будут: диметр 78 мм, высота 24 мм. Обычно, чтобы уменьшить усилие резки, выбирают пруток меньшего диаметра, а затем путем предварительной осадки увеличивают диаметр заготовки до нужного размера. Но тогда в этом варианте появляется дополнительный переход.

Проблемы возникают и с материалом поковки. Сталь 08Х17Т обладает хорошей пластичностью, но высокой прочностью. Даже при температуре начала штамповки, равной 1200°С, предел прочности стали составляет 59 МПа, а с учетом того, что при контакте с более холодным штампом поковка остывает, предел прочности может достигать 155 МПа. При деформации такой стали на инструменты будут действовать большие нагрузки.

Таким образом, чтобы принять окончательное решение, необходимо было смоделировать процесс штамповки и проверить:

1. величину усилия штамповки;
2. величину контактных напряжений на гравюре штампа;
3. температуру нагрева рабочей поверхности штампа;
4. неравномерность деформации поковки.

Для стали 08Х17Т нет зарубежного аналога, поэтому из библиотеки материалов программы была выбрана сталь, ближайшая по химическому составу.

*Результаты.*При моделировании вариантов штамповки с рассмотренными выше заготовками установлено, что в первом варианте усилие деформации составляет 2500 кН, а во втором 4500 кН. То есть первый вариант является мене энергоемким, кузнечная машина будет дешевле и потребует меньших производительных площадей. Но все эти преимущества могут быть потеряны из-за низкой стойкости штампов, на которую влияет высокий уровень рабочих напряжений и разогрев штампов. Моделирование показало, что максимальные напряжения на гравюре штампа достигают значения 651 МПа в первом варианте и 187 МПа во втором. В обоих случаях они ниже напряжения текучести штамповой стали марки 5ХНМ, при котором происходит смятие гравюры и у неё изменяются размеры. Анализ температуры нагрева рабочей поверхности штампа от контакта с горячей поковкой показал, что в первом варианте она составляла 609 °с, а во втором 654°с. При нагреве до 500°спроисходит отпуск штамповой стали 5ХНМ, что ведет к резкому уменьшению прочностных свойств штампа. Чтобы этого не произошло, необходимо во время холостого хода кузнечной машины подавать на штампы смазочно-охлаждающую жидкость. Как показывает производственный опыт температуру гравюры штампа можно уменьшить таким способом на 200°с[5].

Необходимым условием для окончательного решения при выборе варианта штамповки является анализ температурного режима и неравномерности деформации поковки. При несоблюдении температурного режима резко возрастает усилие деформации, из-за чего может быть получен вид брака, называемый недоштамповкой. Установлено, что в обоих вариантах температура поковки не была ниже 730°с. И наблюдалось это в местах контакта поковки с гравюрой штампа. Таким образом, не был нарушен допускаемый температурный интервал штамповки.

Неравномерность деформации поковки приводит к неравномерности механических свойств. Анализ показал, что в первом варианте неравномерность значительно выше, чем во втором.

Вывод. Сравнив все рассмотренные параметры для двух вариантов штамповки, предпочтение было отдано второму варианту, для которого был разработан технологический процесс.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Семенов Е.И. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х.- М.: Машиностроение, 1986 . Т. 2. - 592 с.
2. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением: М., Машиностроение, 1977 , 423 с.
3. Охрименко Я.М. Основы технологии горячей штамповки: М., Машиностроение, 1957 , 328с.
4. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производств : М., Машиностроение, 1976 , 560 с.
5. Фомичев А.Ф. и др. Повышение стойкости прессовых штампов при штамповке заготовок турбинных лопаток // Кузнечно-штамповочное производство, 1979 . №10 .С. 6-7.

УДК 621.795

О.Ю. Ганзуленко, А.П. Петкова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОСОБЕННОСТИ МАРКИРОВКИ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРОМ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Актуальность. Маркировка деталей и их идентификация – это важные операции технологического процесса машиностроительного производства, входящие в обязательный цикл работы производственного участка предприятия. Для идентификации изделия на него наносится его наименование и технические данные, логотип изготовителя или фирменный знак производства, сопутствующая информация о времени изготовления продукции, даты и пр. Особенно ответственно нужно подбирать способ маркировки изделий, подвергающихся воздействию агрессивных сред в процессе эксплуатации, к которым относятся детали машиностроения (автомобилей, самолетов, космической техники и т.п.). [1]

Нанесение штрих-кодов, в первую очередь, двухмерных высокоплотных штрих-кодов прямо на изделия, позволяет решать еще одну важную задачу – размещать на самом изделии нужную информацию с характеристикой условий его изготовления и эксплуатации [2]. Традиционные методы не позволяют наносить хорошо различимые и долговечные штрих-коды на промышленные изделия, а лазерная маркировка обеспечивает качественное нанесение и долгосрочное хранение маркировочной информации на поверхности изделий[3].

Цели и задачи работы. Целью данной работы является изучение и параметризация процессов термического воздействию импульсного лазера на поверхность изделий из полимерных материалов и возможности подбора технологических параметров для формирования качественного нанесения стандартной маркировки, а также большего объема информации в виде штрих-кодов и матричных кодировок. Нанесение штрих-кодов, в первую очередь, двухмерных высокоплотных штрих-кодов прямо на изделия, позволяет решать еще одну важную задачу – размещать на самом изделии нужную информацию с характеристикой условий его изготовления и эксплуатации. Такая маркировка дает возможность добиться автоматизации контрольно-учетных процессов и обеспечить максимальную степень защиты от подделок.

Методы исследования. Для формирования графического изображения в виде логотипов и штрих-кодов на поверхности полимерных материалов использовалась программа LTCEdit для управления лазерным маркирующим комплексом ДМарк-6, поставляемая с лазерным маркировочным комплексом. Данная программа разбивает изображение логотипа на

параллельные отрезки. Одна строка по габаритным размерам изображения может содержать несколько отрезков, на которых формируются метки от воздействия лазерного излучения.

При лазерной маркировке пластмасс изображение получается за счет изменений цвета и/или изменений структуры поверхности. Повышение интенсивности излучения за счет варьирования основных технологических параметров увеличивает температуру пластика выше точки плавления, в результате чего материал начинает плавиться и испаряться, структура поверхности приобретает вид канавки (гравировки). Эта температура может быть различной в зависимости от полимера, даже внутри одного семейства полимеров. При относительно высокой интенсивности лазера локальное испарение материала дополняется обугливанием (карбонизацией) обрабатываемой поверхности, при этом цвет маркировки становится черным (темным). При определенных параметрах излучения лазера происходит диссоциация (распад) молекул веществ, входящих в состав пластика, которая приводит к цветовым изменениям. Это позволяет практически избежать нагрева и получить относительно гладкую поверхность маркировки, но требует соответствующего состава пластика, поскольку не все полимеры поддаются лазерной гравировке и маркировке [4].

Разработанный в программе-редакторе управляющий файл с изображением логотипа или штрих-кода при помощи программы-исполнителя Marker по заданной программе формирует информационное поле на поверхности маркируемого изделия.

В качестве варьируемых технологических параметров лазерного комплекса использовались следующие:

- ток накачки диодной линейки I, диапазон изменения 7…18 А,
- частота следования импульсов F, диапазон изменения 0,3…90 кГц,
- скорость маркировки V, диапазон изменения 3*10-3…1 м/с.

Результаты. Используя изложенные методические решения, были определены режимы формирования штрих-кода (информационного поля) для различных полимерных материалов.

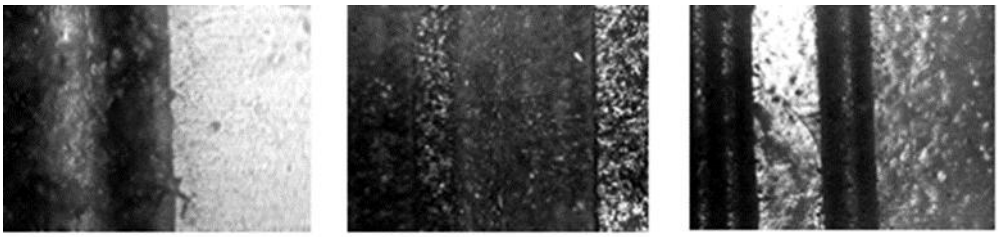
Экспериментальные исследования по нанесению идентификационных меток на полимерные материалы с использованием лазерного излучения проводились на образцах 8 марок: 1 – полиэтилен; 2 – полипропилен; 3 – полистирол; 4 – поликарбонат; 5 – полиэтилентерефталат (ПЭТ); 6 – поливинил хлорид (ПВХ); 7 – капролон; 8 – фторопласт-4. Формирование идентификационной метки (штрих-кода) производилась на очищенной от поверхностных дефектов (шероховатость, загрязнение) поверхности образца. Результаты обработки образцов представлены на рисунке1.



Рис. 1. Внешний вид поверхности образцов после нанесения штрих-кода

Следует отметить, что для некоторых образцов (3 и 8) использовался дополнительный режим для создания контрастного фона. Это объясняется необходимостью формирования дополнительной четкости линий штрих-кода за счет повышения контрастности. На всех образцах считывание штрих-кода стандартным сканером производилось с первого раза, что свидетельствует о высоком качестве изображения. Длительность нанесения штрих-кода на поверхность образцов не превышала 30 с, с нанесением фонового цвета – 90 с.

Подбор параметров режима обработки (значения тока накачки диодной линейки, частоты следования импульсов и скорости перемещения луча лазера по обрабатываемой поверхности) проводился опытным путем. С уменьшением плотности заливки проводилось контрольное считывание. Было определено, что сканер не замечает пробелы между линиями порядка ширины самой линии, то есть при разрешении 8 линий на миллиметр. Если уменьшать плотность заливки и далее, происходит некорректное считывание либо считывание не происходит вовсе. При маркировке штрихового кода с разрешением в 8 линий на миллиметр время маркировки составило 5 секунд. На рисунке 6 изображены фотографии толстого (рисунок2 а, б) и тонкого штрихов (рисунок 2, в) штрихового кода.



а) б) в)

Рис. 2. Внешний вид поверхности образцов после нанесения штрих-кода

Выводы. Предложенные режимы маркировки серийных изделий из полимерных материалов предназначены для их защиты от подделок и идентификации и могут найти широкое применение на предприятиях автомобильной промышленности, транспортного и энергетического машиностроения, авиационной промышленности и т.д. Разработанный способ маркировки металлопродукции с целью ее идентификации может найти применение в различных отраслях промышленного производства в связи с его высокой эффективностью, высокой производительностью и относительно невысокой стоимостью самого процесса.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лебедева Л.И., Ветчинников Д.А. Проблемы и перспективы развития технологий маркировки изделий в машиностроении/ Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. //Изд-во: Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева" в г. Прокопьевске (Прокопьевск), 2014, с.317-320.

2. Орлов А.А., Провоторов А.В., Астафьев А.В. Разработка методики автоматической идентификации промышленных изделий на основе анализа методов маркировки [Текст] // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.). — СПб.: Реноме, 2011. — С. 132-134.

3. Горный С.Г., Юдин К.В. Применения методов лазерной маркировки в промышленности // ЛАЗЕР-ИНФОРМ. Информационный бюллетень Лазерной ассоциации № 8(263) апрель, 2003.

4. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технические процессы лазерной обработки /М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008, 664 с.

УДК 678.5.046

В.М. Герасимова [1], Н.Г. Зубова [2]
[1]Энгельсский технологический институт (филиал) СГТУ им. Гагарина Ю.А.
[2]Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) НИЯУ МИФИ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ГИДРАТЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ И ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ НИТЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНОСИЛАНАМИ

Введение. В настоящее время улучшение эксплуатационных и функциональных свойств полимерных композиционных материалов на основе термореактивных и термопластичных связующих и волокнистых наполнителей достигается путем использования различных методов модификации. Наиболее доступным и распространенным методом модификации является обработка волокнистых наполнителей водными растворами аппретов, среди которых особое место занимают органосиланы. Модификация поверхности наполнителей силанами способствует улучшению смачиваемости между полимером и наполнителем, а также улучшает механические свойства и их высокую стабильность при неблагоприятных условиях [1-3].

Целью работы являлось исследование характеристик эпоксидных композиционных материалов на основе модифицированных гидратцеллюлозных и полиакрилонитрильных нитей. В связи с этим объектами исследования являлись образцы композиционного материала на основе модифицированных гидратцеллюлозных технических нитей (ГЦ-ТН) и полиакрилонитрильного технического жгутика (ПАН-ТЖ) и эпоксидной смолы (ЭД-20), отверждённой полиэтиленполиамином (ПЭПА). В качестве модификаторов применялись следующие виды органосиланов: 3-аминопропилтриэтоксисилан (АГМ-9), 3-глицидоксипропилтриметоксисилан (А-187); 3-метакрилоксипропилтриметоксисилан (А-174).

Модификацию исходных ГЦ-ТН и ПАН-ТЖ проводили 5%-ными водными растворами органосиланов при времени обработки 60 с и при температуре 20ºС с последующим применением двухступенчатой сушки (температура на 1 ступени - 50ºС, температура на 2 ступени — 100ºС), позволяющей зафиксировать модификаторы на волокне [4].

Модифицированные нити исследовались на способность к смачиванию эпоксидным олигомером с целью использования их в качестве наполнителей для получения композиционных материалов (рис. 1).

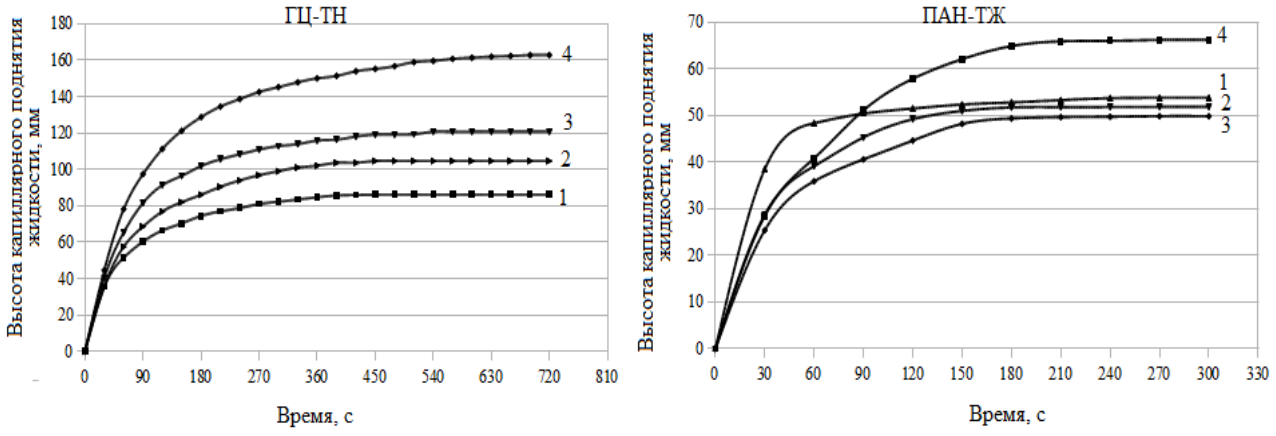


Рис. 1. Кинетические кривые смачивания: 1 - исходные нити; 2 - нити, модифицированные АГМ-9; 3 - нити, модифицированные А-187; 4 - нити, модифицированные А-174

Из экспериментальных данных следует, что модификация ГЦ-ТН органосиланами приводит к увеличению смачиваемости эпоксидным олигомером. При этом наибольшая высота поднятия жидкости характерна для нитей, модифицированных А-174. Наибольшая высота поднятия жидкости, при исследовании ПАН-ТЖ, также характерна для нитей, модифицированных А-174. Следовательно обработка волокнистых материалов органосиланами приводит к увеличению адгезионных характеристик, что позволяет рекомендовать их в качестве наполнителей для эпоксидных композитов.

При получении образцов композиционных материалов использовали метод прессования, при котором вводили модифицированные волокна в эпоксидное связующее с последующим отверждением в замкнутой форме под давлением 5,0±0,5 МПа.

Разработанные образцы композиционных материалов на основе модифицированных ГЦ-ТН и ПАН-ТЖ подвергались механическим испытаниям, результаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная оценка эксплуатационных свойств эпоксидных композитов на основе модифицированных ГЦ-ТН и ПАН-ТЖ

Состав композита	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	Твердость по Бринеллю, МПа
ЭД-20 ненаполненная	20	70	50
ЭД-20+ГЦ-ТН	81	205	190
ЭД-20+ГЦ-ТН+АГМ-9	86	223	228
ЭД-20+ГЦ-ТН+А-187	115	-	260
ЭД-20+ГЦ-ТН+А-174	105	274	243
ЭД-20+ПАН-ТЖ	75	105	118
ЭД-20+ПАН-ТЖ+АГМ-9	81	130	185
ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-187	77	-	165
ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-174	81	-	191

Образцы композиционных материалов на основе модифицированных органосиланами ГЦ-ТН, отличаются повышенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с образцами композиционных материалов на основе исходных нитей. Так, введение в ЭД-20 ГЦ-ТН, обработанных А-174 повышает разрушающее напряжение при растяжении на 24 МПа, разрушающее напряжение при изгибе — на 69 МПа, твердость по Бринеллю — на 53 МПа. Армирование эпоксидным связующим модифицированного ПАН-ТЖ также обеспечивает повышение прочностных характеристик образцов эпоксидного композита. Разрушающее напряжение при растяжении композита на основе ПАН-ТЖ, модифицированного АГМ-9 по сравнению с композитом на основе исходного ПАН-ТЖ, увеличивается на 6 МПа, разрушающее напряжение при изгибе — на 25 МПа, твердость по Бринеллю — на 67 МП.

Для изучения влияния модифицированных волокон на термоустойчивость разработанных композиционных материалов использовали методы термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциального термического анализа (ДТА) (табл. 2), по результатам которых можно сделать вывод об увеличении остатка композита на основе ГЦ-ТН, обработанного АГМ-9 в области температур до 500ºС по сравнению с остатком композита на основе исходных нитей. Композиты на основе модифицированных ПАН-ТЖ способны в большей мере сохранять термоустойчивость в области повышенных температур.

Таблица 2

Обобщенные данные ТГА и ДТА волокнистых наполнителей

Название наполнителя	Температурный интервал пиролиза, ^{0}C	Остаток, %, при температурах, ^{0}C							
		100	200	300	400	500	600	700	800
ГЦ	218-241 330-350	99	93	87	21	4	0	-	-
ГЦ+АГМ-9	200-225 331-352	98	93	90	24	8	0	-	-
ПАН-ТЖ	245-279 588-639	100	95	86	76	36	17	7	7

Результаты. В работе исследованы образцы композиционных материалов на адгезионные характеристики, эксплуатационные свойства и термоустойчивость.

Вывод. Таким образом сравнительный анализ эксплуатационных свойств эпоксидных композиционных материалов на основе модифицированных ГЦ-ТН И ПАН-ТЖ показал эффективность обработки волокнистых систем исследуемыми органосиланами, что позволяет рекомендовать их для получения изделий технического назначения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Перепелкин, К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты - СПб.: Научные основы и технологии, 2009.-380с.

2. Функциональные наполнители для пластмасс / под ред. М. Ксантоса. Пер. с англ. под ред. Кулезнева В.Н.-СПб.: Научные основы и технологии, 2010.-462 с.

3. Моцарев, Г.В. Карбофункциональные органосиланы и органосилоксаны - М: Химия, 1990. - 240 с.

4. Зубова Н.Г. Диссертация «Структура и свойства композиционных материалов функционального назначения на основе эпоксидной и полиамидной матриц и модифицированного ПАН-прекурсора». Сарат. гос. техн. ун-т, 2012 г. - 133 с.

УДК 621.73

А.А. Курятников, В.С. Мамутов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРЕДЕЛЬНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЛИСТОВОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ СТАЛИ ВН210 ПРИ СТАТИЧЕСКОМ И ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Введение. Электрогидроимпульсная штамповка (ЭГИШ) эффективна не только в мелкосерийном производстве сложных точных деталей из тонколистовых металлов и труб [1, 2], но и для штамповки крупных кузовных автомобильных деталей при мелкосерийном изготовлении автомобилей элитного класса [3]. При наличии лишь одного жесткого рабочего инструмента за счет импульсного характера нагружения листовой заготовки ЭГИШ при относительно низкой стоимости технологической оснастки и сокращенных сроках подготовки производства обеспечивает лучшие показатели по параметрам точности и качества изделий по сравнению с традиционными способами штамповки. В настоящее время за рубежом для изготовления кузовных деталей автомобиля широко применяют высокопластичные стали типа ВН (bake-harden able steels). Такие стали легко штампуются, а затем приобретают высокую прочность в процессе сушки окончательного лакокрасочного

покрытия при нагреве до температуры около 150°С. Упрочнение происходит за счет блокирования дислокаций регламентированным количеством атомов углерода при нагреве. Можно надеяться, что подобные марки сталей появятся и в отечественном автомобилестроении. При компьютерном моделировании процессов штамповки необходимо знать критические параметры деформированного состояния материала, при которых происходит его разрушение. Обычно при проектировании листовой штамповки используют диаграммы предельных деформаций (Forming Limit Diagram – FLD). Однако в большинстве работ по исследованию FLD, например, в работе [4] отмечается, что при динамическом нагружении диаграмма предельных деформаций лежит ниже по сравнению со случаем статических (точнее квазистатических) испытаний. Практический интерес представляет величина возможного уменьшения предельной деформации при нагружении заготовки в условиях ЭГИШ.

Задачей данной работы являлось определение параметров FLD автомобильной кузовной стали ВН210 в условиях динамических и статических испытаний.

Динамические испытания проводились на электрогидроимпульсной установке с параметрами:

- максимальная энергия, запасаемая в конденсаторах – 25 кДж,
- максимальное рабочее напряжение – 32 кВ,
- собственная индуктивность – около 5 мкГн,
- емкость конденсаторной батареи – 50 мкФ,
- межэлектродный промежуток – 5…30 мм,
- усилие прижима гидравлического пресса – 20…250 МН.

При этом использовалась разрядная камера, представленная на рисунке 1.

Статические испытания проводились на гидравлическом прессе ПСУ100 усилием 1000 кН. Давление, действующее на образец, создавалось в контейнере с полиуретаном. Твердость полиуретана составляла 55…60 единиц по Шору, что примерно соответствовало характеристикам марки СКУ-6Л.

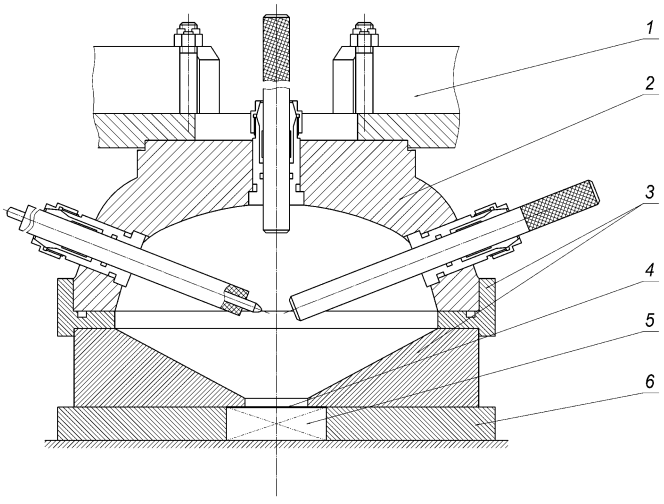


Рис. 1. Разрядная камера: *1* – прижим гидравлического пресса, *2* – разрядная камера, *3* – промежуточные согласующие элементы, *4* – образец из листового металла, *5* – матрица, *6* – плита

В эксперименте применялся разработанный на кафедре МиТОМД относительно простой в экспериментальной реализации метод по типу «Hydraulic Bulge Test», модернизированный экспериментально-аналитическим способом получения точек диаграмм FLD, и позволяющий максимально приблизить измерения к зоне шейкообразования [5]. Использовались круглые образцы диаметром 150 мм, чтобы обеспечить необходимое

качество разрушения образца в круглую матрицу диаметром 100 мм и в овальные матрицы с размерами: 38×100 мм и 50×100 мм с вертикальными стенками. Эти размеры соответствуют известным стандартным образцам Наказимы (Nakazima K.) при получении точек FLD [6]. Также применялись матрицы с коническими стенками.

Результаты обработки экспериментальных данных представлены на рисунке 2.

а) *б*)

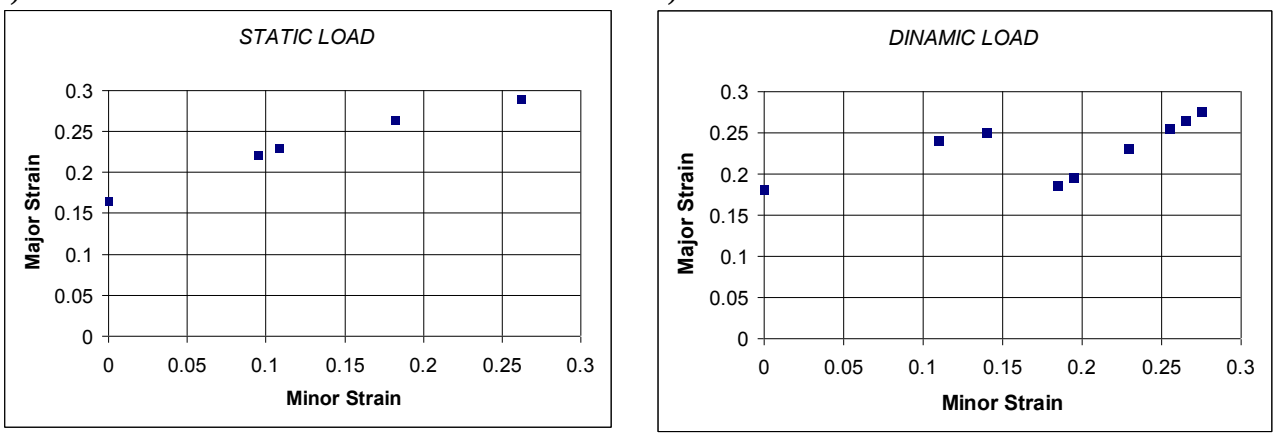


Рис. 2. Точки статической (а) и динамической (б) FLD стали ВН210:
по вертикальной оси – первая главная эффективная деформация,
по горизонтальной оси – вторая главная эффективная деформация

В каждой точке осуществлялось 5 повторений. Доверительный интервал определялся для 95% доверительной вероятности. Усредненная по всем точкам величина доверительного интервала составила примерно ±0.029. С учетом данного статистического разброса можно судить, что заметного снижения предельных деформаций при динамическом нагружении по сравнению со статическим нагружением не происходит.

Выводы. Определены параметры диаграммы предельных деформаций автомобильной кузовной стали ВН210 в условиях динамических и статических испытаний. Установлено, что заметного снижения предельных деформаций при динамическом нагружении по сравнению со статическим нагружением не происходит.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Здор Г.Н., Исаевич Л.А., Качанов И.В. Технологии высокоскоростного деформирования металлов. – Минск: Изд-во БНТУ, 2010. – 456 с.

2. Тараненко М.Е. Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы. – Харьков: Изд-во ХАИ, 2011. – 272 с.

3. 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.

4. 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.

5. Mamutov V.S., Mamutov A.V., Kunkin S.N., Arsentyeva X.S. Method of obtaining fld for using in simulation of metal forming by movable media. St.Peterssrurg Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University Journal. St.Petersburg: SPbPU Publ., 2016, N3, pp. 111–117.

6. Nakazima K., Kikuma T. (1967) Forming limits under biaxial stretching of sheet metals. Testu-to Hagane 53б, pp. 55–458.

УДК 621.923

С.Б. Тарасов, А.В. Петров, А.М. Мухин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЗДАНИЯ КОМПАРАТОРА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ КОНЦЕВЫХ МЕР 2-ГО РАЗРЯДА НА БАЗЕ УСТАНОВКИ УКМ-100

Введение. Недостаток измерительных возможностей служит препятствием на пути инноваций во многих сферах деятельности человека. Практически во всех новых технологиях сдерживающим их развитие фактором служит отсутствие необходимых метрологических и технических решений, обеспечивающих требуемый уровень точности измерений.

В области линейных измерений применяются контактные и бесконтактные методы измерений. Рабочими эталонами для контактных измерений являются плоскопараллельные концевые меры длины КМД. Пределом точности контактных измерений можно считать аттестацию плоскопараллельных концевых мер длины 2-го разряда, доверительные границы погрешности измерений которых составляет ± (0,05 +0,5 L) мкм, где L- длина аттестуемой меры в метрах.

Концевые меры длины 1-го разряда аттестуются уже только бесконтактным методом с помощью интерферометра Кестерса с доверительными границами ± (0,02 +0,2L) мкм, сравнением с длинами волн эталонных источников света.

Долгие годы в нашей стране для аттестации концевых мер 2-го разряда применялся двойной контактный интерферометр модели 272, состоящий из стойки с доведенным столом и двух контактных интерферометров. Этот прибор не выпускается более 30 лет, морально и физически устарел и таких приборов осталось в стране единицы.

Цели и задачи. Поставлена задача создать компьютизированный производительный прибор для аттестации концевых мер 2-го разряда на базе установки УКМ-100. Установка предназначена для аттестации концевых мер 3 и 4 разрядов и 1-5 классов точности и отличается от своих отечественных и зарубежных аналогов высокой производительностью, надежностью, заменой доведенного стального стола гранитным, исключением контакта эталонной и поверяемой мер с поверхностью стола. Поэтому целесообразно сохранить преимущества установки УКМ-100, но обеспечить точность, необходимую для аттестации концевых мер 2-го разряда.

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, связанные с длинами меры:

- отклонение от номинальной длины;
- отклонение от плоскопараллельности;
- определение срединной длины меры.

Длиной концевой меры является длина перпендикуляра, опущенного из точки верхней измерительной поверхности на нижнюю измерительную поверхность [1].

Для исследования точностных возможностей установки УКМ-100 был применен метод расчета неопределенности измерения [3], т. к. точность аттестации меры определяется не значением погрешности измерения длины, а достоверностью полученного значения. Долгие

годы эти понятия путались, что нашло отражение в различном нормировании характеристик отечественных и зарубежных приборов для аттестации концевых мер. Приборы для аттестации мер являются компараторами, т.к. не содержат эталона длины, а только обеспечивают процесс сравнения эталонной и аттестуемой меры.

Достоверность оценивается неопределенностью измерения, которая в свою очередь выражается через стандартные отклонения. Именно неопределенность калибровки прибора для аттестации мер соответствует доверительным границам погрешности измерения концевых мер. Понятие «неопределенность измерений» сравнительно недавно вошло в метрологическую практику нашей страны.

Аттестация меры 2-го разряда осуществляется дифференциальным методом сравнением с мерой 1-го разряда того же номинального размера по схеме измерений, показанной на рис. 1. Верхний преобразователь отслеживает положение верхней плоскости меры, а нижний – нижней плоскости.

Меры помещены в гнезда специальной кассеты [4], копир которой позволяет перемещать меры под измерительными наконечниками по схеме $0_н$, C_1 , A, B, B, E, C_2, 0_k (Рис. 2).

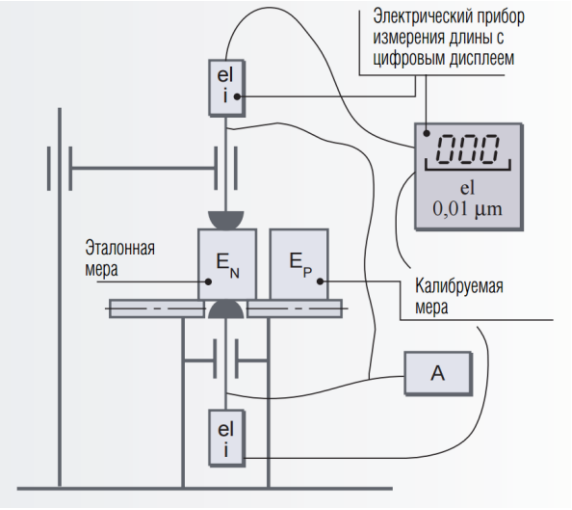


Рис. 1. Схема калибровки

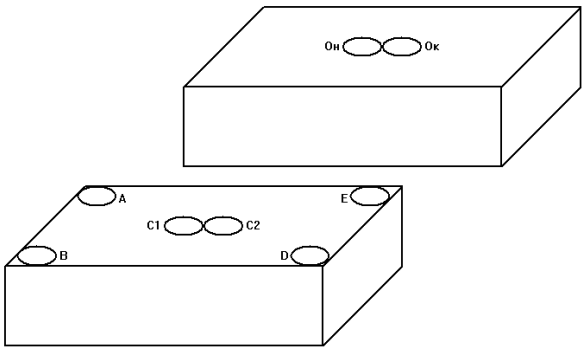


Рис. 2. Схема измерения точек

В каждой точке наконечники преобразователей арретируются три раза и среднее значение из трех показаний принимается в расчет. Тем не менее результаты определения отклонений длин мер при повторных измерениях в условиях повторяемости обязательно отличаются, вследствие того, что на процесс измерения влияют различные факторы [2]. Оценкой результата измерения длины меры является среднее арифметическое показание прибора в условиях повторяемости.

Для калибровки установки использовались пары концевых мер 1-го разряда [5].

В таблице 1 представлен бюджет неопределенностей калибровки установки. В соответствии с международными рекомендациями по калибровке компараторов расширенная неопределенность для мер 2-го разряда не должна превышать U= 0,03 мкм

Результаты. Данные были получены при технических характеристиках установки УКМ-100 и после модернизации с целью повышения точности для поверки 2 разряда.

Таблица 1

Бюджет неопределенности калибровки

Название неопределённости	Обозначение	Значения величин, мкм		Значение неопределенности, мкм	
		до	после	до	после
Рассеивание средних	$u_{сред}$	-	-	0,008	0,008
Калибровка индуктивных преобразователей	$u_{пр}$	0,1	0,03	0,033	0,01
Дискретность отсчета	$u_{отс}$	0,01	0,01	0,0029	0,0029
Остаточная погрешность двух преобразователей	$u_{погр}$	0,02	0,005	0,007	0,0016
Качество поверхности кассеты	$u_{кас}$	0,09	0,04	0,03	0,013

Суммарная стандартная неопределенность калибровки установки рассчитывается по формуле:

До модернизации:

$$u_{кал} = \sqrt{u_{пр}^2 + u_{сред}^2 + u_{отс}^2 + u_{погр}^2 + u_{кас}^2} = 0{,}032$$

Обобщенная неопределенность калибровки установки $U_{кал} = k \times u_{кал}$

$$U_{кал} = 2 \times 0{,}032 = 0{,}064 \text{ мкм.}$$

После модернизации:

$$u_{кал} = \sqrt{u_{пр}^2 + u_{сред}^2 + u_{отс}^2 + u_{погр}^2 + u_{кас}^2} = 0{,}0083$$

Обобщенная неопределенность калибровки установки $U_{кал} = k \times u_{кал}$

$$U_{кал} = 2 \times 0{,}0083 = 0{,}017 \text{ мкм.}$$

Вывод. Проведенные исследования показали, что при соответствующей модернизации установка УКМ-100 может соответствовать компараторам для поверки КМД 2-го разряда.

ЛИТЕРАТУРА:

1. МИ 1604-87. Меры длины концевые плоскопараллельные. Общее требования к методикам поверки.
2. В.В. Денисов, А.В. Петров, С.Б. Тарасов. Исследование влияния различных факторов на контактные наноизмерения. «Неделя науки СПбПУ»: материалы научно-практической конференции.
3. ГОСТ Р 54500.3 – 2011 / Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Руководство по выражению неопределенности измерения.
4. Авторское свидетельство № 1441156 «Прибор для поверки концевых плоскопараллельных мер длины» Авторы: Жаркой Роман Абрамович, Тарасов Станислав Борисович и др.
5. Calibration of gauge block comparators. Calibration Guide. Euramet CG-2, 2011.
6. Степанов С.Н., Тарасов С.Б., Петров А.В. Исследования компаратора для поверки концевых мер длины. СОВРЕМЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ: НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ MMESE-2016, с. 981 – 989, 2016.

УДК 621.9.08

Н.В. Инякина, Э.Л. Жуков, И.И. Козарь
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Введение. Производственным опытом и многими теоретическими работами подтверждена актуальность размерного анализа машины в целом, отдельно взятых деталей и технологических процессов их обработки и сборки.

От качества проведения такого анализа зависят эксплуатационные качества машин, определяемые взаимосвязью и правильным взаимодействием их частей, стабильность результатов технологических процессов, а так же трудоемкость изготовления изделий и их стоимость.

Цель работы. Разработка методики проведения размерного анализа технологического процесса.

Размерный анализ технологического процесса заключается в выявлении технологических размерных цепей по всему процессу в целом и последующем их решении, с целью определения номинальных значений операционных размеров и предельных отклонений [1]. Исходными данными при этом являются рабочий чертеж детали. В качестве примера на рис. 1 приведен чертеж валика двухсторонней ступенчатости. Кроме этого необходим план обработки, представленный в виде операционных эскизов, с указанием баз, обрабатываемых поверхностей и системы простановки размеров (рис. 2).

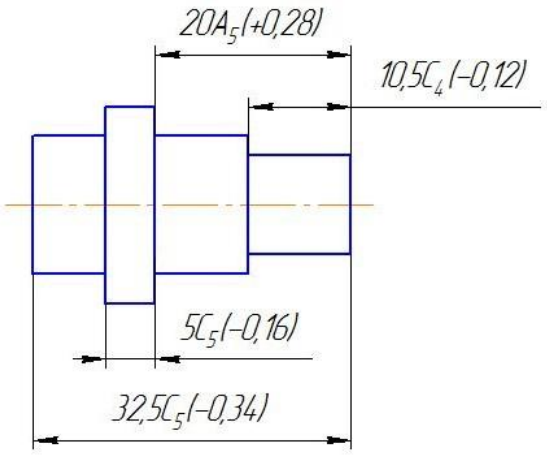


Рис. 1.

Для выявления связей между операционными размерами, припусками и чертежными размерами необходимо предварительно составить совмещенную схему технологического процесса (рис. 3).

Построение совмещенной схемы технологического процесса заключается в следующем: на эскизе детали по каждой поверхности (исключая, обычно, поверхности вращения) наносятся отрезками прямой припуски, снимаемые с них при обработке [2]. Ниже такого «одетого» припусками эскиза детали наносятся, в порядке принятой последовательности обработки, размерные линии между теми поверхностями, которые связаны при выполнении каждой операции или перехода, и являются следовательно, одна – обрабатываемой поверхностью, другая исходной базой. На концах каждой размерной линии наносятся: у обрабатываемой поверхности – стрелка, у поверхности, являющейся исходной базой – точка. На размерной линии указываются размер, выполняемый на данной операции. Цифровой индекс при обозначении размера указывает на порядок его получения, например, размер ℓ_1 выдерживается первым, размер ℓ_2 – вторым и т.д. Припуски обозначаются буквой Z с цифровым индексом, указывающим номер операции, на которой снимается этот припуск.

По такой схеме легко видеть порядок обработки элементов детали и принятые исходные базы.

Информация, содержащаяся в совмещенной схеме процесса, является необходимой и достаточной для проведения размерного анализа и последующих расчетов. Для

технологических размерных цепей все чертежные размеры и припуски на обработку являются замыкающими звеньями соответствующих цепей.

При проведении размерного анализа технологического процесса рекомендуется, во избежание ошибок, строго придерживаться следующей последовательности этапов работы:

1. Определяются замыкающие звенья и выявляются размерные связи, которые фиксируются в виде схем размерных цепей.

Конкретному варианту технологического процесса соответствует определенный и единственный вариант размерных цепей.

2. На основе выявленных схем размерных цепей составляются системы уравнений номинальных значений и неравенств допусков.

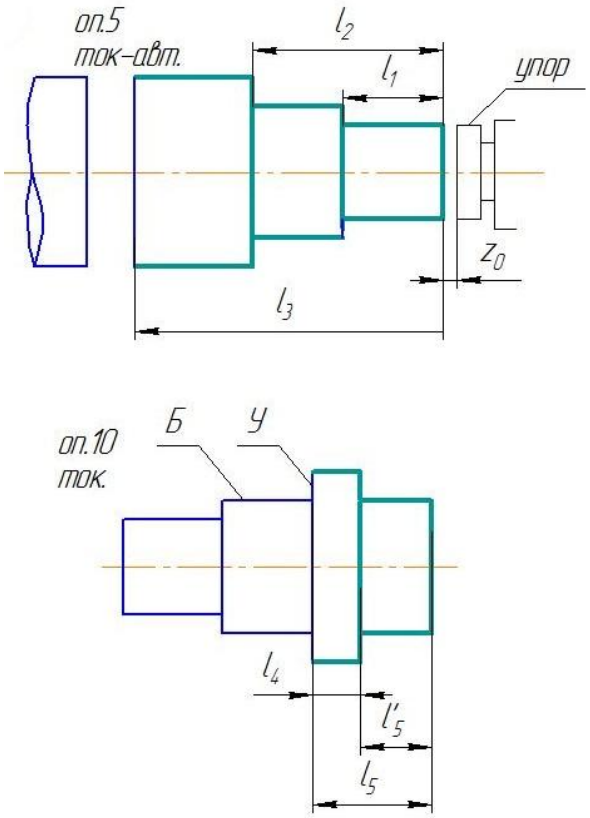


Рис. 2.

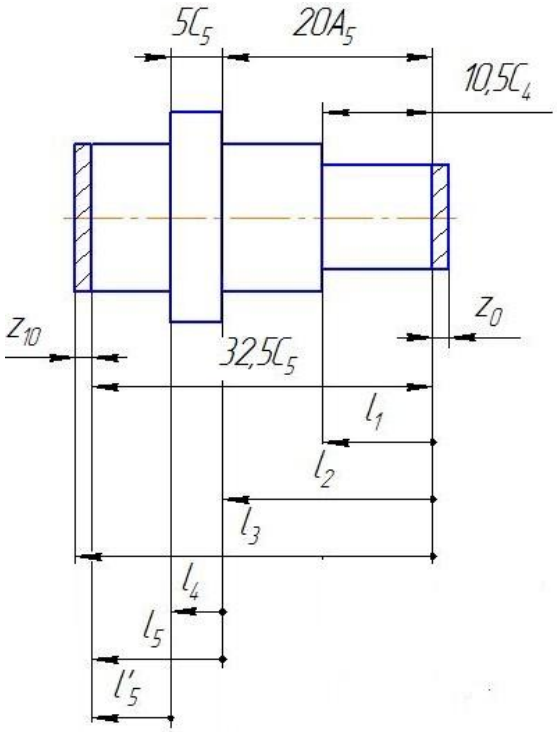


Рис. 3.

3. Решая систему неравенств допусков, находятся допуски составляющих звеньев. При этом:

а) В первую очередь рассматриваются неравенства допусков размерных цепей, где замыкающими звеньями являются чертежные размеры. Допуск чертежного размера определенным образом распределяется между составляющими размерами. Следует иметь в виду, что найденные допуски составляющих звеньев должны соответствовать экономической точности принятых методов обработки [3]. Если такое соответствие существует – решение продолжается дальше. В противном случае, нужно перестроить технологический процесс: принять другие методы обработки, расчленить операции или ввести дополнительные, выбрать другие базовые поверхности, изменить простановку размеров и т.д.

Заметим, что при распределении допуска замыкающего звена рекомендуется поступать следующим образом: по таблицам ГОСТ находят допуски по посадкам скольжения для всех составляющих звеньев, кроме одного, для которого допуск определяется расчетом неравенства [4].

б) В неравенствах допусков цепей, где замыкающими звеньями являются припуски, допуски на составляющие звенья, которые не вошли ранее в другие цепи, можно назначить вообще сколь угодно широкими. При необходимости колебание припуска может быть ограничено назначением соответствующих величин допусков на составляющие размеры.

4. Определяются значения искомых составляющих звеньев – операционных размеров. Они находятся путем решения уравнений размерных цепей. При этом может быть применен расчет по способу предельных значений, способу средних значений или способу отклонений.

Результат. В работе разработана методика проведение размерного анализа.

Результатом размерного анализа может быть вывод о:

а) необходимости изменения конструкции отдельных деталей, с целью повышения их технологичности;

б) необходимости изменения принятой последовательности и содержания операций технологического процесса;

в) введения в процесс дополнительных операций ;

г) применения иных методов обработки деталей и сборки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, С.Л. Мурашкин, и др.; Под ред. С.Л. Мурашкина. Основы технологии машиностроения: Этапы проектирования и точность технологических процессов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 408 с.
2. С.К. Сысоев, А.С. Сысоев, В.А. Левко. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов. СПБ.: ЛАНЬ, 2011. – 352 с.
3. А.А. Маталин. Технология машиностроения. СПб. :ЛАНЬ, 2015. – 512 с.
4. В.В. Клепиков, А.Н. Бодров. Технология машиностроения. Москва. Форум, 2008. – 864 с.

УДК 62-97

В.А. Матвеев, В.В. Дегтярев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
АО «Диаконт»

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ СЕРТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ СЕРИИ DA

На сегодняшний день в различных областях машиностроения таких как авиационно-космическая и энергетическая промышленности, автомобилестроение, станкостроение, робототехника и другие находят широкое применение электромеханические привода (ЭМП), заменяя гидравлические и пневматические привода. ЭМП в настоящее время получает преимущество на рынке за его характеристики - габаритные размеры, мощность, энергопотребляемость и эргономичность для эксплуатации. [1]

Одним из основных направлений производственной деятельности компании АО «Диаконт» является исследование, проектирование, изготовление и дальнейшее обслуживание прецизионных электромеханических приводов на базе ролико-винтовых передач.

Для исследования, сертификации и подтверждения пригодности к эксплуатации при обеспечении заданных технических требований ЭМП, возникает потребность в разработке

оборудования для сертификации. В свою очередь само оборудование должно включать в себя следующие блоки: «Оборудование нагружения (испытательный стенд)», «Блок управления приводом», «Ноутбук с комплектующими».

Целью иследования является разработка и аттестация испытательного стенда для сертификации электромеханических приводов серии DA140.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Разработать конструкцию испытательного стенда согласно требованиям, к механической части оборудования для сертификации ЭМП Серии DA140.
- На основе, разработанной ранее, программы-методике сертификации ЭМП серии DA140 разработать программу аттестации испытательного стенда.

В ходе выполнения первой задачи на разработку испытательного стенда были достигнуты ниже описанные результаты. На рисунке 1 изображена модель оборудования нагружения.

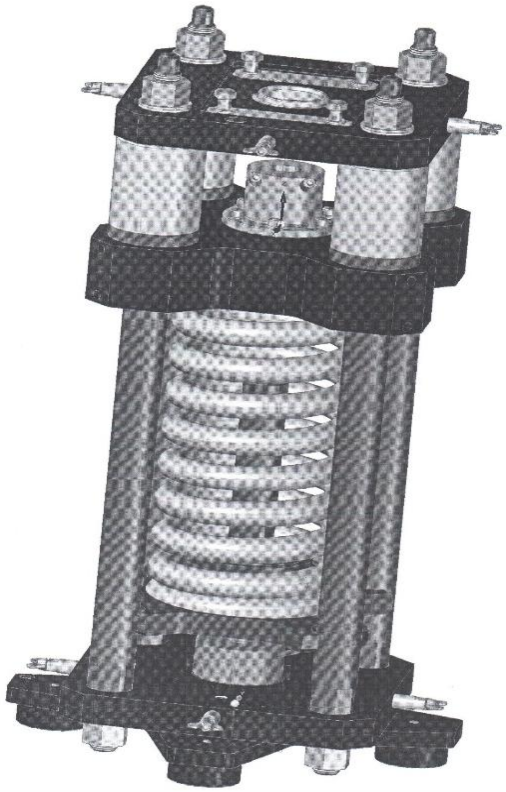


Рис. 1. Модель оборудования нагружения

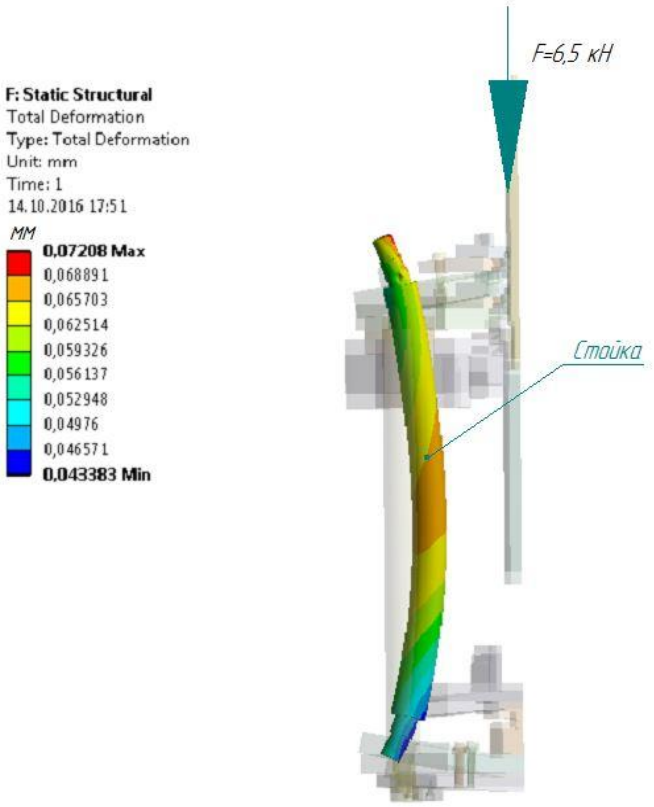


Рис. 2. Модель деформации стойки оборудования нагружения под нагрузкой

В связи с дифференцируемостью технических характеристик типопредставителей электромеханических приводов серии DA140, оборудование нагружения (испытательный стенд) имеет два исполнения для возможности сертификации каждого типопредставителя ЭМП. Создание осевой нагрузки на шток сертифицируемого ЭМП обеспечивается пружиной сжатия. Для получения значения осевой нагрузки для сертифицируемых типопредставителей, предусмотрено две пружины, каждая для двух типопредставителей. Измерение и индикация осевой нагрузки осуществляется с помощью тензометрического весоизмерительного устройства ТВЭУ-5-1 в состав которого входит весоизмерительный

преобразователь, тензодатчик М50 и дисплей для отображения текущего значения осевой нагрузки. Тензодатчик М50 располагается под пружиной сжатия. Однонаправленность осевой нагрузки на штоке ЭМП обеспечивается четырьмя направляющими, по которым осуществляется вертикальное перемещение подпружиненной платформы, на которой закреплен шток ЭМП. Требуемый рабочий диапазон перемещений штока ЭМП осуществлен, за счет подбора пружин сжатия. Крепление самого ЭМП осуществляется на верхнем фланце с помощью винтов со стопорными шайбами. Также учитывая то, что каждый типопредставитель ЭМП DA140 может иметь метрическую или дюймовую присоединительную резьбу на штоке, были спроектированы переходники, с помощью которых шток крепится на подвижной платформе оборудования нагружения. Для предотвращения отвинчивания штока от платформы разработана антиротационная втулка.

В процессе разработки конструкции были проведены расчеты на жесткость, прочность и деформации при статической и динамической нагрузках. Расчеты проводились с помощью пакета программы ANSYS. В качестве примера расчета на статическую деформацию можно рассмотреть модель с возникшими деформациями в стойке оборудования нагружения под действием нагрузки F, действующей со стороны штока ЭМП (рисунок 2). Результаты расчета можно увидеть на рисунке 3, на котором изображена зависимость максимальной деформации стойки от нагрузки. На графике рисунка 3 нагрузка показана в долях от номинальной. По результатам расчетов были подобраны материалы для деталей стенда. Так же при подборе материалов были учтены требования безопасности по ГОСТ 12.2.003.[3] Т.е. подобранные материалы конструкции оборудования не оказывают опасного и вредного воздействия на организм человека, а также не создают пожаровзрывоопасных ситуаций. Конструкция оборудования исключает на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работников. Также конструкция оборудования и его отдельных частей исключает возможность падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа. За счет защитного кожуха, представленного на рисунке 3, конструкция оборудования исключает падение или выбрасывание предметов, представляющих опасность для работников и ограждает движущиеся части оборудования. Элементы конструкции не имеют острых кромок и углов.

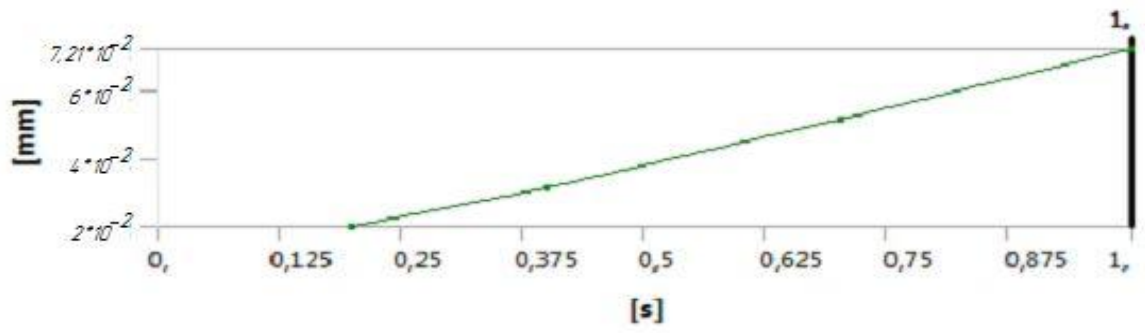


Рис. 3. График зависимости деформации стойки от нагрузки

Согласно требования ГОСТ 12.2.007.0. [2] по электробезопасности в конструкции оборудования предусмотрено отверстие для присоединения заземляющего проводника.

Конструкцией оборудования нагружения предусмотрено более 1,5 млн. циклов срабатываний, при том что каждый типопредставитель сертифицируемых ЭМП должен отработать не менее 375000 циклов.

В результате механическая часть на данный момент времени считается разработанной, так как полностью выполняет требования технического задания.

На данный момент исследования находятся на этапе реализации второй задачи, а именно на разработке программы аттестации оборудования нагружения.

В рамках программы аттестации должны быть исследованы технические характеристики оборудования нагружения и подобранно вспомогательное оборудование. В качестве исходных данных будет использоваться программа-методика [4] сертификации ЭМП серии DA140, так как в ней отражается какие характеристики ЭМП необходимо протестировать с помощью оборудования нагружения.

На сегодняшний день на оборудование нагружения выпущена конструкторская документация, по которой в ноябре 2016 года начнется изготовление. Одновременно будет выпущена необходимая документация на все оборудование технологическое для сертификации ЭМП. После чего будет окончательно разработана методика аттестации оборудования нагружения и проведены испытания согласно методике.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алексанин С.А., Лысый М.Н., Моралес Г.Х., Уваров М.М. Перспективы развития технологии и рынка приводных решений: куда движется привод. Санкт-Петербург. АО «Диаконт» 2013г.
2. ГОСТ 12.2.007.0-2016 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.2.003-2001 Оборудование производственное. Общие требования безопастности.
4. Жильцова Д.А. Абрамов В.И. ИТЦЯ441465.018 Оборудование технологическое. Программа методика испытаний на функционирование. 2016 г.

УДК 681.7.023.73

И.С. Савельев, В.И. Слатин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ФОРМЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ЗЕРКАЛ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗГИБОМ

При изготовлении цилиндрических рентгеновских зеркал возникает проблема, которая состоит в получении высокоточных подложек для нанесения многослойных интерференционных покрытий [1]. В этих условиях, довольно часто требуются цилиндрические поверхности второго порядка (парабола, эллипс), с высокой асферичностью, высокими требованиями к точности формы и шероховатости поверхности. Технологическими заготовками в этих условиях в настоящее время приняты тонкие полированные пластины. Известен способ получения подложек для рентгеновской оптики путем изгиба до получения нужной формы первоначально плоских тонких полированных пластин [2].

В этих условиях достаточно точно изогнуть пластину практически невозможно. При этом для достижения требуемой точности воспроизведения формы поверхности зеркала, необходимо изменять момент инерции вдоль длины пластины [3]. Вторым способом решения этой проблемы является изменение ее механических характеристик. Из рассмотренных способов наиболее простым следует признать изменение момента инерции пластины за счет изменения параметров ее ширины.

Для практической реализации изгиба к консольным частям пластины прикладывается пара сил, в результате которых пластина изгибается и принимает требуемую форму. При этом допускается условие, при котором пластина может иметь произвольную,

симметричную относительно продольной оси форму, задаваемую требуемыми условиями жесткости.

Получаемая при этом нагружении форма поверхности пластины, в первом приближении, может быть описана следующим уравнением :

$$EJ_y(x)\, d^2 z / dx = M_y(x) \qquad (1)$$

При условии, что размер пластины вдоль оси «y» существенно меньше ее длины вдоль оси «x».

Анализ данного уравнения показывает, что кривые второго порядка, такие как цилиндр, эллипс, парабола можно получить соответствующим выбором функции $J_y(x)$. При этом следует отметить, что модель стержня , описываемая уравнением (1) не учитывает реальных практических эффектов, которые проявляются при изгибе подложек пластин. Основным эффектом, который не учитывается уравнением (1) является проявление сагиттального изгиба (относительно оси «x») поверхности пластины. Указанный выше изгиб объясняется тем, что в нижних слоях пластины в результате изгиба относительно оси «y» возникают сжимающие напряжения вдоль оси «x». При этом в верхних слоях пластины появляются растягивающие напряжения. При ненулевых значениях коэффициента Пуассона возникают растягивающие и сжимающие напряжения в направлении оси «y», которые и обуславливают сагиттальный изгиб. В первом приближении радиус сагиттального изгиба $R_x = R_y\, u$, где R_y - радиус изгиба относительно оси «y», u - значение коэффициента Пуассона материала пластины.

Значительные сагиттальные изгибы приводят к дополнительным осложнениям при построении моделей, описывающих изгибы реальных пластин. При этом необходимо иметь в виду, что радиус сагиттального изгиба является переменной величиной на длине пластины. Это может привести к отрыву пластины от опор и элементов передающих на нее нагрузку. Нелинейность по граничным условиям приводит к дополнительным трудностям при построении модели.

Таким образом для получения точности порядка одной угловой секунды достаточной для решения практических задач по изготовлению подложек рентгеновских зеркал требуется 3-х мерный расчет напряженно-деформированного состояния заготовки, который может быть осуществлен только численными методами.

Данная задача дополнительно усложняется с необходимостью учета в модели ряда дополнительных условий, задаваемых технологическим процессом изготовления зеркала. К этим условиям следует отнести : нанесение на заготовку дополнительных элементов, методами напыления (наклеивания) для изменения жесткости пластины, что приводи в свою очередь к созданию поверхностных натяжений и усадок. Необходимо также учитывать реальные неопределенности (погрешности) формы и размеров пластин в соответствии с техническими требованиями чертежа [4].

Для решения описанных проблем разработано программное обеспечение, позволяющее для заданной теоретической формы поверхности найти силы, прикладываемые к концам изгибаемой пластины, а также форму пластины, обеспечивающую с заданной точностью ее изгиб (прогиб) по отношению к рассматриваемой кривой. При этом существует возможность внесение корректировок на погрешности параметров толщины пластины, начального изгиба, поверхностного натяжения, а также на усадку и наличие дополнительных элементов на пластине.

Следует признать, что даже в этих условиях, не удается в численной модели устранить в полной мере все различия с экспериментальной ситуацией. Основной причиной здесь является различие в условиях контакта между пластиной и опорами, а также между пластиной и элементами устройства нагружения, передающего усилия на пластины.

Значительное место занимает неточность определения сил, изгибающих пластину. В частности, неравномерность распределения усилий в поперечном направлении, что привод к потере симметрии изгиба относительно продольной оси «x». По нашему мнению, значимыми являются неполнота учета реальных размеров пластин, неточность определения модуля упругости и коэффициента Пуассона материала пластины, а также достаточно трудно анализируемые моменты, такие как проскальзывание пластины при изгибах на опорных элементах, релаксация материала пластины после нагружения.

Предлагаемая методика расчетов формы заготовок подложек рентгеновской оптики, позволяет значительно упростить процедуры изготовления цилиндрических рентгеновских зеркал, получаемых изгибом. Проведенные натурные испытания показали, что становиться возможным выполнение расчетов продольного профиля с погрешностью не менее 1 угловой секунды на всей длине пластины.

Первые эксперименты проводились на пластинах длиной 120 мм, расстояние между опорами составляло 70 мм, при этом силы нагрузки были приложены симметрично относительно центра пластин . При толщине пластины 1 мм, было задано расстояние между опорами – 95 мм. Пластины имели прямоугольную форму, ширина составляла 58 мм. Теоретическая кривая была задана участком эллипса с полуосями а = 370 мм, в = 8,7 мм. Координаты центра зеркала составляли x_o = -294 мм, при этом угол между осью и радиусом из левого фокуса эллипса в центр зеркала составил 3,072109. В результате были получены обнадеживающие результаты по критерию разности между измеренными и рассчитанными профилями. Было экспериментально доказано, что расхождение между измеренным и рассчитанным профилями вдоль продольной оси не превышала 0,05 [ang.min].

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.В. Михайлов, А.В. Парака, В.Н. Чекаль и др., Технология автоматизированного формообразования для производства оптических элементов. Оптический журнал, т. 76, №9, 2009, с. 82-86

2. Walker, D. D. et. al, The Precessions Process for Efficient Production of Aspheric Optics for Large Telescopes and Their Instrumentation, SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation Meeting, Hawaii, August, 2002.

3. C. Wenzel Spindel design for the subaperture polishing machine. Proc. SPIE Conference ‘Optical Fabrication, Metrology and Materials Advancements for Telescopes, NY, May 12, 2008, Volume 6201, pp41-52

4. 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.

УДК 621.923

С.С. Степанов, С.Н. Степанов, Н.Ю. Видинеева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЭТАЛОННОМ ПРИБОРЕ М 1000 ДЛЯ ПОВЕРКИ РУЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

Введение. В последнее время усилился процесс экономической и научной интеграции международного сообщества [1, 2]. Важным элементом этого процесса является гармонизация стандартов и других нормативных документов, в том числе в области метрологии, с целью устранения барьеров в торговом, промышленном, научном и культурном сотрудничестве.

В 1993 году под эгидой семи международных организаций:

- Международного бюро мер и весов,
- Международной электрической комиссии,
- Международной организации по стандартизации,
- Международной организации законодательной метрологии,
- Международного союза по чистой и прикладной химии,
- Международного союза по чистой и прикладной физике,
- Международной федерации клинической химии

был издан документ «Руководство по выражению неопределенности измерения».

Принципы этого Руководства [3] предназначены для использования в широком спектре измерений, включая те, которые требуются для:

- поддержания контроля качества и обеспечение качества в процессе производства;
- согласованности законов и регулирующих актов;
- проведения фундаментальных и прикладных исследований и разработокв науке и технике;
- эталонов и приборов для калибровки и испытаний по всей национальной системе измерений для обеспечения единства измерений и связи с национальными эталонами;
- разработки, поддержание и сличения международных и национальных эталонов единиц физических величин, включая стандартные образцы веществ и материалов.

Руководство приобрело статус неформального международного стандарта.

Учитывая тот факт, что Россия активно участвует в процессе интеграции международного сообщества, остро стоит вопрос о гармонизации отечественных стандартов, в том числе в области метрологии, с международными нормативными документами. Так в 2012 году введен в действие национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 54500.3-2011 /Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.

Цель работы - расчет неопределенности измерений на эталонном приборе М 1000 с системой автоматического управления. Эталонный прибор М 1000 с системой автоматического управления разработан на кафедре «Технология машиностроения» Санкт-Петербургского университета Петра Великого. Прибор предназначен для поверки широко распространенного на машиностроительных предприятиях ручного измерительного инструмента.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить факторы, влияющие на неопределенность измерений;
- провести оценку измеряемой величины;
- вычислить суммарную стандартную неопределенность;
- вычислить расширенную неопределенность измерений.

Неопределенность измерений: Параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине;

Стандартная неопределенность (u): Неопределенность результата измерений, выраженная в виде среднего квадратического отклонения (СКО);

Суммарная стандартная неопределенность (uc): Стандартная неопределенность результата измерений, полученного через значения других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерений изменяется при изменении этих величин;

Расширенная неопределенность (U): Величина, определяющая интервал вокруг результатаизмерений, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть

распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Измеряемую величину Yопределяют как [3]

$$Y = f(X_1 \ldots X_m) \quad (1)$$

где *X*1,...,*Xm* - входные величины непосредственно измеряемые или другие величины, влияющие на результат измерения;

Основным количественным выражением неопределенности измерений является стандартная неопределенность *u*.

Основным количественным выражением неопределенности измерений, при котором результат определяют через значения других величин, является суммарная стандартная неопределенность u_c.

В тех случаях, когда это необходимо, вычисляют расширенную неопределенность *U* по формуле

$$U = k \cdot u_c \quad (2)$$

где *k* - коэффициент охвата (числовой коэффициент, используемый как множитель при суммарной стандартной неопределенности для получения расширенной неопределенности).

Во многих практических случаях [4] при вычислении неопределенностей результатов измерений делают предположение о нормальности закона распределения возможных значений измеряемой величины и полагают: $k = 2$ при $p \approx 0{,}95$ и $k = 3$ при $p \approx 0{,}99$.

Вычисляем стандартную неопределенность по типу А - путем статистического анализа результатов многократных измерений. Исходными данными для вычисления u_aявляются результаты многократных измерений: *Xi*$_1$, …, *Xini* (где $i = 1, \ldots; m$; *ni* - число измерений *i*-й входной величины).

Стандартную неопределенность $u_a(xi)$ измерений *i*-й входной величины, при которых результат определяют как среднее арифметическое, вычисляем по формуле [3]

$$u_a(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q-1}^{n_i} \left(X_{iq} - \overline{X_i}\right)^2} \quad (3)$$

где $\overline{X_i} = \frac{1}{n_i} \sum_{q=1}^{n_i} X_{iq}$ - среднее арифметическое результатов измерений *i*-й входной величины.

Вычисляем стандартную неопределенность по типу В - используем данные изготовителя эталонного прибора лазерного интерферометра и результаты его поверки, а также данные на прибор М 1000.

Неопределенности этих данных обычно представляют в виде границ отклонения значения величины от ее оценки. Наиболее распространенный способ формализации неполного знания о значении величины заключается в постулировании равномерного закона распределения возможных значений этой величины в указанных (нижней и верхней) границах для *i*-й входной величины. Применительно к нашему случаю это будут $u_в(Ra)$ и $u_в(R_B)$ дискретность отсчета прибора М 1000 и лазерного интерферометра и предел допустимой абсолютной погрешности лазурного интерферометра $u_в(Rl)$.

Далее вычисляем суммарную стандартную неопределенность u_c по формуле

$$u_c = \sqrt{u_a(X_i)^2 + u_B(R_a)^2 + u_B(R_B)^2 + u_B(R_l)^2} \quad (4)$$

где $u_a(X_i)$- стандартная неопределенность типа А, мкм. вычисляемая по формуле (3).

$u_B(R_a) = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{R_a}{2}$ – стандартная неопределенность от дискретности отсчета прибора М 1000;

$u_B(R_B) = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{R_B}{2}$ - стандартная неопределенность от дискретности отсчета лазерного интерферометра;

$u_B(R_l) = \frac{R_l}{3}$ – стандартная неопределенность от предела допустимой абсолютной погрешности лазурного интерферометра.

Вычисляем расширенную неопределенность U по формуле

$$U = ku_c \tag{5}$$

Таблица 1

Бюджет неопределенности

Входные величины	Стандартные неопределенности входных величин, мкм	Тип неопределенности	Вклад неопределен-ности
Среднее значение абсолютной погрешности	11,3	А	0,22
Дискретность М 1000	0,1	В	0,029
Дискретность лазер-ного интерферометра	0,01	В	0,003
Предел допустимой абсолютной погрешности лазерного интерферометра	0,5	В	0,167
Суммарная стандартная неопределенность абсолютной погрешности u_c, мкм			0,278
Расширенная неопределенность абсолютной погрешности U с вероятностью 0,95			0,56

Вывод. Как видно из результатов расчетов (табл. 1) расширенная неопределенность измерений на эталонном приборе для поверки ручного инструмента составляет достаточно малую величину по сравнению с допустимой абсолютной погрешностью поверяемых приборов [1, 2]. Поэтому данный прибор М 1000 может применяться для поверки ручного инструмента: штангенциркулей, микрометров, нутромеров, измерительных скоб и другого аналогичного инструмента для линейно-угловых измерений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Метрологическое обеспечение производства, Учебник / Любомудров С.А., Степанов С.Н., Тарасов С.Б. — Санкт-Петербург, СПбПТУ, 2008
2. Методы и средства измерения в машиностроении Учеб. пособие / С.А. Любомудров, Т.А. Макарова, С.Б. Тарасов. — Санкт-Петербург, СПбГПУ. 2011
3. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение «Руководства по выражениюнеопределенности измерений».
4. Чуновкина А.Г. Погрешность измерения, неопределенность измерения инеопределенность измеряемой величины. «Измерительная техника», М.,2000, № 7.

УДК 621.822.172

Н.А. Пелевин, М.С. Бундур, В.А. Прокопенко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОРРЕКЦИИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА ПО АСИМПТОТИЧЕСКИМ ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Одним из наиболее простых, доступных и наглядных способов оценки устойчивости и динамических характеристик системы автоматического регулирования (САР) при малых нагрузках (R_h) – является оценка вида асимптотических логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) разомкнутой системы [1]. Так как практически любая гидравлическая система может быть представлена в виде САР, то ее можно получить и для гидростатических подшипников (ГСП).

Особый интерес представляет исследование САР ГСП в случаях, когда невозможно по структуре САР получить передаточную функцию $W(s)$ разомкнутой системы, из-за наличия в ней для корректированного ГСП перекрещивающихся связей. Для дроссельной системы управления (СУ) известная $W(s)$ может быть представлена приближенным выражением и получаемые результаты имеют некоторую погрешность [2].

Цель работы: разработка способа выбора параметров *RC*-коррекции (R_A – гидравлическое сопротивление, C_A − гидравлическая емкость) ГСП по асимптотическим ЛАЧХ с использованием моделей САР для различных типов СУ.

Значительнымисредствами и исследовательскими возможностями обладает пакет MATLAB. В его среде Simulink можно реализовать практически любую линейную и нелинейную модель, на основе которой сформировать желаемую ЛАЧХ и выполнить исследованиеразличных получаемых САР.

Устойчивость и отсутствие колебаний САР в ряде случаев может быть обеспечена при пересечении асимптотической ЛАЧХ оси частот с наклоном -20 дБ/дек на частоте среза ($\omega_{ср}$) [1]. Различные вариации параметров СУ ГСП, а также введение корректирующей *RC*-цепи изменяют динамику САР.

В качестве исследуемого варианта принята дроссельная СУГСП, принципиальная схема приведена на рис. 1, *а*. Соответствующая структурная схема САР с *RC*-коррекцией и упомянутыми перекрещивающимися связями представлена на рис. 1, б [2]. Асимптотические ЛАЧХ в MATLAB можно синтезировать, используя встроенные средства линеаризации моделей [3], выполненных в Simulink и скрипта ***lams.m*** [4]. На рис. 2 представлены соответствующие характеристики для исходного некорректированного ГСП и трех корректированных вариантов с различными параметрами коррекции (таблица 1), которые получены, исходя из условий серийного модуля ЛР400ПМФ-4 по линейной модели (приведенной на рис. 1, *б*).

Табл. 1

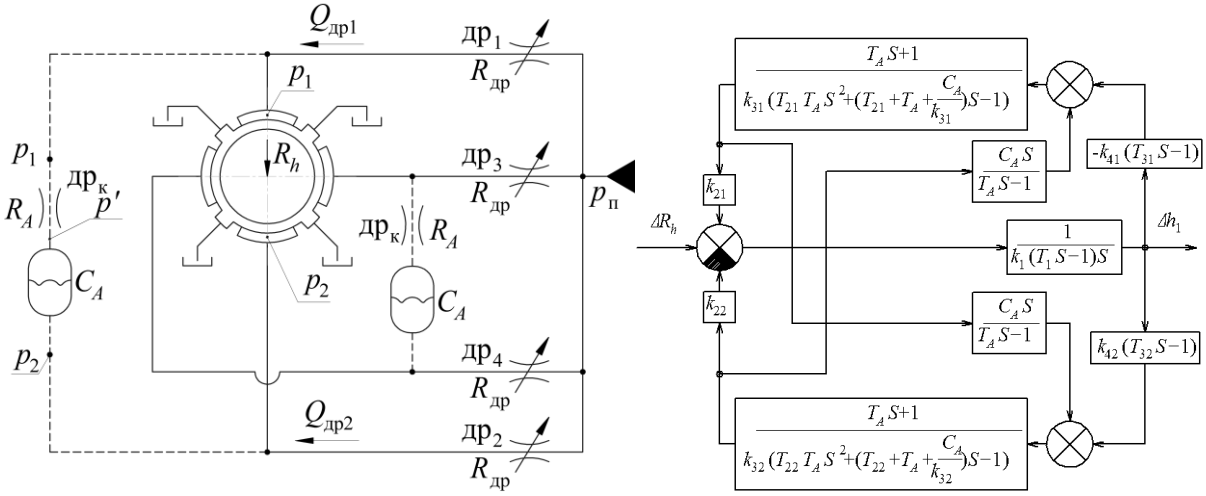
Результаты расчета параметров коррекции для САР ГСП

Ломаная ЛАЧХ	$C_A \cdot 10^{-14}$, м^3/Па	$R_A \cdot 10^9$, Па·с/м^3	Наклон ЛАЧХ, дБ/дек
1 - Исходный	-	-	-40
2	21	4,1	-40
3	21	9,5	-20
4	21	22,3	-40

Выбор параметров *RC*-цепи осуществляется в следующей последовательности:

1. Назначается значение гидроемкости C_A, соответствующее стандартному однослойному металлическому сильфону [5], удовлетворяющему требованиям прочности по перепаду давлений p_1 и p_2(с учетом давления питания $p_п$).

2. Последовательным перебором задаваемого значения гидросопротивления R_A, определяются условия, при которых обеспечивается пересечение с наклоном -20 дБ/дек (рис. 2) отрезка асимптотической ЛАЧХ на оси частот. При этом ломаные 2, 3 и 4 пересекаются в одной точке на ломаной 1, т.к. ее положение определяется выбранной величиной емкости C_A.



а) *б*)

Рис. 3. Схемыдроссельного ГСП с коррекцией*RC*-цепью:
а) расчётная гидравлическая; *б*) структурная САР

В таблице приведены возможные варианты коррекции с различными значениями R_A. Анализ данных показывает, что только для варианта 3, обеспечивается наклон ЛАЧХ на $\omega_{ср}$ -20 дБ/дек. Для остальных вариантов, асимптотическая ЛАЧХ пересекает ось частот с наклоном -40 дБ/дек (табл. 1). Эффективность выбора параметров *RC*-коррекции подтверждается качественной оценкой построенных в MATLAB переходных процессов (ПП) при малой нагрузке (рис. 3, *а*). У выбранного варианта 3 отсутствуют какие-либо признаки колебательности, в отличие от исходного варианта 1.

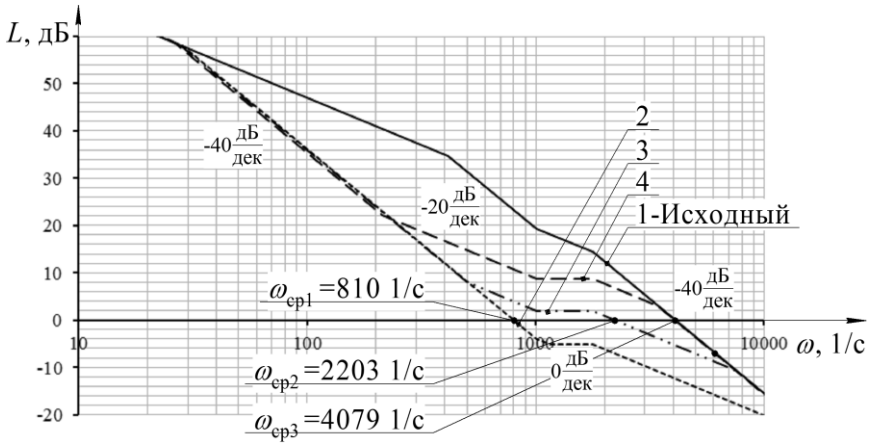
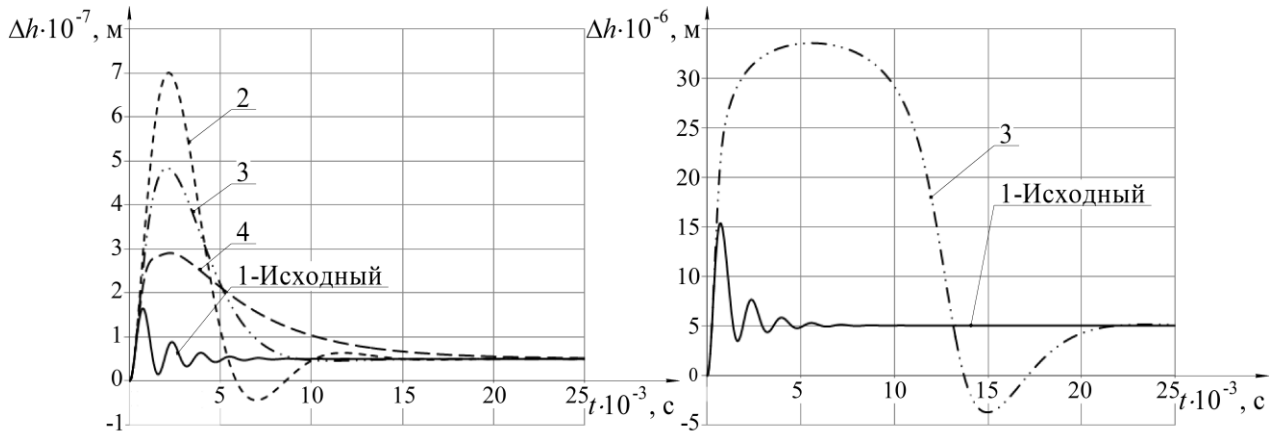


Рис. 2. Асимптотические ЛАЧХ: 1 – исходной САР; 2, 3, 4 – корректированной *RC*-цепью САР

Как известно улучшение динамики на малых нагрузках (рис. 3, *а*) приводит к некоторому ухудшению на больших нагрузках. Поэтому для дополнительной оценки качества САР ГСП построен ПП (рис. 3, *б*) при максимальной нагрузке для выбранного варианта (по паспортным данным станка). На ПП заметно ухудшение динамического

качества (ДК) относительно соответствующего варианта 3 (рис. 3, *а*), но при этом, тем не менее, значимая колебательность практически не проявляется.



а) *б*)

Рис. 4. ПП при n_{min} для: *а*) R_h=100 Н; *б*) R_h=10 кН

Оценивая в целом такой способ выбора параметров коррекции ГСП можно констатировать, чтоннесколько усложняет процедуру определения комбинаций параметров, обеспечивающих наилучший вариант коррекции и ДК, но в условиях автоматизированного расчета и построения асимптотических ЛАЧХ трудоемкость его является минимальной.

Вывод. Предложен способ определения параметров *RC*-коррекции, позволяющий получить для любого варианта СУ высокое ДК по асимптотическим ЛАЧХ посредством вариации значения гидравлического сопротивления R_A для изменения наклона до -20 дБ/дек ломаной ЛАЧХ при назначенной величине гидроемкости C_A.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. М: Машиностроение, 1983. 608 с.

2. Пелевин Н.А., Петков П.П., Прокопенко В.А., Чернов И.А. Особенности моделирования динамики гидростатических подшипников при использовании различных программных пакетов // Интегрированные, виброволновые технологии в машиностроении, металлообработке: сборник трудов по материалам международного научного симпозиума технологов-машиностроителей (Ростов-на-Дону, 30 сентября - 3 октября 2015г.). - Ростов н/Д: ДГТУ, 2015. С. 285-289.

3. Борисевич А.В. Теория автоматического управления: элементарное введение с применением MATLAB [Электронный ресурс] ISBN 978-5-16-101828-6. М: Инфра-М, 2014. 200 с.

4. Бороденко В.А. Построение асимптотической ЛАЧХ в MATLAB // Вестник ПГУ, №1 Энергетическая серия, 2014. С. 8.

5. Государственный стандарт союза СССР ГОСТ 21482-76 Сильфоны однослойные измерительные металлические. Технические условия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам. 1976.

УДК 681.2.082

А.А. Мадалиев, С.Н. Степанов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОНТРОЛЬ НЕСООСНОСТИ ВАЛОВ ИНДИКАТОРАМИ ЧАСОВОГО ТИПА

Введение. Несоосность валов механизмов является весьма распространенным явлением – не менее 50 % выхода из строя механизмов с совместно вращающимися

машинами происходит именно по этой причине. Несоосность вносит значительный вклад в уровень вибрации – 50…70 %; приводит к увеличению потребления энергии системой в среднем на 15 %. Возрастающая при этом нагрузка на подшипники приводит к сокращению срока их эксплуатации до 50 %, уменьшает срок службы уплотнений, отрицательно сказывается на других механических компонентах [2, 3].

Контроль несоосности валов совместно вращающихся машин является ключевым этапом процесса достижения такого взаимного расположения, при котором величина несоосности не превышает допускаемого значения [1]. По результатам проведенного контроля проводится смещение опор подвижной машины в горизонтальной и вертикальной плоскостях относительно стационарной машины. Обычно приводные машины (например, гидронасосы) считаются стационарными, а двигатели (например, электродвигатели) – подвижными машинами [3].

Цель работы - разработка методики контроля несоосности валов с помощью индикаторов часового типа.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- составить принципиальную схему измерений;
- составить расчетную схему измерений;
- разработать математическую модель, позволяющую рассчитать величину смещения опор подвижной машины для компенсации несоосности валов.

После окончательной установки агрегата, перед пуском и в процессе эксплуатации, контроль существующейнесоосностипроводят с точностью не менее 0,01 мм (приборы с часовыми индикаторами, датчиками перемещений, микропроцессорными приборами). Наиболее доступными являются приборы с часовыми индикаторами.

Можно выделить два метода контроля несоосности валов часовыми индикаторами: радиально-осевой метод (рис. 2), при котором один индикатор расположен в осевом, а другой – в радиальном направлении, и метод обратных индикаторов, при котором оба индикатора расположены радиально. Методы равнозначны по точности контроля, однако для машин с существенным перемещением вала вдоль собственной оси в процессе работы предпочтителен метод обратных индикаторов, поскольку измерения при этом проводятся только в радиальном направлении [4].

Поворачивая валы с жестко закрепленными на них измерительными системами фиксируют показания индикаторов в четырех угловых положениях. Направление поворота валов принимается против часовой стрелки при взгляде оператора со стороны стационарной машины на подвижную (рис. 1). Результатами измерений являются четыре пары показаний индикаторов, полученных путем замеров в положении валов 0°, 90°, 180° и 270° (табл. 1).

По результатам измерений (табл. 1) дается заключение о соответствии величины несоосности допускаемой, а также определяется требуемая величина смещения опор подвижной машины для компенсации несоосности валов. Несоосность валов считается удовлетворительной, если разность результатов измерений в диаметрально противоположных точках (например, $s_1^{0°}$ и $s_1^{180°}$) не превышает величин, указанных в [1].

Таблица 1.

Результаты измерений

	0°	90°	180°	270°
Часовой индикатор 1	$s_1^{0°}$	$s_1^{90°}$	$s_1^{180°}$	$s_1^{270°}$
Часовой индикатор 2	$s_2^{0°}$	$s_2^{90°}$	$s_2^{180°}$	$s_2^{270°}$

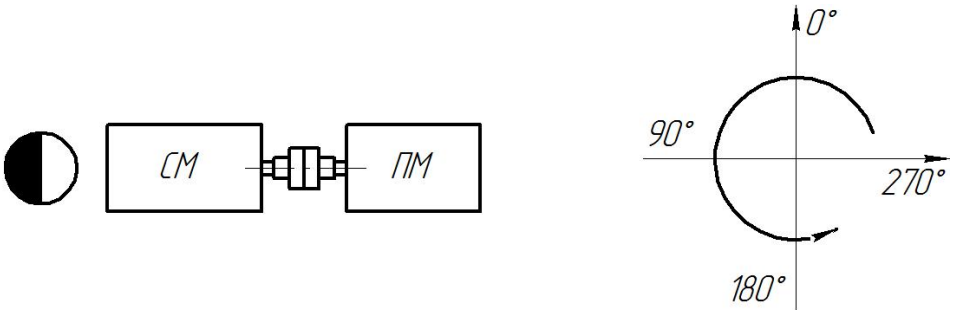


Рис. 1. Направление взгляда оператора и направление поворота валов.
СМ – стационарная машина, ПМ – подвижная машина

Рассмотрим расчет требуемых величин смещения опор подвижной машины при проведении измерений радиально-осевым методом (рис. 2).

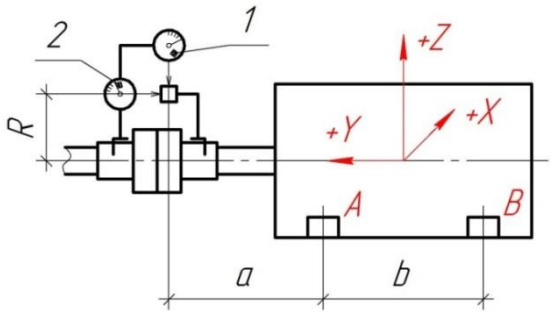


Рис. 2. Принципиальная схема установки измерительной системы на исследуемый механизм для радиально-осевого метода контроля, где *1* и *2* – соответственно радиальный и осевой индикаторы;
a – расстояние между измерительным стержнем радиального индикатора и центрами креплений передних опор *A* подвижной машины (электродвигателя),
b – расстояние между центрами креплений передних *A* и задних *B* опор электродвигателя;
R – радиус измерения

Параметры установки и расположения измерительной системы, определяют величины *a, b, R.* Расчетная схема для определения необходимого смещения передних *A* и задних *B* опор подвижной машины в направлении оси *Z* (рис. 3) составляется исходя из принципа независимости смещений, определенных с помощью радиального и осевого индикаторов.

Исходя из принципа подобия треугольников (рис. 3), необходимые смещения передних Z_{A2} и задних Z_{B2} опор по результатам измерений осевым часовым индикатором; передних Z_{A1} и задних Z_{B1} опор по результатам измерений радиальным часовым индикатором:

$$Z_{A2} = \frac{s_2^{0°} - s_2^{180°}}{2R} \cdot a; \quad Z_{B2} = \frac{s_2^{0°} - s_2^{180°}}{2R} \cdot (a+b); \quad Z_{A1} = \frac{s_1^{0°} - s_1^{180°}}{2}; \quad Z_{B1} = \frac{s_1^{0°} - s_1^{180°}}{2}.$$

Результирующие смещения передних Z_A и задних Z_B опор в направлении оси *Z*, определенные радиально-осевым методом, равно сумме смещений, рассчитанных по результатам измерений радиальным и осевым индикаторами:

$$Z_A = \frac{s_2^{0°} - s_2^{180°}}{2R} \cdot a + \frac{s_1^{0°} - s_1^{180°}}{2}; \quad Z_B = \frac{s_2^{0°} - s_2^{180°}}{2R} \cdot (a+b) + \frac{s_1^{0°} - s_1^{180°}}{2}.$$

Расчет необходимых смещений опор в направлении оси *X* аналогичен расчету необходимых смещений опор в направлении оси *Z* (рис. 3), соответственно:

$$X_A = \frac{s_2^{90^\circ} - s_2^{270^\circ}}{2R} \cdot a + \frac{s_1^{90^\circ} - s_1^{270^\circ}}{2}; \quad X_B = \frac{s_2^{90^\circ} - s_2^{270^\circ}}{2R} \cdot (a+b) + \frac{s_1^{90^\circ} - s_1^{270^\circ}}{2}.$$

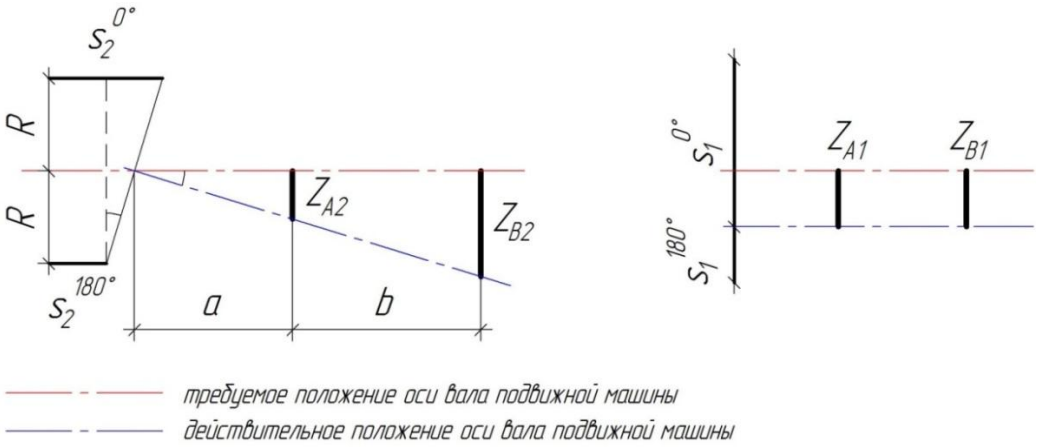


Рис. 3. Расчетные схемы для определения необходимого смещения передних А и задних В опор подвижной машины в направлении оси Z радиально-осевым методом

Вывод. Выведены и подробно обоснованы расчетные формулы по определению необходимого смещения опор подвижной машины для компенсации несоосности валов при проведении измерений радиально-осевым методом. Аналогично выводятся формулы при проведении измерений методом обратных индикаторов.Таким образом, становится возможным разработка собственных расчетных программ заинтересованным предприятием и отказ от дорогостоящих зарубежных специальных компьютерных программ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Строительные нормы и правила: СНиП III-Г.10.3-69 Насосы. Правила производства и приемки монтажных работ: нормативно-технический материал. – Москва, 1970. – 16с.
2. Антонычев С.В. Энергосбережение за счет наладки производственного оборудования на основе энергосервиса / С.В. Антонычев // Энергосбережение. – 2013. – №4. – С. 25-26.
3. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам / В.А. Русов. – Пермь, 2012.
4. Виброакустическая диагностика насосных агрегатов / Р.Н. Сулейманов [и др.]; под ред. Р.Н. Сулейманова. – Уфа: изд-во УГНТУ. –2002, 162с.

УДК 621.923

С.Б. Тарасов, А.В. Петров, А.Б. Лядов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ «НЕСООСНОСТИ» НА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ КАЛИБРОВКИ ПРИБОРА ППГ-4

Введение. В нашей стране в настоящее время создается эталонная база [4] для калибровки различных приборов.

Вновь созданный прибор для измерительных головок ППГ-4 предназначен для поверки головок, индикаторов и нутромеров с ценой деления шкалы от 2 мкм до 0,1мкм. Согласно поверочной схемы [2] прибор является рабочим эталоном 2-го разряда с расширенной неопределенностью [1] калибровки не более 0,04мкм.

У прибора две измерительные пятки с дискретностью показаний 0,1 и 0,01 мкм, которые обеспечивают эталонные перемещения. Калибровка прибора производится с помощью концевых мер 1-го разряда, которые размещаются на специальном измерительном столике со сферической вставкой, закрепленном на измерительной пятке прибора (рис. 1). Сфера выступает над плоскостью столика на 2-3 мкм и позволяет, не перекашивая концевую меру, с помощью сферического наконечника опорного индуктивного преобразователя воспроизводить срединную длину эталонной меры. Срединная длина меры - это длина перпендикуляра, опущенного из центральной точки поверхности меры на противоположную сторону. Именно срединная длина меры определяет размер эталонной меры.

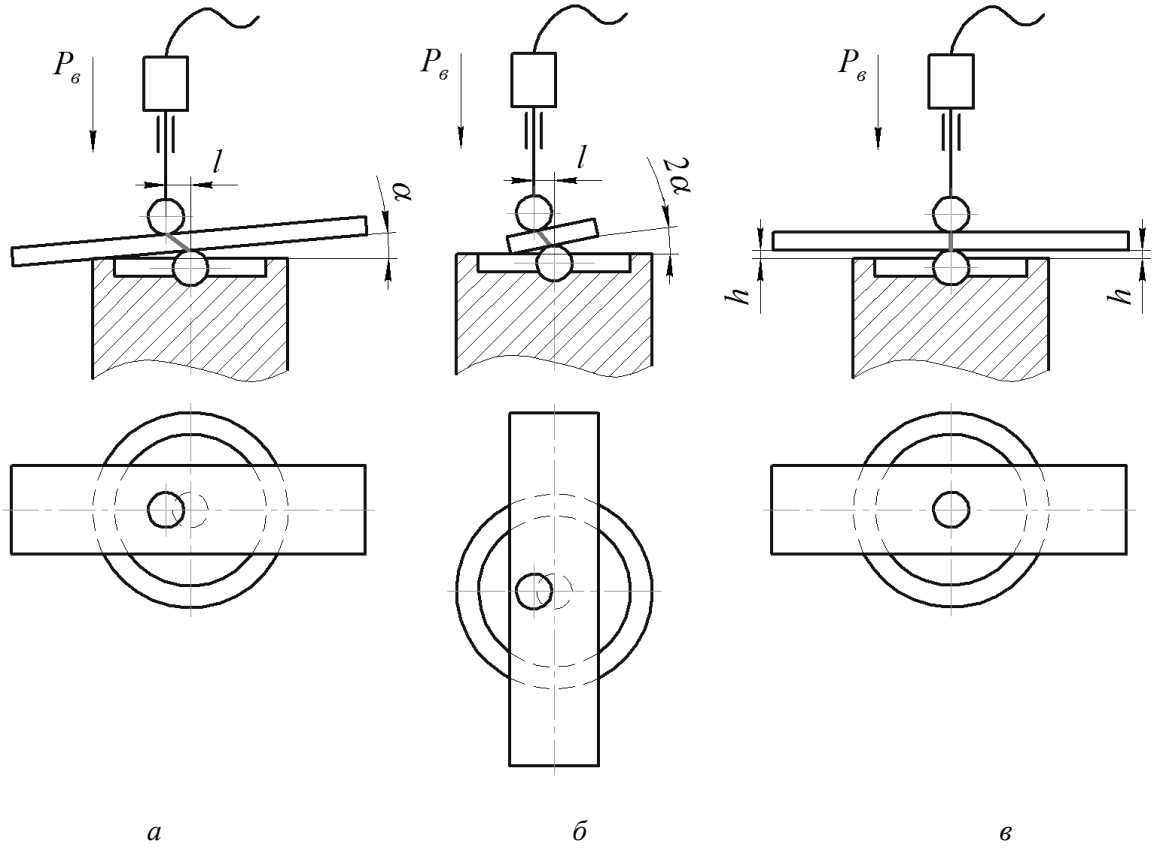


Рис. 1. Настройка соосности

При испытаниях опытного образца прибора выявилась проблема обеспечения соосности сферической вставки столика и сферического наконечника преобразователя. Соосность в метрологии – устоявшееся понятие и означает, что вершины сфер вставки и наконечника преобразователя лежат на линии, перпендикулярной к плоскости меры. В обычной практике соосность настраивается один раз при юстировке прибора, и она остается обязательным условием применения прибора (оптиметры, ультраоптиметры, контактные интерферометры, компараторы для концевых мер) [3]. Обеспечение соосности выполняется за счет интуиции и мастерства юстировщика. По этой причине вопросы влияния несоосности на погрешность прибора и алгоритмы обеспечения соосности в литературе не рассматривались.

В приборе ППГ-4 измерительные пятки плоские, а измерительный столик со сферой и опорный преобразователь со сферическим наконечником являются необходимыми элементами для калибровки прибора как во время изготовления, так и при периодических калибровках, а значит настройку соосности на каждом приборе необходимо выполнять с определенной периодичностью.

Цели и задачи. Поставлена цель проанализировать и исследовать причины влияние несоосности на точность прибора, установить критерий соответствия несоосности, разработать алгоритм настройки соосности применительно к прибору ППГ-4.

На рис. 1 показаны схемы различного проявления несоосности на положение меры на столике и относительно наконечника преобразователя. Концевая мера прижимается к сферической вставке столика измерительным усилием преобразователя (1,0-1,2 Н). При несоосности сфер возникает плечо *l* (рис. 1, *а, б*), которое создает разнонаправленный опрокидывающий момент, который при перемещении меры по столику в поисках наименьшего показания преобразователя вызывает нестабильность показаний преобразователя из-за различных положений меры, что увеличивает неопределенность калибровки. Чем больше *l* (рис. 1, *а, б*), тем больше нестабильность. На рис. 1, *в* показан случай, когда соосность обеспечена, опрокидывающий момент отсутствует. На меру воздействует только сила, которая создает силу трения между сферами и мерой, которая обеспечивает устойчиво среднее положение меры без опрокидывания. В этом случае нестабильность показаний будет определяться только дискретностью преобразователя.

Результаты. Были проведены исследования с различными способами обеспечения соосности, на основании которых был изготовлен специальный кронштейн для регулировки соосности (рис. 2). Кронштейн имеет два отверстия: одно для закрепления кронштейна на колонке прибора, другое для закрепления преобразователя. Часть кронштейна для закрепления преобразователя соединяется с неподвижной частью кронштейна через два упругих шарнира, которые позволяют поочередно поворачивать закрепленный преобразователь по траекториям с радиусами R1 и R2, обеспечивая соосность сфер столика и преобразователя. Разработан алгоритм регулировки соосности.

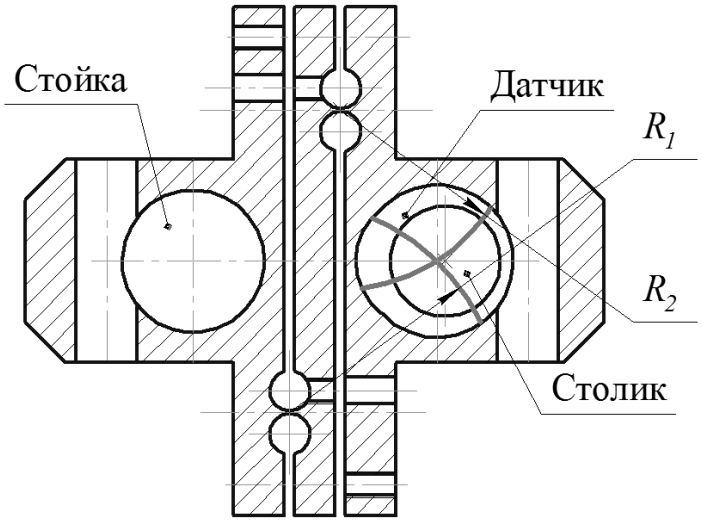


Рис. 2. Кронштейн

Так же были проведены исследования с различными радиусами сфер столика и наконечника преобразователя – 1,5 и 14 мм. Необходимо отметить, что дискретность преобразователя 0,01 мкм и нестабильность показаний проявляется в сотых долях микрометра. Оптимальным оказался радиус сфер 14 мм.

Вывод. Кронштейн с упругими шарнирами для регулировки соосности при радиусе сфер 14 мм является оптимальным для многократной регулировки соосности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 54500.3 – 2011 / Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Руководство по выражению неопределенности измерения.
2. ГОСТ Р 8.763-2011. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от $1*10^{-9}$ до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм. Москва, Стандартформ, 2013
3. М.Г. Богуславский, Я.М. Цейтлин. Приборы и методы точных измерений длины и углов. Москва, Издательство стандартов, 1976.
4. Степанов С.Н., Тарасов С.Б., Петров А.В, Степанов С.С. Эталонная база линейно угловых измерений. Москва, Мир измерений, 2015.

УДК 681.7.023.73

И.С. Савельев, В.И. Слатин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РЕШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ МАСТЕР-ШАБЛОНОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ ОПТИКИ

В настоящее время изготовление элементов рентгеновской оптики является одной из наиболее сложных проблем современного оптического приборостроения. Это в первую очередь относится к процессам финишной обработки мастер-шаблонов, которые построены на методах полирования малоразмерным инструментом. В этих условиях предъявляются одновременно высокие технические требования к точности формы оптических поверхностей и их шероховатости (текстуре поверхности). Принимая во внимание значительные габариты деталей с точки зрения традиционного оптического производства делают задачу изготовления таких элементов только доступной хорошо оснащенным производствам, имеющим в своем распоряжении дорогостоящее оборудование. Номенклатура оптических поверхностей сегодня не велика, что позволяет выстраивать технологические цепочки, ориентированные на определенны вид оптики. Это позволяет реализовывать производство высокоточных оптических изделий на относительно не дорогом оборудовании.

В настоящее время для доводки оптических поверхностей заготовок можно использовать различные технологические приемы [1, 5]. В данной работе для производства цилиндрических асферических поверхностей использовано полирование малоразмерным инструментом. Технологические процессы финишного полирования сегодня достаточно хорошо отработаны и обеспечивают стабильные результаты по параметрам шероховатости (текстуры) обрабатываемых поверхностей. Полирование малоразмерным инструментом обеспечивает удачную комбинацию производительности процесса с приемлимым уровнем качества при оптимальных затратах на технологическое оборудование и средства технологического оснащения.

Реализация технологии полирования малоразмерным инструментом осуществляется сегодня на серийно выпускаемом технологическом оборудовании [2, 4]. По нашим данным применение известного авторам оборудования к решению описываемой задачи требует весьма дорогостоящей адаптации, при этом и цена самого оборудования значительна.

Нами предлагается оригинальный аппаратно-программный комплекс полирования малоразмерным инструментом, ключевым элементом которого является CAM система. В разработанном программном комплексе разработана специальная структура, названная авторами технологической моделью, которая содержит описание, позволяющие определять

текущую форму реза в зависимости от параметров, определяющих функцию. Для формирования технологической модели реализуется ряд вычислительных процедур по обработке серии экспериментов при определении влияния различных параметров на профиль удаляемого материала.

Опыт использования CAM системы 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.

Применение полирования малоразмерным инструментом для финишной обработки поверхностей мастер-шаблонов позволяет решить проблему, имеющуюся у технологии получения мастер-шаблона изгибом [3], а именно повысить скорость сходимости и предсказуемость, а также стабильность итерационного процесса изготовления мастер-шаблонов.

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 рабочий ход. Как правило, приходится осуществлять серию проходов с обязательным промежуточным контролем получающейся поверхности. Скорость сходимости этого процесса можно оценить по данным, представленным на Рис. 1.

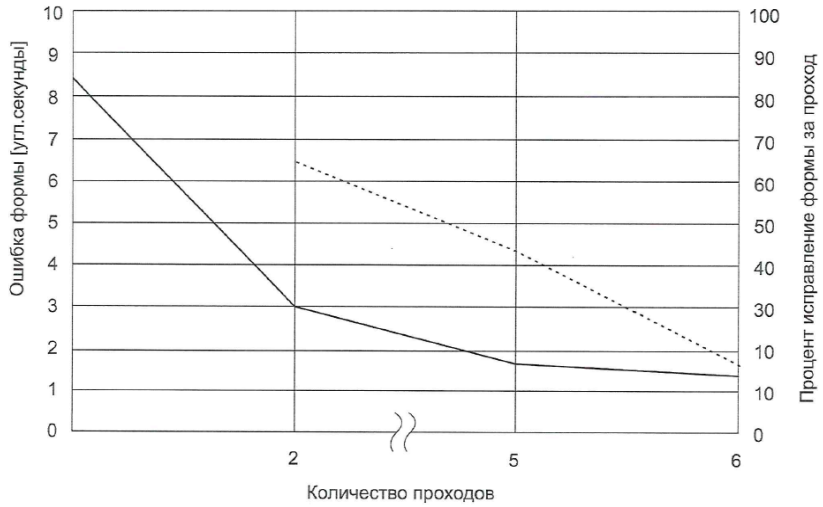


Рис. 1. Сходимость процесса полирования малоразмерным инструментом к заданной поверхности.
Сплошная линия – изменение ошибки формы,
точки – доля суммарного припуска, которую удается удалить за один проход

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 [3], весь процесс практически полностью автоматизирован и хорошо контролируется, что существенно упрощает его реализацию, обеспечивает воспроизводимость результатов и стабильность производства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ахсахалян А.А., Ахсахалян А.Д., Волгунов Д.Г. и др. Изготовление цилиндрических рентгеновских отражателей репликационными методами. Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования.1, 2003, с. 51-54..

2. 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.
3. Ахсахалян А.А., Ахсахалян 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.
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. Jacobs S.D. International Innovations in Optics Finishing. Current Developments in Lens Design and Optical Engineering.// Proc. Of SPIE. V.5623.P.264-272.

УДК 621.822.172

Н.А. Пелевин, В.А. Прокопенко, М.С. Бундур
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ОПОР ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА

В шпиндельных узлах (ШУ) металлорежущих станков (МРС) большими возможностями по сравнению с другими типами опор обладают гидростатические подшипники (ГСП), способные обеспечить повышение уровня их технологических характеристик (статических, энергетических, динамических и т.п.) [1]. Большинство ГСП имеют дроссельную систему управления и четырехопорную схему [2]. В связи с этим важное значение имеет выбор типа дросселя, а также обеспечение одинаковой попарной настройки рабочей точки по давлению [3] противоположно расположенных опор ГСП. В гидросистемах МРС могут использоваться различные типы дросселей: диафрагменный, плоский со спиральными или кольцевыми каналами, игольчатый, винтовой, кромочный, капиллярный, пористый, «сопло-заслонка» (СЗ). Анализ и выбор необходимого варианта должен выполняться по следующим технологическим критериям: простота конструкции, удобство настройки, стабильность и надежность в работе, компактность, режим истечения рабочей жидкости по сопоставлению числа Рейнольдса (Re) с его критическим значением ($Re_{кр}$) при функционировании ГСП в широком диапазоне частот вращения. Наиболее исчерпывающим образом весь комплекс перечисленных параметров удовлетворяется для дросселя типа СЗ, имеющего многократный запас по соотношению $Re_{кр}/Re$ [4].

Цель работы: разработка конструктивных схеми блоков дросселей управления ГСП и гидравлического корректора, выполненного на основе стандартного металлического сильфона и дросселя типа СЗ.

Выполнение требования идентичности настройки дросселей обеспечивается использованием блочной конструкции для одного четырехопорного ГСП, приведенной на рис. 1.

Смазочная жидкость поступает в сопловые камеры *1*, в каждой из которых в крышках *2* установлено по два сопла *3*. Торец сопла и опорная поверхность образуют постоянное гидравлическое сопротивление типа СЗ. Далее жидкость поступает в соответствующую несущую опору ГСП. Рабочее давление в гидростатической опоре определяется величиной гидравлического сопротивления СЗ, которая зависит от значения рабочего зазора ($h_р$). Это значение обеспечивается при настройке путем шлифовки либо опорных поверхностей *А* торца сопла *3* (для увеличения $h_р$), либо поверхностей *Б* крышки *2* (для уменьшения $h_р$). Для исключения выдавливания через рабочий зазор $h_р$ уплотнений *4* должны быть установлены защитные кольца *5* из фторопласта [5].

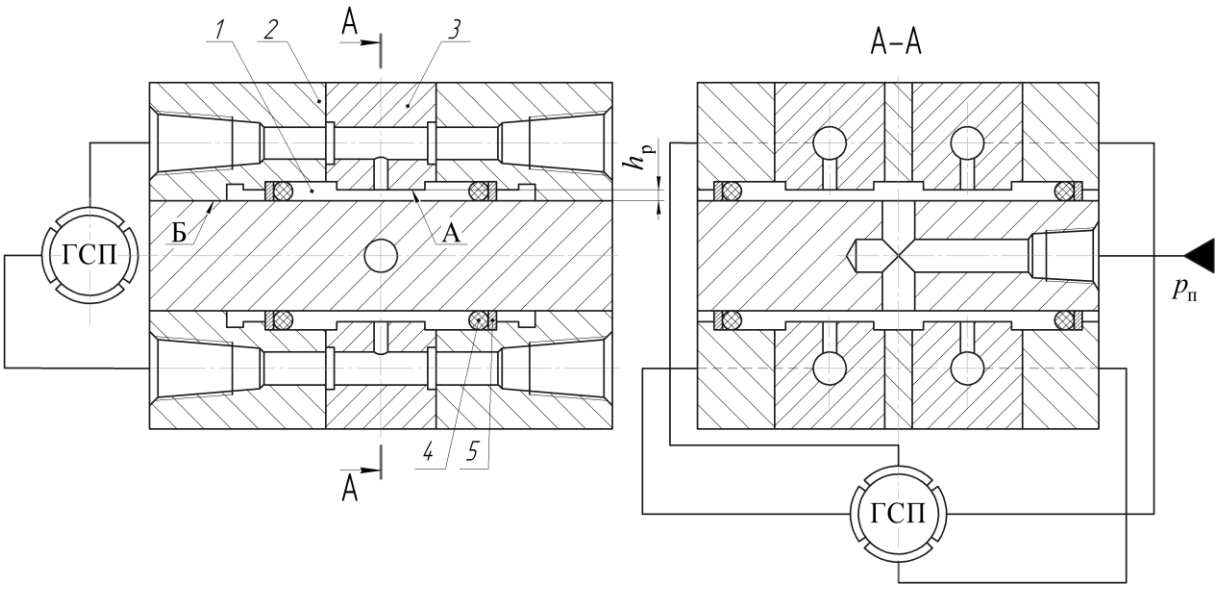


Рис. 5. Конструктивная схема блока дросселей управления ГСП

В отличие от аналогов блок дросселей данной конструкции обеспечивает автоматическую выставку оси шпинделя в центр ГСПпри настройке, а ламинарный режим истечения рабочей жидкости через СЗ делает практически постоянным рабочий перепад давлений на дросселях, что сохраняет нагрузочную способность ГСП и расширяет технологические возможности ШУ.

Кроме управляющих дросселей для повышения динамического качества системы автоматического управления в ГСП должны использоваться корректирующие гидравлические *RC*-цепи [6]. Кроме гидравлической емкости, такая цепь содержит и гидравлическое сопротивление, которое также следует выполнять подобного типа, приведенного в блоке дросселей. На рис. 2 приведена конструктивная схема гидравлического корректора для ГСП, содержащего дроссели СЗ и гидроемкости 6 на основе стандартного металлического сильфона [7], выбор которого зависит от необходимой величины гидроемкости $C_А$ и обусловлен максимальной прочностью по давлению.

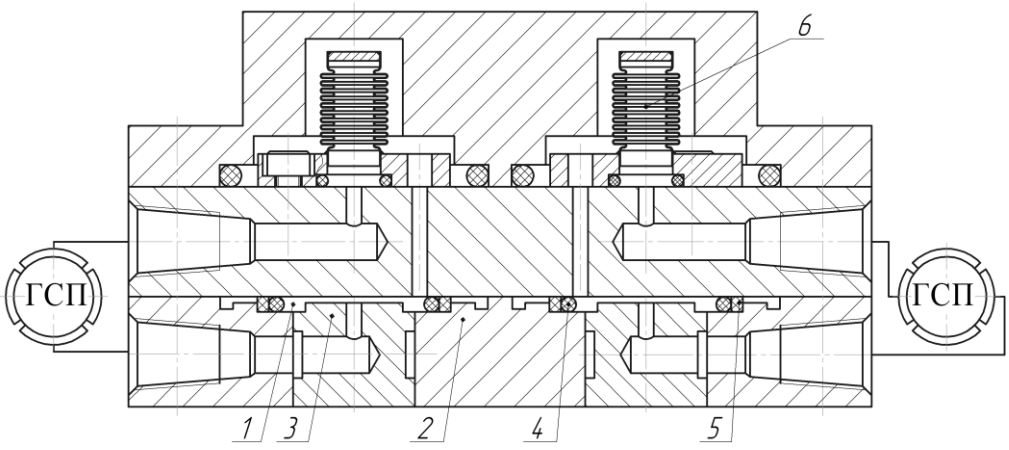


Рис. 6. Конструктивная схема блока гидравлического корректора

Вывод. Конструктивные варианты разработанных управляющих устройств опорами ГСП имеют простую и компактную конструкцию, удобны визготовлении и настройке, отвечают требованию попарной настройки рабочей точки по давлениюи могут быть рекомендованы к применению в системах управления ГСП высокоскоростных ШУ МРС.

ЛИТЕРАТУРА:
1. Молодцов В.В., Чурилин А.В., Бушуев В.В. Опоры высокоскоростных шпиндельных узлов современных станков // Вестник МГТУ "Станкин", Т. 4, № 31, 2014. С. 85-97.
2. Дудески Л., Петков П.П., Прокопенко В.А., Яцкевич А.А. Методические указания по выполнению расчётов и проектированию подшипников современных высокопроизводительных металлорежущих станков. Л: ЛГТУ, 1990. 37 с.
3. Бундур М.С., Прокопенко В.А., Чернов И.А. Металлорежущие станки. Проектирование гидростатических направляющих металлорежущих станков и станочных комплексов. Метод. указания. Сост.: Бундур М.С., Прокопенко В.А., Чернов И.А. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 28 с.
4. Абрамов Е.И., Колесниченко К.А., Маслов В.Т. Элементы гидропривода (Справочник). Киев: Техника, 1977. 320 с.
5. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: справочник. 5-е изд., перераб. и доп. М: Машиностроение, 2008. 640 с.
6. Прокопенко В.А., Яцкевич А.А. Динамические характеристики гидростатических подшипников тяжелых металлорежущих станков // В кн. Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. Л: ЛГТУ, 1990. С. 7-14.
7. Государственный стандарт союза ССР ГОСТ 21482-76 Сильфоны однослойные измерительные металлические. Технические условия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам. 1976.

УДК 621.317.75:519.2

О.В. Миловзоров, П.О. Михайлин
Рязанский государственный радиотехнический университет

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ОБЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ T-FLEX ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНО-ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРАХ

Введение. Разработка средств автоматизации проектирования маршрутно-операционных технологических процессов продолжает оставаться актуальной задачей для многих российских машиностроительных предприятий. В современных условиях для этой цели используются унифицированные САРР-системы, одной из которых является система Т -FLEX Технология, представляющая собой полнофункциональную систему для автоматизации технологической подготовки производства, обладающую гибкими современными средствами разработки технологических проектов любой сложности.

Проблема использования унифицированных САРР-систем заключается в том, что они изначально создавалась под написание технологических процессов обработки на универсальных станках, и не предусматривали возможность использования комплексной обработки деталей на токарно-обрабатывающих и обрабатывающих центрах, в связи с чем возникает задача адаптации системы под написание технологических процессов обработки на токарно-обрабатывающих центрах. В отличие от других унифицированных систем, система T-FLEX Технология содержит инструменты, которые можно использовать для создания полуавтоматических систем проектирования маршрутно-операционных технологических процессов [1-5].

Автоматизация проектирования новых технологических процессов осуществляется на основе общих технологических процессов, являющихся комплексными упорядоченными множествами обобщенных операций и переходов, сформированных путем формализации и объединения маршрутов обработки целого комплекса конструктивно подобных деталей. При этом автоматический отбор нужных операций и переходов для обработки конкретной детали

осуществляется на основе формализованного описания детали набором технологических элементов(ТЭ) и соответствующего комплекса эвристических правил.

Цель работы. Целью данной работы является разработка принципов формализации общего технологического процесса в системе T-Flex Технология для обработки крупногабаритных деталей на токарно-обрабатывающих центрах, которые в дальнейшем смогут стать основой разработки соответствующей САПР маршрутно-операционных технологических процессов.

Рассмотрим принципы формализации общего техпроцесса для крупногабаритных деталей типа «Цилиндр», один из образцов которых представлен на рисунке 1. Конструктивно данная деталь представляет собой сочетание простых геометрических форм, что дает возможность получить технологичную заготовку и использовать высокопроизводительные методы механической обработки. Масса готового изделия составляет M= 4086 кг, а наибольший диаметр D = 800 мм. Для деталей такого типа большой и трудной задачей становиться поиск подходящего оборудования, выбор прогрессивного режущего инструмента, контрольно-измерительных приборов, оснастки. Сложность такого изделия заключается также в точном позиционировании его в станке. Из-за больших габаритов и наличия внутренних отверстий большой глубины традиционный технологический процесс ее обработки предусматривает использование нескольких станков, однако с учетом возможностей современных обрабатывающих центров обработку таких деталей можно осуществлять на одном станке, примером которого может служить многофункциональный токарный станок с ЧПУ «GEMINISGHT11 G2», обладающий большим инструментальным магазином и рабочей зоной обработки.

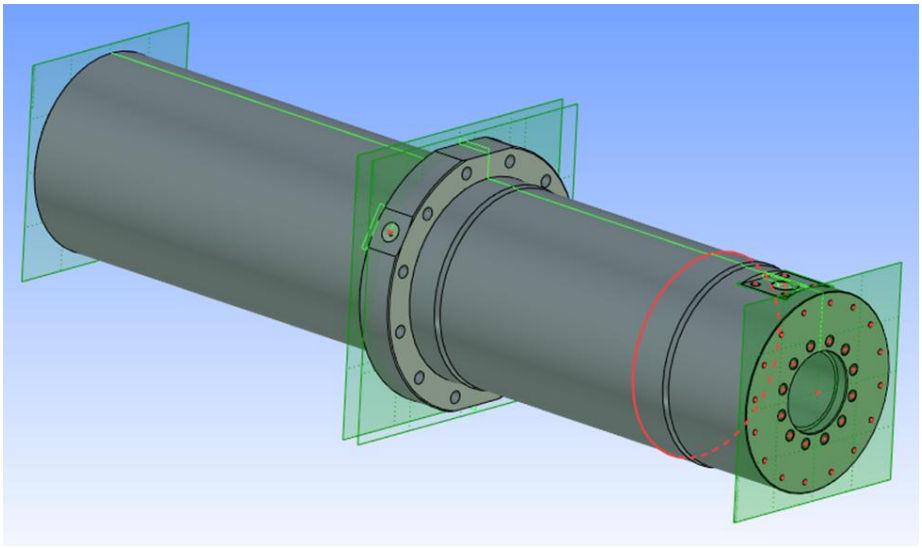


Рисунок 1. – деталь «Цилиндр»

В этом случае обобщенный маршрут обработки таких деталей можно представить в следующем виде:

005 Заготовительная
010 Токарная с ЧПУ (черновая обработка) установ (А)
015 Токарная с ЧПУ (черновая обработка) установ (Б)
020 Глубокорасточная (черновая обработка) установ (Б)
025 Токарная с ЧПУ (черновая обработка) установ (А)
030 Токарная с ЧПУ (черновая обработка) установ (Б)
035 Токарная с ЧПУ (получистовая обработка) установ (А)
040 Токарная с ЧПУ (получистовая обработка) установ (Б)

045 Глубокорасточная (получистовая обработка) установ (Б)
050 Токарная с ЧПУ (получистовая обработка) установ (А)
055 Токарная с ЧПУ (получистовая обработка) установ (Б)
060 Токарная с ЧПУ (чистовая обработка) установ (А)
065 Токарная с ЧПУ (чистовая обработка) установ (Б)
070 Глубокорасточная (чистовая обработка) установ (Б)
075 Токарная с ЧПУ (чистовая обработка) установ (А)
080 Токарная с ЧПУ (чистовая обработка) установ (Б)

Для обработки конкретных деталей из обобщенного маршрута будет осуществляться отбор только необходимых операций на основе соответствующих эвристических условий, основанных на анализе состава ТЭ и точности их обработки.

Основными типами ТЭ, описывающих информационную модель детали, являются следующие наружные (нр) и внутренние (вн) поверхности (группы поверхностей): НрЦилиндрическая, НрТорцовая, НрЛыска, ВнФаска, ВнЦилиндрическая, ВнОтверстие параллельное, ВнОтверстие перпендикулярное. Для идентификации конкретного ТЭ при наличии у детали нескольких ТЭ одного типа вводится их нумерация. Для описания геометрии и точности обработки введем следующую систему основных параметров:

Имя параметра	Описание параметра	Имя параметра	Описание параметра
D1	Диаметр черновой обработки	F	Угол
D2	Диаметр получистовой обработки	G	Длина фаски
D3	Диаметр чистовой обработки	H	Шаг резьбы
D4	Диаметр тонкой обработки	K	Количество отверстий
DC	Диаметр	Sh	Шероховатость
DP	Предварительный диаметр отверстия	E	Номер поверхности на операционном эскизе
L	Глубина отверстий	L1	Конечная глубина отверстий
M	Резьба	P	Размер фаски
V	Радиус	Z	Выдерживаемый размер
X	Выдерживаемый размер	Y	Выдерживаемый размер

На основе системы параметров формируются шаблоны текстов переходов. Вспомогательные переходы к параметрам не привязываются, их выбор осуществляется при наличии хотя бы одного выбранного обрабатывающего перехода. Отдельные примеры обрабатывающих переходов приведены ниже:

«Подрезать торец диаметром {DC} до {DC1} начерно {D1} и шероховатостью {Sh}»;

«Точить диаметр {DC2} до {DC3} с подрезкой торца в размер {Z} начерно {D1} и шероховатостью {Sh}»;

«Подрезать торец в размер {Z1} до центра начерно {D1} и шероховатостью {Sh}»:

«Точить {DC4} до {DC5} с подрезкой торца в размер {Z2} начерно {D1} и шероховатостью {Sh}»;

Некоторые обрабатывающие переходы не содержат параметров, но привязаны к соответствующему технологическому элементу:

«Зачистить шейки под люнет».

Вывод. Предложенная система формализации на базе общих технологических процессов, обобщенного маршрута обработки крупногабаритных деталей типа «Цилиндр»,

системы ТЭ и их параметров, а также набора эвристических условий позволяет осуществлять разработку конкретных технологических процессов на базе ПК T-Flex Технология.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. САПР маршрутно-операционной технологии тел вращения на базе комплекса T-FLEX//Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XX Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. 2015. С.163-165.
2. Миловзоров О.В. Реализация принципов синтеза технологических процессов из обобщенной структуры на базе системы T-Flex Технология//Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. №.54-1. С.133-138.
3. Миловзоров О.В., Тарабрин Д.Ю. Обобщенная структура как средство автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № S1. С. 59-66.
4. Миловзоров О.В. Особенности автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-Flex Технология//Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016. Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 томах / Рязанский государственный радиотехнический университет; под общей редакцией О.В. Миловзорова. 2016 (Том. 1)
5. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. Автоматизированное проектирование технологических процессов в системе T-FLEX Технология: учеб. пособие. Рязань: Рязанский институт (филиал) Университета машиностроения, 2013. 63 с.

УДК 658.512.4.07

И.Н. Хрусталева, С.А. Любомудров
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ЗАДАННОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ ДЕТАЛЕЙ

Введение. Технологическая подготовка производства (ТПП) является неотъемлемой частью организации машиностроительного предприятия. К основным задачам, решаемым на этапе технологической подготовкой производства, относятся выбор оптимальных методов формообразования поверхностей и средств технологического оснащения (технологическое оборудования, установочно-зажимные и контрольно-измерительные приспособления, режущий инструмент), которые обеспечивали бы выпуск продукции, соответствующей заданным параметрам качества. Одна и та же номенклатура деталей может быть изготовлена с использованием различных методов формообразования и средств технологического оснащения. Поэтому выбор рационального варианта производственного процесса должен основываться на оптимальном сочетании экономических параметров и параметров качества производимой продукции (точность обработки). Практическая реализация всех возможных вариантов производственного процесса обработки заданной номенклатуры деталей в производственных условиях невозможна. Поэтому, наиболее рациональным методом выбора оптимального варианта будет являться метод имитационного моделирования. В научной литературе [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] описываются модели, в которых определение оптимального варианта основывается на анализе только экономических параметров.

Цель работы - разработка имитационной модели для определения оптимального варианта производственного процесса на основе анализа экономических параметров и параметров качества.

Разработанная имитационная модель базируется на принципах модульного подхода в машиностроении и состоит из пяти этапов (рис. 1). На первом этапе производится формирование допустимых вариантов обработки отдельных деталей. Допустимые варианты обработки для отдельных деталей формируются на основе различных сочетаний методов формообразования и используемых средств технологического оснащения, применяемых при обработки модулей поверхностей, входящих в их состав.

На втором этапе производится оценка качества изготавливаемой продукции на основе расчета суммарной погрешности обработки, которая определяется по формуле [9]:

$$\Delta = f(\varepsilon, \Delta_y, \Delta_u, \Delta_н, \Delta_T, \sum \Delta_ф) \quad (1)$$

Где ε – погрешность, связанная с установкой заготовки на металлорежущий станок или приспособление, мкм; Δ_y – погрешность, вызванная упругими деформациями технологической системы, мкм; Δ_u – погрешность, возникающая в результате размерного износа режущего инструмента, мкм; $\Delta_н$ – погрешность, связанная с настройкой режущего инструмента, мкм; Δ_T – погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы, мкм; $\sum \Delta_ф$ – погрешность, связанная с геометрическими отклонениями оборудования, мкм.



Рис. 1. Схема имитационной модели для определения оптимального варианта производственного процесса обработки заданной номенклатуры деталей

Задачей третьего этапа моделирования является формирование всех возможных вариантов производственного процесса обработки заданной номенклатуры деталей. Каждый вариант производственного процесса представляет собой различное сочетание технологических маршрутов обработки отдельных деталей.

На четвертом этапе производится моделирование каждого варианта производственного процесса с использованием теории массового обслуживания (ТМО). В качестве модели на

данном этапе будет выступать сеть массового обслуживания (СМО), узлами которой будут являться системы массового обслуживания (СМО). Задачей данного этапа моделирования является определение следующих параметров: количество единиц технологического оборудования в каждом узле сети, производительность сети, среднее время ожидания заявок в очереди, среднее время пребывания заявок в сети, средние нагрузка и загрузка сети.

На пятом этапе моделирования производится выбор оптимального варианта производственного процесса. Выбор оптимального варианта можно разделить на два этапа. На первом этапе формируется множество оптимальных решений на основе метода Парето – *парето-оптимальные решения*. На втором этапе из множества парето-оптимальных решений производится выбор наилучшего варианта производственного процесса на основе метода "идеальной точки". Под идеальной точкой понимают такой вектор, компоненты которого являются максимумами частных критериальных функций по отдельности [10]. Для определения расстояния до идеальной точки была использована формула взвешенного евклидова расстояния [11]:

$$d_{eE}(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^{p} w_k (x_i^{(k)} - x_j^{(k)})^2} \quad (2)$$

где d_{eE} – взвешенное евклидово расстояние, $x_i^{(k)}$- значение *k*-ого свойства объекта *i*, $x_j^{(k)}$- значение *k*-ого свойства объекта *j*, w_k- "вес" *k*-ого критерия, *p* – количество критериев.

Наилучшим вариантом производственного процесса будет считаться вариант с минимальным значением взвешенного евклидова расстояния.

Выводы. Разработанная имитационная модель позволяет выбрать оптимальный вариант производственного процесса и производственной структуры на основе многокритериального анализа с учетом важности каждого критерия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Введение в экономико-математическое моделирование. Лотов А.В. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984.-392 с.
2. Иозайтис В.С., Львов Ю.А. Экономико-математическое моделирование производственных систем: Учеб. пособие для инженерно-экономических спец. вузов. –М.: Высш. шк., 1991.-192с.: ил.
3. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3е изд. – СПб.: Питер, Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.: ил.
4. Кузьмин В.В. Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения: Учеб. пособ. для вузов / В.В. Кузьмин, А.Г. Схиртладзе. – М.: Высш. шк., 2008.-279 с.: ил.
5. Моделирование сложных систем, Бусленко Н.П., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", М., 1968, 356 стр.
6. Имитационное моделирование производственных систем/Под общ. ред. чл.-кор. АН СССР А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1983. – 416 с., ил.
7. Амелин С.В. Методы моделирования производственных систем: учеб. пособие \ С.В. Амелин, Н.М. Подоприхин. Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. - 203 с.
8. Robert E. Shannon. System simulation: the art and science. Prentice-Hall Inc, 1975.- 387 p.
9. Основы технологии машиностроения: Этапы проектирования и точность технологических процессов: Учеб. пособие / Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, С.Л. Мурашкин, и др.; Под ред. С.Л. Мурашкина – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 408 с.
10. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решения: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. -197 с.
11. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрика / С.А. Айвозян, В.С. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 1005 с.

УДК 621.81

П.П. Петков, Г.В. Поротиков
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ШТАНГОВОГО НАСОСА С ЗУБЧАТО-РЕЕЧНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

Для подъема нефти штанговыми насосами в скважину опускают трубы, внутри которых находятся цилиндр и всасывающий клапан. В цилиндре перемещается вверх и вниз плунжер с нагнетательным клапаном. При движении плунжера вверх нагнетательный клапан закрыт, так как на него давит жидкость, находящаяся в насосных трубах, а всасывающий клапан открыт. При движении плунжера вниз нижний всасывающий клапан закрывается, а верхний нагнетательный клапан открывается. Жидкость из цилиндра переходит в пространство над плунжером. Постепенно поднимаясь, нефть выходит на поверхность. Возвратно поступательное движение передается плунжеру от балансира станка-качалки, с которым плунжер соединен системой стальных насосных штанг. Применяемые до сих пор станки-качалки с приводом от кривошипно-шатунного механизма являются достаточно громоздкими и малотранспортабельными, занимают большую площадь, их установка и монтаж затруднительны.

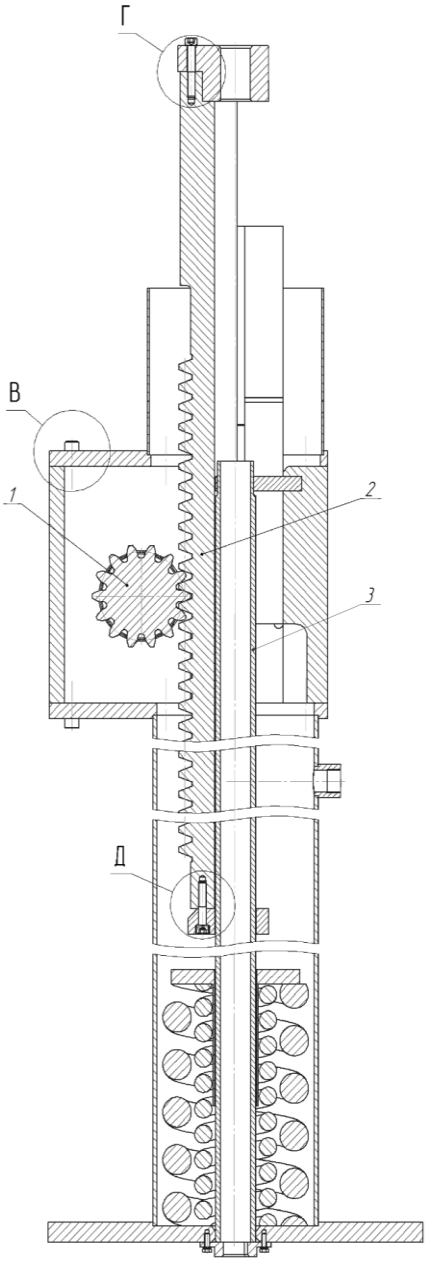


Рис. 1.

Цель работы: повышение эффективности добычи нефти из глубинных скважин посредством использования штангового насоса с новым усовершенствованным приводом.

В данной работе спроектирован привод насоса с использованием мотор-редуктора [1] и зубчато-реечной передачи состоящей из вала-шестерни *1* и рейки *2* (рис. 1) для осуществления возвратно поступательного движения плунжера насоса. Рейка связанна со штоком (не показан) насоса, проходящим через трубу *3*. Вращение вала-шестерни осуществляется от мотор-редуктора, состоящего из асинхронного двигателя мощностью 30 кВт и частотой вращения 1440 об/мин, взрывозащитного исполнения, отечественного производства и цилиндроконического редуктора А803 отечественной сборки из комплектующих итальянской фирмы Bonfiglioli [2] с передаточным числом 24,5 и частотой вращения на выходе 60 об/мин.

При длине рабочего хода L=1800 мм скорости перемещения штока 0,3 м/с (18 м/мин) число двойных ходов $n = 500 \times 18 / 1800 = 5$ дв.х./мин.

Регулирование скорости перемещения, а также реверс и торможение осуществляется с помощью частотного преобразователя [3] Active 401-33A производства фирмы Vectron Германия.

Технические характеристики привода [2] приведены в таблице.

Таблица 1

Технические характеристики привода

Характеристика	Значение
Скорость движения рейки, м/сек	до 0,3
Подъемная сила рейки, Н	До 100000
Рабочий ход рейки, мм	1800
Ориентировочная мощность двигателя, кВт	30
Передаточное число редуктора	24,5
Частота вращения на выходном валу, об/мин	60
Межосевое расстояние зубчато-реечной передачи, мм	50,8±10
Общий вес конструкции, кг	750

Требуемую мощность двигателя N определим по формуле:

$$N = F \cdot V/1000,$$

где F – сила, Н, V -скорость перемещения, м/с.

Тогда $N = F \cdot V/1000$ = 100000х0,3/1000 = 30 кВт.

Параметры зубчато-реечной передачи выбраны с учетом кинематических и прочностных характеристик передачи [5]. Модуль m = 8, число зубьев шестерни z = 14. При этом возникла необходимость введения коррекции при нарезания зубьев шестерни. С учетом числа зубьев шестерни и угла наклона зубьев шестерни, равном 0 (прямозубая передача) коэффициент смещения x = 0,2, а величина смещения $m{\cdot}x$ = 8·0,2 = 1,6 мм

Конструктивно шестерня выполнена в виде вала-шестерни, который монтируется в отверстие выходного вала редуктора с диаметром 70 мм и шпоночным пазом шириной 20 мм.

Вывод. В результате выполненной работы спроектирован привод для штангового насоса с требуемыми кинематическими и энергосиловыми характеристиками, отличающийся компактностью, транспортабельностью и приемлемой стоимостью.

ЛИТЕРАТУРА:

1. О.В. Хорошинин, П.П. Петков, Е.А. Бурмистров. Индустриальные редукторы: перераспределение спроса // Конструктор-Машиностроитель, №2. 2015. С. 34-35.

2. П.П. Петков, А.И. Веденина. Модернизация привода главного движения горизонтально-фрезерного станка модели 6М82 // Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Часть 1. – СПб: Изд-во Политехи, ун-та. 2015. С.277-279.

3. М.С. Бундур, П.П. Петков. Применение частотных преобразователей в приводах главного движения металлорежущих станков //Конструктор-Машиностроитель, март 2008. С.20-22.

4. М.С. Бундур, П.П. Петков. Итальянские приводы с русской душой // Конструктор-Машиностроитель, №3, 2015 С. 18.

5. А.В. Табенихин, П.П. Петков, Е.А. Бурмистров, А.В. Матвеев. Компактность, точность и высокий крутящий момент//Конструктор-Машиностроитель, №5. 2015. С. 12-13.

УДК 621.822.172

Н.А. Пелевин, В.А. Прокопенко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОСТИ

Для повышения конкурентоспособности станкостроительной продукции необходимо постоянно внедрять новые конструктивные решения и технологии. При увеличенных требованиях к жесткости, нагрузочной способности, точности и виброустойчивости станка и, в частности,к его шпиндельному узлу (ШУ) наиболее значимым при проектировании и модернизации оборудования является обоснованный выбор типа подшипниковых опор, наилучшими характеристиками из которых обладают гидростатические подшипники (ГСП) [1]. При конструировании ГСП, с учетом статических характеристик и тепловых процессов на максимальных частотах вращения шпинделя, параметры опор ГСП получаются, как правило, не соответствующими требованиям нормали станкостроения Н20-6 из-за достаточно узких дросселирующих перемычек опор. По этой причине динамическое качество (ДК) [2] системы автоматического регулирования (САР) ГСП получается низким. Для его повышения необходимо производить воздействие различными средствами на САР ГСП, например, путем введения в систему управления (СУ) корректирующего устройств, так называемых *RC*-цепей (C_A – гидравлическая емкость и R_A – гидравлическое сопротивление). Выбор параметров (C_A и R_A) представляет некоторые сложности [3], в том числе для области высокого ДК, так как имеет место неоднозначность их определения (для различных точек фазового градиента [4] показатели ДК САР − одинаковые). В известной статье произведен выбор и качественный анализ показателей полученных асимптотических характеристик. При этом количественная оценка, например, по показателю колебательности (M), в ней не рассмотрена.

Цели работы: разработать методику определения параметров *RC*-коррекции на основе моделирования динамики САР ГСП и количественную оценку ДК по показателю колебательности *M*.

Для выполнения расчетов и исследований приняты исходные параметры серийного гибкого производственного модуля ЛР520ПМФ-4 [3].

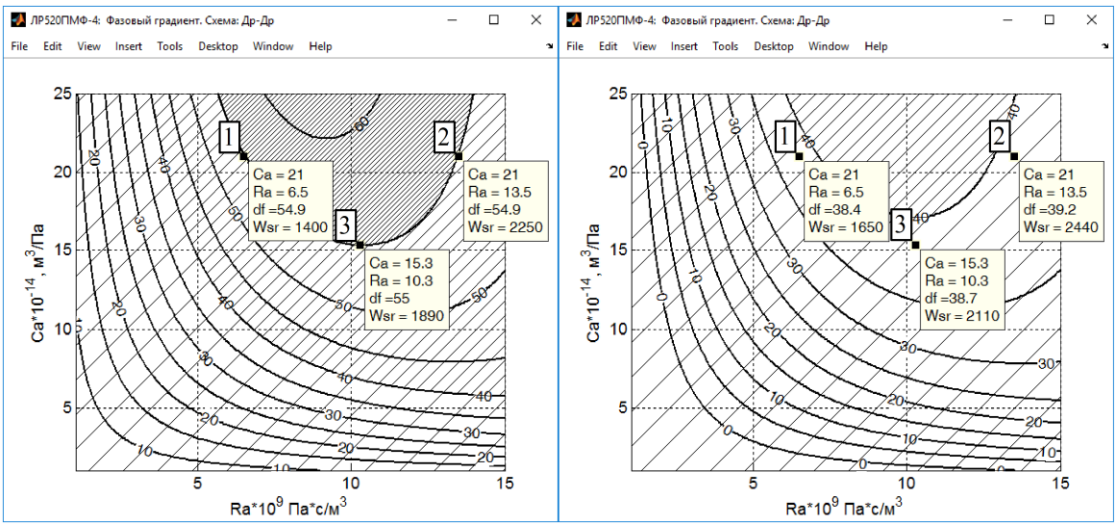
Определение параметров коррекции на первом этапе осуществляется построением в пакете MATLAB градиента [4] запаса по фазе $\Delta\varphi=grad(C_A; R_A)$ при малой частоте (n_{min}) вращения шпинделя (рис. 1, *а*), где параметры приведены в обозначениях MATLAB: Ca=C_A, Ra=R_A, df=$\Delta\varphi$ – запас устойчивости по фазе, Wsr=$\omega_{ср}$– частота среза ЛАЧХ.

Особый интерес представляет исследование динамики САР ГСП в области высокого ДК. Например, когда фазовый градиент имеет вид, как на рис. 1, *а*, существует неоднозначность в определении параметров *RC*-коррекциипо кривой $\Delta\varphi=55°$ [2]. При этом, отмечены 3 точки на одной кривой (варианты сочетания параметров коррекции R_A и C_A, рис. 1, *а* для проведения дополнительной оценки ДК САР по показателю *M*.

Второй этап требует построения асимптотических ЛАЧХ. Достаточно удобно и быстро выполнить построение таких характеристик в Mathcad, который не требует написания и применения специфических скриптов в отличие от MATLAB. На рис. 2, *а* приведены ломаные ЛАЧХ для исследуемых вариантов, полученные по программе [5] GSP3DYN.

Согласно [6], необходимо и достаточно иметь показатель M=1,1-1,3, который соответствует очень хорошему демпфированию системы и перерегулирования в ней весьма малы. Для расчета показателя M использовано выражение, $T_1 \geq M\,(\omega_{ср}\,(M\text{-}1))^{-1}$[7], тогда: $M = (1\text{-}1/T_1\omega_{ср})^{-1}$, где $\omega_{ср}$ – частота среза асимптотической ЛАЧХ, T_1 – постоянная времени

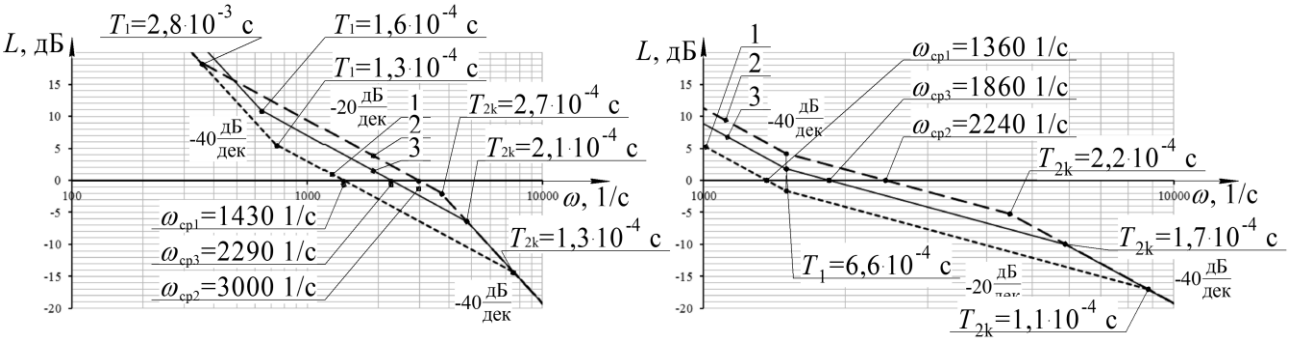
(отмечена на рис. 2, *а*). Выполнен расчет показателя колебательности *M* для трех вариантов ломаных (табл.), соответствующих рис. 2, *а*.



а) б)

Рис. 7. Фазовый градиент САР ГСП при: а) n_{min}; б) n_{max}

Анализ табл. показывает, что для варианта 2 с параметрами коррекции R_A=13,5·10^9 Па·с/м^3, C_A=21·10^{-14} м^3/Па показатель *M* попадает в упомянутый диапазон, это указывает на очень хорошее демпфирование САР ГСП. В подтверждении приведенных соображений построены переходные процессы (ПП) [3] в пакете MATLAB для исследуемых вариантов (рис. 3, *а*, *б*). На ПП САР варианта 2 отсутствуют какие-либо признаки колебательности как на малых (рис. 3, *а*), так и на больших (рис. 3, *б*) нагрузках (R_h).



а) б)

Рис. 8. Асимптотические ЛАЧХ для трех вариантов при: а) n_{min}; б) n_{max}

Для чистового режима [8] работы (n_{max}), при котором из-занагрева рабочей жидкости соответствующее значение Δφ снижается, но при этом особенно требуется повышенное демпфирование. Градиент запаса по фазе представлен на рис. 1, *б*. И из его анализа следует, что кривые, соответствующие уровням Δφ по R_A и C_A, изменили свое положение. Отмеченным вариантам соответствуют Δφ=38-39°, что говорит о невысоком [2] ДК, поэтому необходимо выполнить проверку выбранных параметров коррекции R_A и C_A. На рис. 2, *б* приведены соответствующие асимптотические ЛАЧХ, а показатели *M* приведены в таблице.

Из анализа таблицы следует, что все величины *M* не попадают в упомянутый диапазон. Для варианта 1 выполнить расчет *M* не представляется возможным, так как постоянная T_1 находится ниже пересечения ломаной оси частот, при этом наклон ЛАЧХ (1) на частоте $\omega_{ср}$=-40 дБ/дек. И указывает на то, что САР колебательная. Сказанное подтверждается ПП,

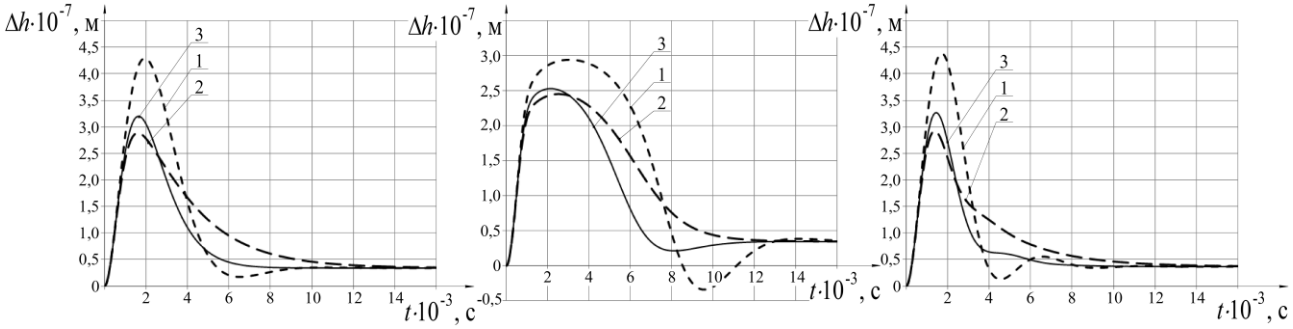
приведенными на рис. 3, *в*: для варианта 1 – ПП колебательный, для варианта 3 – имеются признаки колебательности, а для варианта 2 колебательность отсутствует.

Таблица.

Показатели колебательности *M* для вариантов коррекции

Вариант по рис. 1	Параметры коррекции		*M*при n_{min}	*M*при n_{max}
	R_A	C_A		
1	6,5	21	1,8	–
2	13,5	21	1,1	2,6
3	10,3	15,3	1,5	2,9

Из вышесказанного следует, что в условиях снижения ДК показатель колебательности *M* не удовлетворяет требованиям диапазона *M*=1,1-1,3. При этом такая САР обладает лучшими показателями ДК при меньшей величине *M* и видимые колебания на ППотсутствуют.



а) б) в)

Рис. 9. ПП для трех вариантовпри: а) R_h=100 Н и n_{min}; б) R_h=10 кН и n_{min}; в) R_h=100 Н и n_{max}

Вывод. Разработана двухэтапная методика выбора параметров *RC*-коррекции, в конечном итоге, позволяющая выполнять количественную их оценку и сравнение корректированных САР ГСП по показателю колебательности *M*, которая не требует значительных объемов вычислений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Молодцов В.В., Чурилин А.В., Бушуев В.В. Опоры высокоскоростных шпиндельных узлов современных станков // Вестник МГТУ "Станкин", Т. 4, № 31, 2014. С. 85-97.

2. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. М: Машиностроение, 1983. 608 с.

3. Бундур М.С., Прокопенко В.А., Пелевин Н.А. Прогнозирование динамического качества шпиндельных гидростатических подшипников при учете энергетических процессов // Металлообработка, Т. 92, № 2, 2016. С. 56-63.

4. Пелевин Н.А., Прокопенко В.А., Чернов И.А. Графо-аналитический метод выбора параметров коррекции гидростатических подшипников с помощью среды MATLAB // Теория механизмов и машин, № 2, 2015. С. 13-22.

5. М.С. Бундур, Н.А. Пелевин, П.П. Петков, В.А. Прокопенко. Расчет, моделирование и конструирование оборудования с компьютерным управлением : практикум. СПб.: Изд-во Политехн., 2016. 56 с.

6. Бесекерский В.А., Попов Е. Н. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, пере раб. и доп. СПб: Изд-во «Профессия», 2003. 752 с.
7. Бороденко В.А. Построение асимптотической ЛАЧХ в MATLAB // Вестник ПГУ, № Энергетическая серия №1, 2014. С. 8.
8. Бундур М.С., Пелевин Н.А., Прокопенко В.А. Компьютерные исследования энергетической модели жидкостного подшипника в MATLAB // Материалы международной конференции «Теория и практика современной науки» 7-11 сентября 2015. Зальцбург, Австрия, 2015. С. 22-26.

УДК 621.9.02

А.М. Трунин, Ю.М. Панкратов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ШЛИЦЕВЫХ ВАЛОВ

При проектировании червячных фрез для нарезания шлицевых валов необходимо указать радиус начальной окружности r_{w1} (рис. 1) [1, 2]. При большой номенклатуре шлицевых волов неудачный выбор r_{w1} приведет к подрезанию профиля. Целью работы является вывод на экран не только чертежа половины профиля шлицевого вала в масштабе, но и вывод на этот экран размера радиуса минимальной начальной окружности $r_{w1\ min}$, при которой не будет подрезания профиля ни на одном его участке (рис. 2).

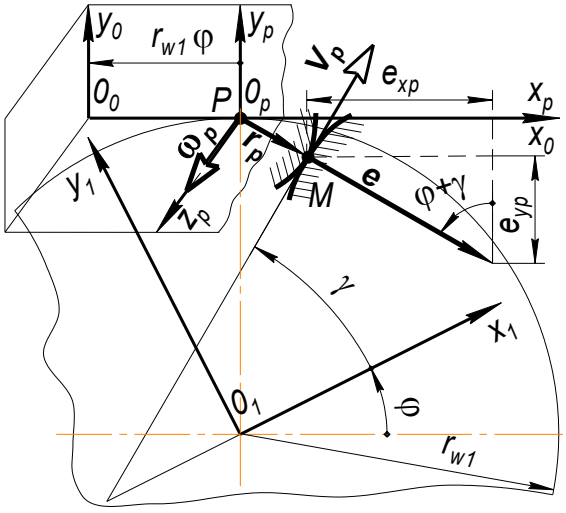


Рис. 1

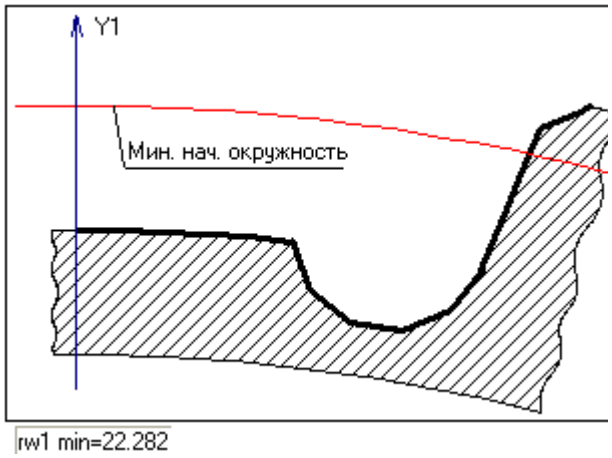


Рис. 2

Уравнение связи $e_p \cdot v_p = 0$ было составлено в неподвижной системе S_p полюса зацепления: [3, 4] (рис. 1). Проекции орта нормали на координатные оси системы S_p определятся как

$$\left.\begin{aligned} e_{xp} &= \sin(\phi+\gamma) \\ e_{yp} &= -\cos(\phi+\gamma) \end{aligned}\right\},$$ где γ - угол наклона касательной в системе S_1 в *i*-ой контактной точке;

φ - угол поворота системы S_1, при котором эта точка станет контактной.

Скорость относительного движения рассчитана векторный способом, как $v = v^{(1)} - v^{(0)}$, где $v^{(1)}$, $v^{(0)}$ - скорости в системе координат детали и инструмента в контактной точке взаимоогибаемых профилей, связанных с системами S_1 и S_0 соответственно. При обкатке

центроид колеса и рейки вектор мгновенной угловой скорости ω_p приложен в точке полюса P и направлен вдоль оси z_p системы S_p. Тогда линейная скорость V_p относительного движения в точке контакта M в системе S_p определится как $V_p=\omega_p \times r_p$, где r_p - радиус-вектор точки M контакта в S_p. Запишем V_p в проекциях на координатные оси: $V_{\mathbf{p}} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \omega_{xp} & \omega_{yp} & \omega_{zp} \\ x_p & y_p & z_p \end{vmatrix}$.

Положим угловую скорость равной 1 рад/с. Тогда V_p можно записать как $V_p = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & 1 \\ x_p & y_p & z_p \end{vmatrix}$.

Отсюда по правилу Саррюса: $\left.\begin{matrix} V_{xp} = -y_p \\ V_{yp} = x_p \end{matrix}\right\}$. После подстановки получим - $sin(\varphi+\gamma)\cdot y_p$ - $cos(\varphi+\gamma)\cdot x_p = 0$.

В этом уравнении x_p и y_p представляют координаты профиля детали в системе полюса S_p.

Их можно определить как $r_p=M_{p1}\, r_1$, где M_{p1} - матрица перехода от системы детали S_1 к системе S_p. Разрешим его относительно угла φ, при котором данная точка станет контактной:

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{x_1 \cos\gamma + y_1 \sin\gamma}{r_{w1}}\right) - \gamma .$$

r_{w1} =14

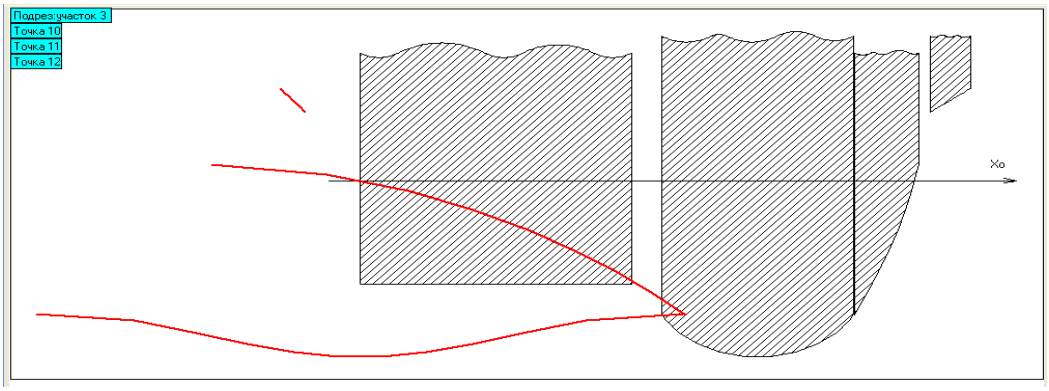


Рис. 3

r_{w1} =15

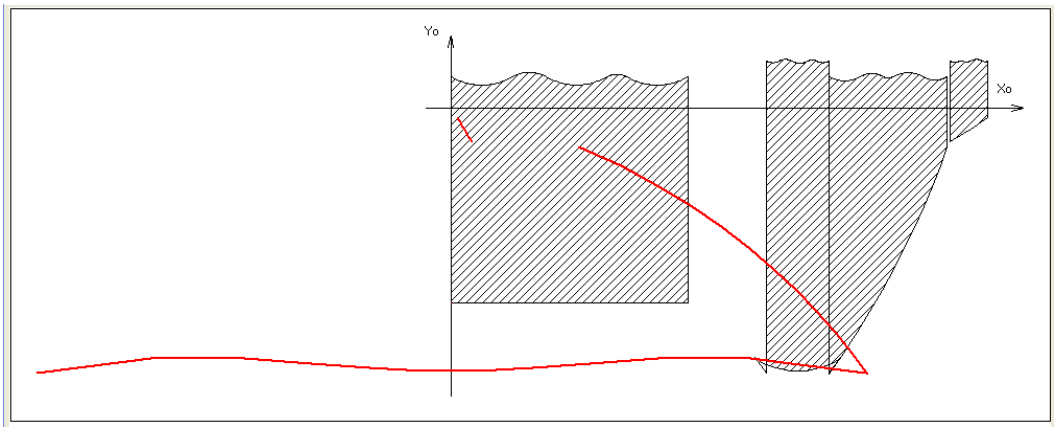


Рис. 4

На рис. 3 показан профиль зуба червячной фрезы и линия профилирования (на экран выводится красным цветом) при радиусе начальной окружности r_{w1}=14 мм. Профиль зуба фрезы хотя и разорван, профиль шлицевого вала будет обработан правильно. На рис. 4 показан профиль зуба фрезы при радиусе начальной окружности r_{w1}=15 мм (т.е. всего на один 1мм больше), при этом можно заметить, что произошло самопересечение профилей на смежных участках зуба фрезы, следовательно профиль шлицевого вала будет испорчен. И это при увеличении r_{w1} всего на 1 мм.

В результате работы можно визуально убедиться, что на профиле фрезы не будет участков с самопересечением профилей и, следовательно, профиль шлицевого вала будет обработан правильно.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. -М.: Наука, 1968. -584 с.
2. Фрайфельд И.А. Инструменты, работающие по методу обкатки. Л.: Машгиз, 1948. -252 с.
3. Панкратов Ю.М. Профилирование обкатных инструментов. -СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2010, -158 с.
4. Панкратов Ю.М. САПР режущих инструментов.- СПб.:Изд-во «Лань», 2013.-336 с.

УДК 621.822.172

Н.А. Пелевин, В.А. Прокопенко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ ПРИ УЧЕТЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Жесткость (нагрузочная способность) гидростатических подшипников (ГСП) определяется путем статических расчетов по методике, разработанной в СПбГТУ [1] с учетом рекомендаций ЭНИМС [2]. Определяющим жесткость параметром является эффективная площадь опоры ГСП. Ее расчет обычно сводится к расчету опоры (рис. 1, *а*), представляющий собой развертку ГСП на плоскости,при этом цилиндричность (рис. 1, *б*) опоры практически не учитывается. Ввиду этого представляют интерес сравнительные расчеты нагрузочной способности ГСП и динамических показателей для обоих вариантов (вариант 1– плоский, вариант 2 – цилиндрический).

Цель работы.Выполнить сравнительные расчеты и исследования плоской и цилиндрической вариантов опор рассматриваемых ГСП.

Так как давление в кармане ($p_к$) ГСП является постоянной величиной, то при статических расчетах реакция опоры зависит от площади самого кармана и дросселирующих перемычек: продольной (П) и торцевой (Т). При этом эффективная площадь ($F_{эф}$)для варианта 1 с учетом эпюры давления при дросселировании жидкости на рассматриваемых перемычках определяется зависимостью:

$$F_{эф} = F_1 + 2 \cdot F_2 \cdot 0,5 + 2 \cdot F_3 \cdot 0,5,$$

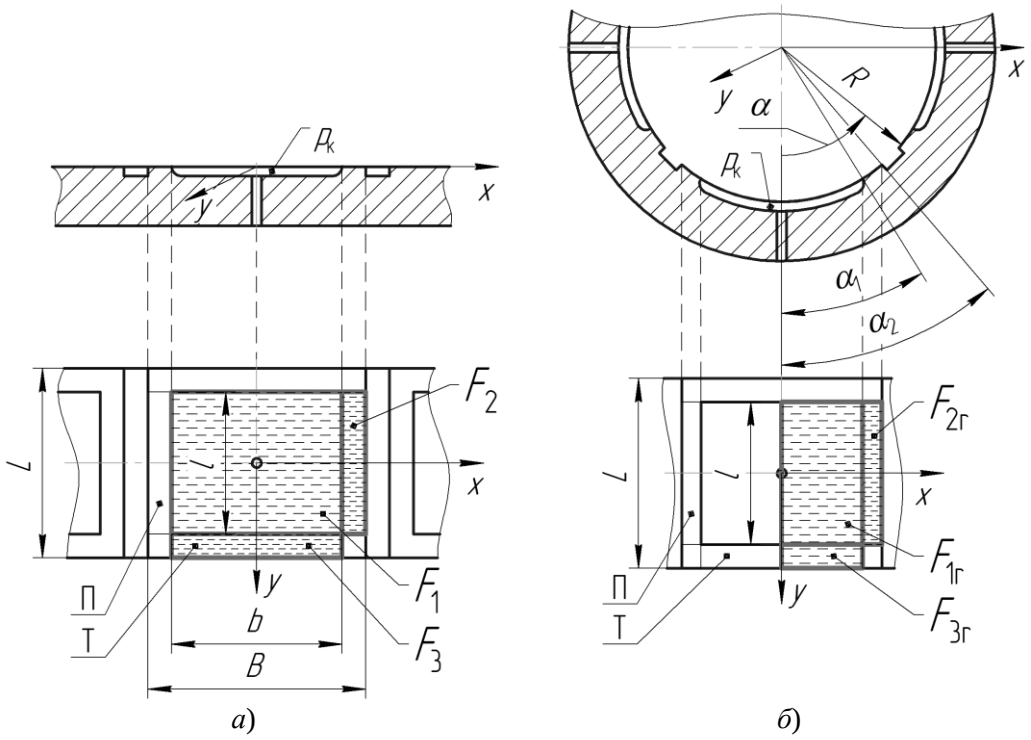
где: F_1 − геометрическая площадь кармана, F_2 − продольной перемычки, F_3 − торцевой перемычки.

Для варианта 2 с учетом цилиндрической формы опоры (рис. 1, *б*) $F_{эф}$ определяется интегрированием функций площади соответствующих отмеченных участков [3]:

для кармана: $F_{1r} = l \cdot \int_0^{\alpha_1} R \cdot \cos(\alpha) \cdot d\alpha = R \cdot \sin(\alpha_1) \cdot l$;

для продольной перемычки: $F_{2r} = l \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{1}{2} \cdot R \cdot \cos(\alpha)\, d\alpha = \frac{1}{2} \cdot R \cdot \left[\sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_1)\right] \cdot l$;

для торцевой перемычки: $F_{3r} = \left(\frac{L}{2} - \frac{l}{2}\right) \cdot \int_{0}^{\alpha_1} \frac{1}{2} \cdot R \cdot \cos(\alpha)\, d\alpha = \frac{1}{2} \cdot R \cdot \sin(\alpha_1) \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{l}{2}\right)$.



а) *б*)

Рис. 1. Расчетный вариант ГСП: *а*) плоский; *б*) цилиндрический

При выполнении сравнительных расчетов на полученные результаты влияют размеры ГСП, соотношение параметров перемычек, разделительных канавок и др. параметры. Так, для условий ГСП серийного гибкого производственного модуля ЛР400ПМФ-4 с диаметром шпинделя 125 мм [4] установлено, что $F_{эф}$ для плоского варианта составляет 0,007 м^2, а для цилиндрического 0,0065 м^2, т.е. приближенный расчет дает завышение на 7,3%.

Таким образом, в первом приближении при проектировании ГСП можно использовать представление опоры в виде ее развертки на плоскость и при необходимости корректировать ее размеры.

Выполнена также оценка влияния цилиндричности ГСП на динамические свойства системы автоматического регулирования. В качестве критерия использован показатель запаса устойчивости по фазе (Δφ), полученный по логарифмическим частотным характеристикам (ЛЧХ)[5]. На рис. 2 приведены полученные с помощью программы***p_LH***[4] ЛЧХ для плоского (кривые: 1 –ЛАЧХ, и 1′–ЛФЧХ) и цилиндрического (соответственно 2 и 2′) вариантов ГСП.Для варианта 2 Δφ незначительно уменьшен ($\Delta\varphi_2 = 12°$) относительно варианта 1 ($\Delta\varphi_1 = 16°$). При этом частота среза ($\omega_{ср}$) − в два раза выше. Установлено [6], что частота колебаний $\omega_{ср}$и собственная частота (ω) ГСП связаны между собой. По параметру ω можно проводить оценку системы ГСП для того, чтобы исключить такие режимы и операции резания, при которых возможно возникновение резонансных колебаний. Для полученных частот ω проблемы при обработке на чистовых режимах практически не возникают для обоих рассматриваемых вариантов, однако следует отдельно проанализировать параметры

резания при тонком фрезеровании торцевой поверхности [7]. В связи с этим при динамическом анализе предварительно возможно использовать более простой вариант 1 рассмотрения ГСП.

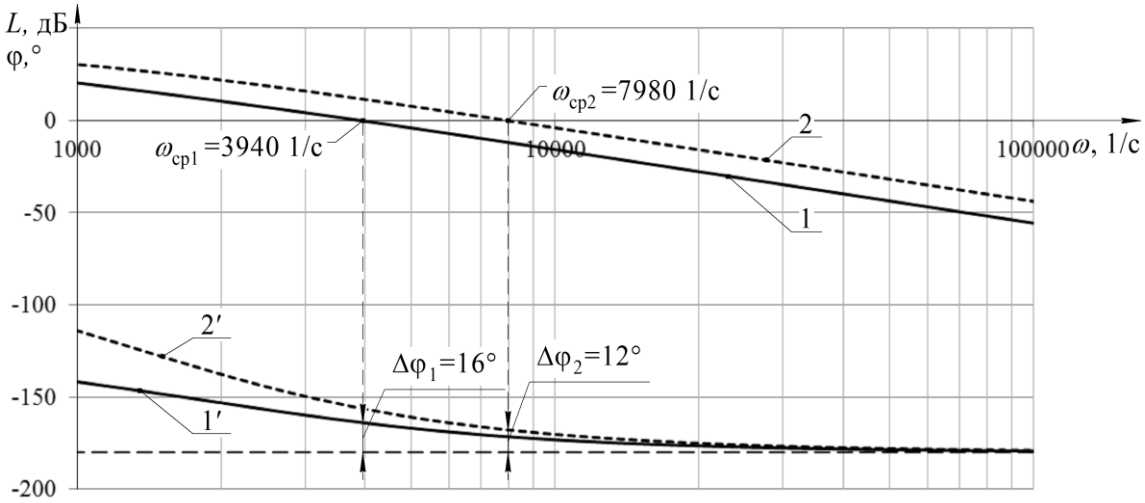


Рис. 2. ЛЧХ вариантов ГСП

*Вывод.*Для примера рассмотрения ГСП величина уменьшения по нагрузочной способности цилиндрического варианта относительно плоского составляет 7,3%, что незначительно,также, как и при рассмотрении динамики ГСП.Поэтому для инженерных расчетов предпочтительнее использовать более простую плоскую модель ГСП.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дудески Л., Петков П.П., Прокопенко В.А., Яцкевич А.А. Методические указания по выполнению расчётов и проектированию подшипников современных высокопроизводительных металлорежущих станков. Л: ЛГТУ, 1990. 37 с.

2. Левит Г.А., Лурье Б.Г. Определение потерь в элементах привод подач станков и расчет направляющих скольжения по характеристикам трения. М.: ЭНИМС, 1961. 89 с.

3. Митин В.А., Прокопенко В.А., Петков П.П. Особенности расчета характеристик гидростатических подшипников // XXXI Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научной конференции, Механико-машиностроительный факультет, 2004. С. 19-20.

4. Бундур М.С., Прокопенко В.А., Пелевин Н.А. Прогнозирование динамического качества шпиндельных гидростатических подшипников при учете энергетических процессов // Металлообработка, Т. 92, № 2, 2016. С. 56-63.

5. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. М: Машиностроение, 1983. 608 с.

6. Бундур М.С., Пелевин Н.А., Прокопенко В.А. Динамика шпиндельного гидростатического подшипника с учетом изменения приведенной массы // Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 5-й Международной научно-практической конференции – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. С. 1028-1039.

7. Прокопенко В.А., Чернов И.А. Исследование технологических режимов обработки для определения требуемых технических характеристик станков // MaterialsoftheXIinternationalscientificandpracticalconference « Prospectsofworldscience – 2015» July 30 – August 7, Vol. 10, Sheffield, 2015. pp. 64-66.

УДК 621.91.02

М.А. Адмакин, А.С. Глухов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Металлообрабатывающие компании все чаще сталкиваются с проблемой подбора режущего инструмента под свои технологические задачи, трудность которых заключается в многообразии обрабатываемых материалов и материалов самих инструментов, особенностей обработки, функциональными особенностями металлорежущего оборудования, наличием систем числового программного обеспечения и многими другими факторами.

На сегодняшний день распространены случаи, когда технологи не могут подобрать оптимальный режущий инструмент под свои задачи, так как представленный на рынке импортный инструмент маркируется каждой компанией-производителем по-своему [1]. Полагаться на мнение и опыт производителя (а в большинстве случаев дилера) металлорежущего инструмента не следует, т.к. у них стоит задача максимального объема продаж. Данный подход к выбору режущего инструмента приводит к тому, что материал и геометриярежущей части неизвестны. Приходится действовать лишь согласно рекомендациям, данным в каталогах компаний-производителей данного инструмента по обрабатываемым материалам и режимам резания. Затруднительно иногда, имея купленный инструмент, получить полную информацию о конструкции режущего клина.

Грамотное решение же задачи по нахождению оптимального по материалу и конструкции инструмента позволит существенно снизить экономически затраты на оснащение предприятия инструментом [2], минимизировать временя обработки деталей, увеличить стойкость инструмента [3], и, как следствие, улучшить конкурентоспособность предприятия на современном рынке.

Цель работы – создание алгоритма выбора оптимальной конструкции режущего инструмента для решения конкретных задач при обработке металлов резанием.

На данный момент существуют несколько способов выбора инструмента.Вот четыре самых распространенных из них:

1. Метод аналогии на конкретном предприятии и оборудовании,
2. Поиск с использованием справочной литературы [1, 2, 3, 4],
3. Опыт сотрудника (станочника, технолога и др.),
4. Эмпирический метод, когда оптимальный инструмент подбирается методом экспериментального резания.

Но каждый из этих методов применим не всегда, да и некоторые из них не дают точного результата, либо влекут за собой большие экономические потери, связанные с ошибками [5].

Используя методику, объединяющие эти методы, представленную в этой работе, пользователюбудет легче подобрать инструмент, а время, затрачиваемое на решение данной задачи, существенно сократятся.Методикувыбора оптимальной конструкции режущего инструмента удобно представить в виде алгоритма из блок-схем, приведенного на рисунке.

Алгоритм построен на принципе максимального ввода начальных данных, таких как:

- обрабатываемый материал (классифицирован в соответствии с ISO 513 с описанием каждой группы в соответствии с другими стандартами (DIN, JIS, ГОСТ и др.)),
- вид обработки и вид инструмента [4],
- допуск на изготовление и шероховатость обработанной поверхности,
- жесткость оборудования, с помощью которого будет производиться обработка.

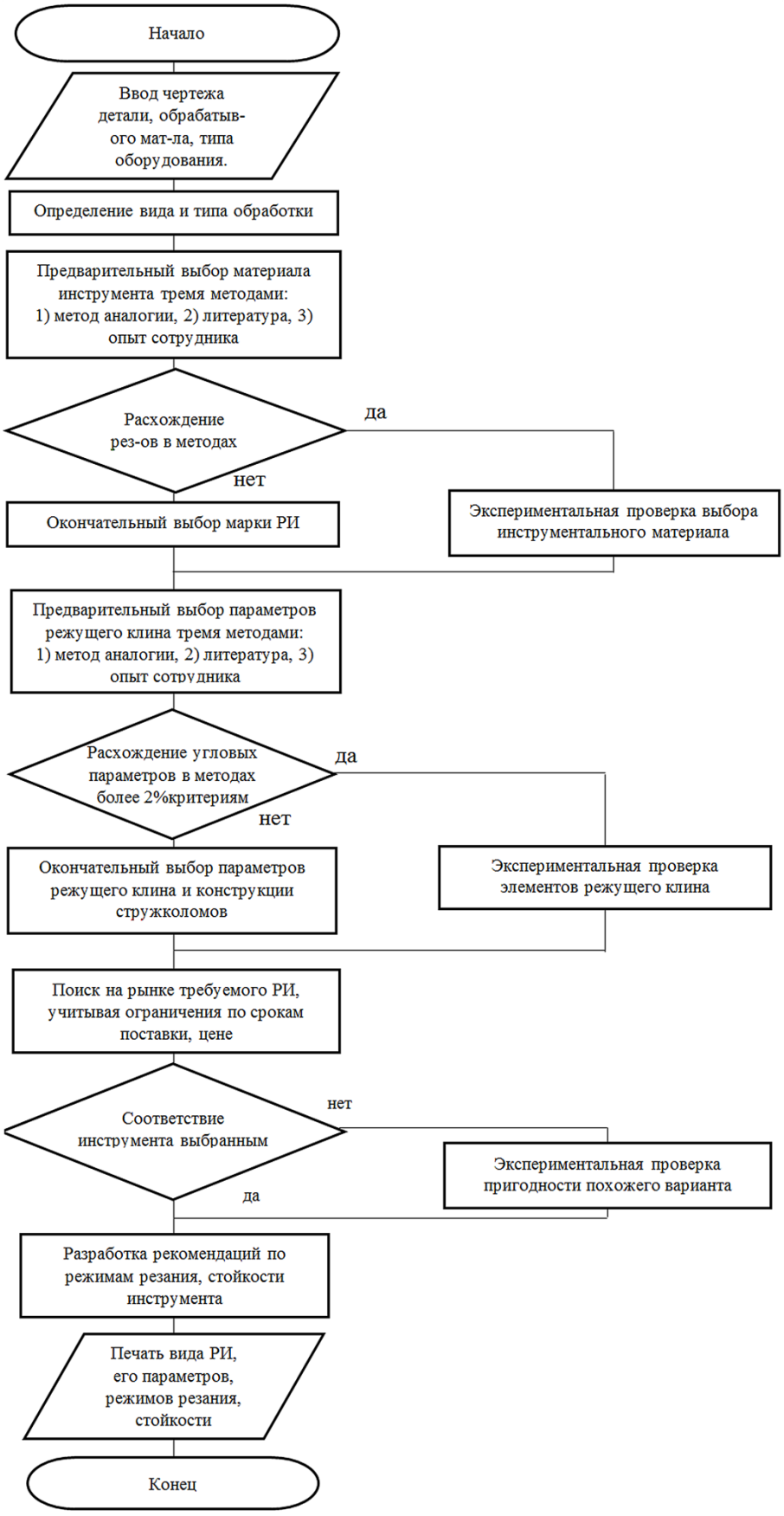


Рис. 1. Алгоритм выбора оптимальной конструкции режущего инструмента

Материал режущей части инструмента напрямую зависит от материала обрабатываемой заготовки (детали), также материал заготовки определяет диапазоны углов у главного режущего клина.

Тип обработки, или оборудование, на котором производится обработка, конкретно определяют виды и подтипы режущего инструмента для поставленной задачи.

Особые условия, например, заданная шероховатость поверхности или стойкость инструмента, позволяют уточнить некоторые конструкционные особенности режущей части, такие как наличие стружколома, диапазоны некоторых углов, подачу смазочно-охлаждающей жидкости и др.

В результате применения данной методики, которая в настоящее время разрабатывается в виде программы на ЭВМ и в дальнейшем позволит максимально быстро выбрать оптимальный инструмент по критериям максимальной производительности при заданной стойкости в диалоговом окне. Для применения данной методики в базу данных программы вносятся данные не только импортных производителей, но и отечественных, что позволит эффективно произвести импортозамещение.

Вывод: разработанная методика позволяетупростить выбор режущего лезвийного инструмента, минимизировать технологические ошибки, и, как следствие, повышать конкурентоспособность отечественных предприятий в области механообработки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. SandvikCoromant. Руководство по металлообработке. Технический справочник. Швеция, 2012. 564 с.
2. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К. Справочник технолога-машиностроителя. – М.: Машиностроение, 1986. 656 с.
3. В.А. Гречишников и С.В. Кирсанов. Справочник конструктора-инструментальщика. – М.: Машиностроение, 2006. 528 с.
4. Адмакин М.А. Ворфаламеева Я.Ю. Оптимизация режимов резания для станков с ЧПУ. Материалы научно-практической конференции с международным участием. 2-7 декабря 2013 года. С.37-39.
5. Ординарцев И.А. Справочник инструментальщика, -М,: Машиностроение, 1987. 846 с.

УДК 539.4:621.4

Е.А. Хлопков[1], Т.А. Макарова[1], Г.А. Волков[2], Ю.Н.Вьюненко[3]
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;
[2]Санкт-Петербургский государственный университет; [3]ООО "Оптимикст ЛТД"

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА НА ИХ ДЕФОРМАЦИОННО-СИЛОВЫЕ СВОЙСТВА

Актуальность. В настоящее время существует большой класс материалов, обладающий термоупругими мартенситными переходами. К ним относятся сплавы на основе *Ti-Ni, Cu-Al-Ni, Cu-Sn, Mn-Cu, Fe–Mn* и другие.

В процессе мартенситного превращения в металлах изменяется тип кристаллической решетки. Так, например, никелид титана имеет гранецентрированную тетрагональную решетку в низкотемпературном состоянии, а при высоких температурах перестраивается в объемно-центрированную. Это явление сопровождается рядом уникальных физико-механических свойств, наблюдаемых в материалах этого класса, таких как: эффект памяти формы (ЭПФ), псевдоупругость, "дефект" модулей упругости, аномально высокое внутренне трение в интервале температур фазового перехода, обратимая память при термосменах,

эффект реверсивной памяти формы, особенности температурной зависимости электросопротивления, дилатометрический эффект [1].

Необычные свойства данных сплавов нашли применение в космической промышленности (специальные устройства для монтажа на орбитальной космической станции "Мир" ферм "Софора" и "Рапана"), машиностроении (креофитные соединения), радиоэлектронике и электротехнике (соединения в оптической связи и электрической цепи), медицине (стенты, аппараты для лечения искривления позвоночника) [2].

Опыт использования кольцевых силовых пучковых элементов (КСПЭ) в технологии создания слоистых структур, предназначенных для изготовления виброзащитных средств, показал эффективность конструкций, использующих эффект памяти формы. В результате технологической эксплуатации было выявлено сложное поведение формоизменения силовых элементов при разных режимах нагрева [3]. В частности, немонотонность деформационных процессов, влияние скорости нагрева на эволюцию формы силовых элементов [4]. Была определена зависимость деформационно-силовых свойств "металлических мыщц" от соотношения компонентов сплава, конструктивных параметров КСПЭ, наличия сил, препятствующих развитию ЭПФ [5].

Цели и задачи работы. Результаты исследований [6], полученные на композиции *Ti* - 50,6ат.%*Ni* показали возможность управления работой "металлических мыщц" путем выбора температуры деформирования в области интервала прямого мартенситного превращения. В связи с этим представляет интерес проведения аналогичных опытов на сплавах с другим сочетанием титана и никеля.

Целью данной работы было исследование формовосстановления силовых элементов из сплава *Ti*-50,8ат.%*Ni* и сравнение результатов с полученными ранее в [6] при деформировании в зоне температур гетерофазного состояния.

Кольцевые силовые пучковые элементы изготовлены из проволоки диаметром 2 мм из сплава *Ti*-50,8ат.%*Ni* и являются бухтой, состоящей из пяти замкнутых круговых витков, имеющих внутренний диаметр *d*=63 мм (Рис. 1). Конструкция КСПЭ аналогична с использованной в работе [6].

Исследовали данную пару силовых элементов специальным динамометром ЛИНД (Рис. 2), имитирующим силовые взаимодействия в технологическом процессе.



Рис. 1. Внешний вид КСПЭ

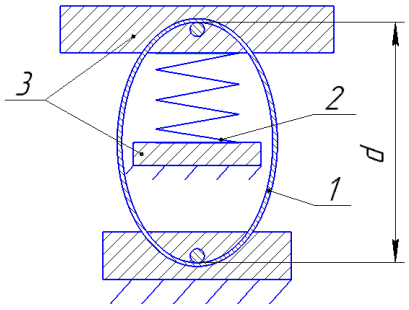


Рис. 2. Схема нагружения КСПЭ в динамометре ЛИНД:
1 – КСПЭ, 2 – контртело (спиральная пружина),
3 – подвижные пластины,
d – характеристический размер

Нагружение КСПЭ (1, рис. 2) производили при помощи стальной спиральной пружины, выполняющей роль контртела (2, рис. 2). Величину усилия определяли расстоянием между пластинами (3, рис. 2), нижняя пластина во время термоцикла фиксировалась неподвижно.

После деформирования "металлических мышц" (1, рис. 2) ЛИНД помещали в термостат и проводили нагрев. Режим нагрева до 130°*C* был постоянным во всех термоциклах (3, рис. 5). Охлаждали ЛИНД в две стадии. Первый этап охлаждения проводился при комнатной температуре, второй этап - в холодильной камере при 6°*C*. При минимальной температуре ЛИНД находился не менее 10 часов. В тех же условиях увеличивали нагрузку на силовые элементы и производили очередной термоцикл. На рис. 3 представлена начальная форма КСПЭ (а), деформированный в динамометре пучковый элемент (б) и его промежуточное состояние в процессе развития ЭПФ (в). В ходе эксперимента проводили измерение параметра $\Delta=d_1 - d_2$. Это позволило наблюдать процесс формоизменения, обусловленный эффектом памяти формы. Отметим, что изменение параметра d_1, вызванное увеличением нагрузки на силовые элементы с каждым последующим термоциклом, происходило в пределах от 67,8мм до 75,8мм в работе [6], и от 66,5мм до 74,4мм в данных экспериментах.

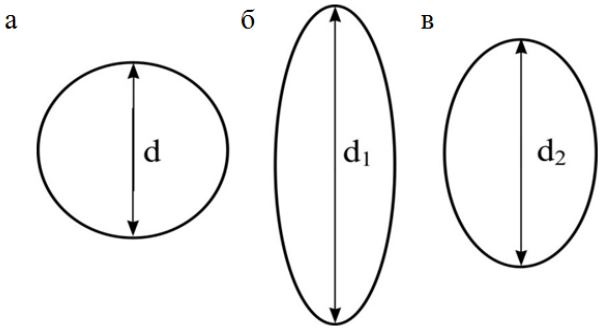


Рис. 3. Состояния КСПЭ:
а - исходное, б - КСПЭ после установки в ЛИНД перед нагревом, в - КСПЭ после срабатывания ЭПФ во время нагрева

Результаты. Кривые, представленные на рис. 4, показывают существенное различие деформационно-силовых свойств пар силовых элементов выбранных сплавов. На кривой 1 (рис. 4) соотношение начальной нагрузки и деформационно-силового эффекта, полученного в ходе развития ЭПФ, близко к линейному.

Кривая 2 (2, рис. 4) показывает, что предварительная деформация силовых элементов в пределах параметра d_1 от 66,5 мм до 70 мм происходит при постоянной силе сопротивления F_0 ~200 Н. Однако, это приводит к возрастанию Δ с 2,3 мм до 4,8 мм, то есть более чем в 2 раза. При этом максимальная сила взаимодействия с контртелом меняется от 440 Н до 690 Н. Это напоминает "тренировку" "металлических мышц", исследованную в работе [7]. Сило-силовой коэффициент $k=F_m/F_0$, (где максимальная сила взаимодействия $F_m=F_0+k\cdot\Delta$, k=100 Н/мм), характеризующий отношение максимальной силы взаимодействия с контртелом к начальной, достигает величины 3,3, что превышает результат, приведенный в работе [7]. Отметим, что сила начального взаимодействия в 1,5 раза ниже, чем в аналогичном эксперименте работы [7].

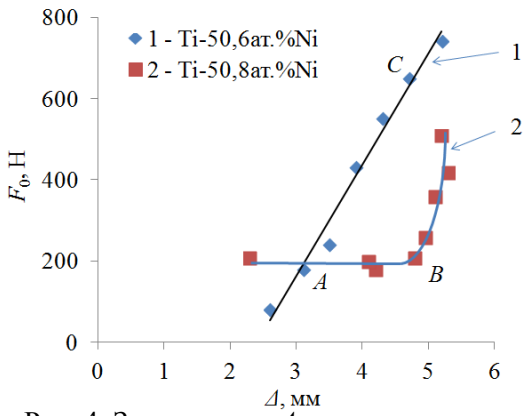


Рис. 4. Зависимость Δ от начального усилия F_0 при термоциклировании

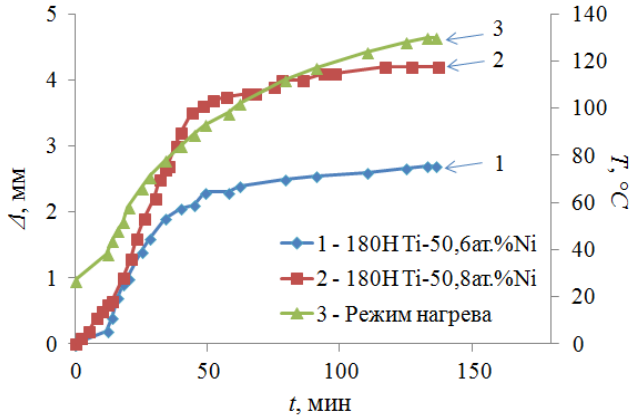


Рис. 5. Режим нагрева и развитие ЭПФ в течение времени при F_0=180Н

При начальном взаимодействии КСПЭ с контртелом ~ 200 Н Δ достигает отметки в 4,8 мм (точка *B*, рис. 4). Для сплава *Ti*-50,6ат.%*Ni* достижение такого же уровня формовосстановления (точка *C*, рис. 4) требует повышения начальной силы F_0 до 650 Н. Это повлечет дополнительное возрастание d_1 на 4,1 мм (для сплава *Ti*-50,8ат.%*Ni*: d_1=70 мм).

Сравнивая исследования двух сплавов, обратим внимание на то, что температуры превращения сплава *Ti*-50,6ат.%*Ni* выше (кривая 1, рис. 5), об этом говорит рост Δ, который начинается позже по времени, чем у второй пары "металлических мышц" (кривая 2, рис. 5).

Выводы.

1. Варьируя компонентами химического состава материала и выбирая температуры деформирования КСПЭ в области прямого мартенситного превращения, можно значительно изменять деформационно-силовые свойства конструкций, работающих на эффекте памяти формы.

2. Результаты эксперимента показали многообразие возможностей материалов с ЭПФ и дают основания для дальнейших исследований в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.А. Лихачев, С.Л. Кузьмин, З.П Каменцева. Эффект памяти формы. Ленинград. Изд-во: ЛГУ, 1987. 218 с.

2. С.П. Беляев, А.Е. Волков, В.А. Ермолаев, З.П. Каменцева, С.Л. Кузьмин, В.А. Лихачев, В.Ф. Мозгунов, А.И. Разов, Р.Ю. Хайров. Материалы с эффектом памяти формы / под ред. В.А. Лихачева. Санкт-Петербург. Изд-во: НИИХ СПбГУ, 1997–1998. В 4-х т.

3. А.А. Тихомиров, И.В. Артемьев, Ю.Н. Вьюненко. Эффект памяти формы и деформационное поведение кольцевых силовых пучковых элементов / В сб. материалов *XXI* Петербуржских чтений по проблемам прочности. Санкт-Петербург. Изд-во: Соло, 2014. с.248-250.

4. Ю.Н. Вьюненко. Деформационно–силовые характеристики кольцевых силовых пучковых элементов, работающих на эффекте памяти формы / В сб. материалов международного симпозиума "Перспективные материалы и технологии". Витебск. Изд-во: УО "ВГТУ", 2015. с.291-293.

5. Ю.Н. Вьюненко. Исследование механических характеристик силовых элементов из материалов с ЭПФ / Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки Т.18, вып. 4. Тамбов. Изд-во: ТГУ, 2013. С. 2023-2024.

6. Е.А. Хлопков, Г.А. Волков, Ю.Н. Вьюненко. Особенности поведения силовых элементов из никелида титана при термоциклировании / В тезисах докладов второй международной научной конференции "Сплавы с эффектом памяти формы. Санкт-Петербург. Изд-во: ВВМ, 2016. с.59.

7. Вьюненко Ю.Н. Особенности деформационно-силового поведения «металлических мышц» из сплава TiNi / Вестник Тамбовского ун-та. Серия :Естественные и технические науки Т.21, вып. 3. Тамбов. Изд-во: ТГУ, 2016. С. 791-794.

УДК 625:655.3

Е.Н. Гомонова, А.Я. Башкарев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АДГЕЗИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ БИТУМА

Применяемые в дорожном строительстве асфальтовые бетоны являются многокомпонентными композитами, в которых минеральные материалы: щебень, кварцевый песок и минеральные порошки соединены в единый монолит с помощью битума. Его адгезионные свойства определяют прочность и долговечность такого композита [1]. Качество асфальтового бетона оценивается по результатам испытания специально подготавливаемых образцов. С помощью различных стандартных методик подбираются оптимальные составы асфальтобетонных смесей. При этом подавляющее число специалистов обоснованно уверены, что прочность асфальтового композита в первую очередь зависят от качества адгезии битума. В настоящее время ведется поиск эффективных способов модификации с целью регулирования свойств битумной прослойки, между минеральными составляющими асфальтового бетона [2]. Этому процессу могли бы помочь новые методы исследования прочности и долговечности адгезионного соединения битума с поверхностью минеральных материалов. В данном работе такая методика предлагается.

Академиком Журковым С.Н. и его научной школой было доказано, что прочность и долговечность материалов могут рассчитываться с позиции термофлуктационного характера процесса их разрушения. Применительно к металлам с их относительно стабильными физико механическими свойствами эта теория пока не находит широкого применения. Но для расчета конструкций, изготовленных из полимеров, известные и апробированные методы механики деформируемого твердого тела оказываются далеко не всегда приемлемыми.

Известна каноническая формула Журкова С.Н., с помощью которой можно рассчитать долговечность материала τ при постоянном напряжении σ и температуре Т.

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp \frac{U - \gamma \cdot \sigma}{R \cdot T}$$

Здесь два параметра отражают свойства материала: γ - его чувствительность к механическим напряжениям, U - энергию активации процесса разрушения. τ_0 - постоянный коэффициент, равный $10^{-11} : 10^{-13}$ с., R -газовая постоянная.

Для расчетов в условиях переменных напряжений и температуры можно применять критерий Бейли [3].

$$\int_0^{\tau} \frac{dt}{\tau_0 \cdot \exp \frac{U - \gamma \cdot \sigma(t)}{R \cdot T(t)}}$$

Многочисленные проведенные исследования показали, что термофлуктационная теория прочности может успешно применяться и для расчетов адгезионных соединений полимеров. И, как будет показано ниже, не только кинетики их разрушения, но и для некоторых процессов формирования адгезии [4].

Исследовалась прочность адгезионного соединения изготовленных из гранита прямоугольных образцов размером 20х30х40, соединенных слоем битума. Для этого образцы вместе с битумом разогревались в термостате до температуры 140 градусов. Затем их

поверхности, предназначенные для склеивания, покрывались битумом и соединялись. Склеенные гранитные образцы помещались в термостат при той же температуре. Через некоторое время часть образцов извлекалась и охлаждалась на воздухе. Прочность соединения определялась испытанием его на сдвиг. Было установлено, что прочность зависит от времени термостатирования и эта зависимость имеет свой экстремум. Такой характер изменения адгезионной прочности в результате термостатирования можно объяснить тем, что под действие тепла в битуме в результате термодеструкции возникают новые активные радикалы, которые взаимодействуют с гранитом, создавая дополнительные адгезионные связи. Со временем их количество увеличивается и вместе с этим растет прочность соединения. Но одновременно идет и процесс деструкции адгезионных связей. Это уменьшает их количество, что отрицательно влияет на прочность соединения. В некоторый момент в функции «время-прочность» появляется экстремум (рис. 1).

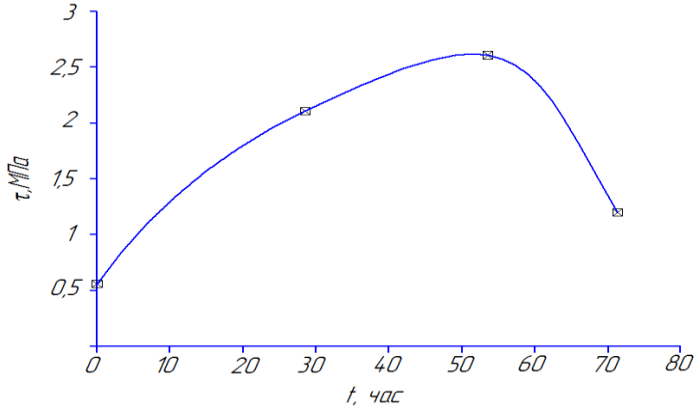


Рис. 1. График зависимости адгезионной прочности от времени термостатирования

В работе [5] было получено аналитическое описание этой зависимости. Общее число связей, сохранившихся с начала процесса термодеструкции определяется выражением

$$N = \int_0^{t_*} \frac{1 - \int_\varphi^{t_*} \frac{dt}{\tau_0 \cdot \exp\frac{U_a}{R \cdot T}}}{\tau_0 \cdot \exp\frac{U_\delta}{R \cdot T}} d\varphi$$

Где U_δ и U_a - энергия активации деструкции битума и его адгезионных связей, t_*, T - время, температура термостатирования.

Это выражение будет справедливо и при переменной температуре, т.е. когда T=T(t). Но при T=const, оно принимает более простой вид

$$N = \frac{t_*}{\tau_0 \cdot \exp\frac{U_\delta}{R \cdot T}} \cdot \left(1 - \frac{t_*}{2 \cdot \tau_0 \cdot \exp\frac{U_a}{R \cdot T}}\right)$$

Если первую производную от функции N=N(t) по времени приравнять к нулю то получится выражение для определения момента, когда прочность соединения будет максимальной, т.к. в это время оно будет обладать максимальным числом адгезионных связей.

$$t_0^* = \tau_0 \cdot \exp\frac{U_a}{R \cdot T}$$

Таким образом, если получить экспериментально график зависимости адгезионной прочности от времени термостатирования при заданной технологической температуре, то по его экстремуму можно найти величину U_a. В данном случае она оказалась равной 136 кДж/моль.

При известной величине энергии активации разрушения появляется возможность достаточно простым способом определить коэффициент чувствительности соединения к механическим напряжениям. Для этого была применена следующая методика. Вначале находилась начальная "мгновенная" прочность адгезионного соединения нетермостатированных и термостатированных образцов. Затем такие же образцы устанавливались под постоянной нагрузкой, величина которой должна была обеспечить в адгезионном слое напряжения равные 85% от предела его прочности. Регистрировалось время, через которое наступало разрушение соединения. Из канонического уравнения Журкова С.Н. можно получить выражение

$$\ln \tau = \ln \tau_0 + \frac{U - \gamma \cdot \sigma}{R \cdot T}$$

Отсюда, если принять $\tau_0 = 10^{-12}$ с, то

$$\gamma = \frac{U - (\ln \tau - 27{,}6) \cdot R \cdot T}{\sigma}$$

Отсюда, зная величину U_a и подставляя значения σ и Т, легко рассчитать величину коэффициента γ.

Результаты опытов показали, что величина γ зависит от режима термостатирования исследуемого соединения "битум - гранит". Так у нетермостатированного соединения γ=5500 кДж/мольМПа, а у термостатированных γ = 780 кДж/мольМПа, т.е. в семь раз ниже. Следовательно, правильно выбранный режим термостатирования может существенно увеличить долговечность и прочность дорожных асфальтобетонных покрытий. Предлагаемая методика определения критериев долговечности адгезионного соединения битума дает возможность еще на стадии лабораторных испытаний разрабатывать практические рекомендации по оптимальным технологическим режимам приготовления асфальтобетонных смесей и их составу.

Выводы.

1. Показано, что на основе термофлуктационной теории прочности можно определять оптимальные режимы приготовления асфальтобетонных смесей, обеспечивающих долговечность дорожных покрытий.

2. Предварительное термостатирование при его оптимально выбранных технологических режимах может многократно увеличить долговечность асфальтового бетона.

3. Разработана методика лабораторных испытаний адгезии битума, позволяющая определять оптимальные режимы их приготовления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кутьин Ю.А. Дорожные битумы. Об информативности отдельных методов их испытаний. Мир дорог, 2011,№52, с.43-46.

2. Юсупов А.И., Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А. Дорожный битумный композиционный материал с улучшенными характеристиками. Вестник казанского технологического университета. 2012. т. 15. № 12. с. 205-207.

3. Bailey Y. Attempt to correlate some tensile strength measurement on glass // *Glass industry*. 1939. Vol. 20, №1. P. 20–35.

4. Петров В.А., Башкарев А.Я., Веттегрень В.И. Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов. СПб.: Политехника, 1993. 475 с.

5. Иваньков С.А., Башкарев А.Я. О долговечности и прочности композитов // Научно- технические ведомости СПбГПУ. 2011. №4. С. 169–199.

УДК: 621.875.56

И.А. Васильев, Д.Е. Бортяков
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА СТРЕЛОВОГО УСТРОЙСТВА С ЗАДАННЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ТОЧКИ ПОДВЕСА ГРУЗА

Целью работы является изучение кинематических и силовых параметров системы изменения вылета (СИВ) стрелового устройства с заданной траекторией точки подвеса груза. Данная проблема является актуальной при создании новых типов стреловых систем, которые могут позволить уменьшить металлоемкость их элементов и, как результат, энергопотребление. Ранее такие задачи не рассматривались и решались за счет синтеза геометрических параметров стреловых устройств, что не давало возможности получать траектории груза максимально приближенные к горизонтали.

При работе механизма изменения вылета, неработающем механизме подъема, траектория груза, отличная от горизонтальной, создает дополнительные энергозатраты, связанные с изменением его потенциальной энергии, что является нежелательным побочным эффектом.

Задачей работы является создание математической модели, описывающей осевой контур стрелового устройства системой заданных и искомых параметров, скорости и ускорения элементов стреловой системы с целью получения заданной траектории управляющего элемента и точки подвеса груза, а также нагрузок, возникающих в элементах конструкции. Такая модель позволит оценить взаимосвязь перемещений точки подвеса и управляющего элемента и кинематические параметры этих перемещений.

Рассматриваемый механизм представляет собой схему, изображенную на рисунке 1. Одним из преимуществ данной схемы, как показали предварительные расчеты, является увеличение точности позиционирования.

Исходными данными исследования являются размеры элементов стреловой системы и скорость механизма изменения вылета. В данной работе рассматривается установившееся движение управляющего элемента. Из рисунка 1 видно, что отрезки *OD* и *BC* являются равными, как стороны параллелограмма *OBCD*.

Работа механизма осуществляется путем изменения положения управляющего элемента *E*. Траектории движения точек *A* и *E* зависят от геометрических параметров элементов стреловой системы, таких как длины хобота, стрелы, оттяжки и т.д.. За отправную точку исследований были приняты равными длина хобота *AB* и длина оттяжки *BO*, а также длины элементов *DE* и *OD*. Анализ полученной конструкции показал, что при таких длинах траектория управляющего элемента *E* является вертикальным отрезком, а траектория точки подвеса груза *A* горизонтальным отрезком.

При постоянной скорости управляющего элемента $V_e(t)$, горизонтальная скорость точки подвеса груза $V_a(t)$ (скорость изменения вылета) является переменной (см. рисунок 1, 2, *a*), что вызывает нежелательные инерционные нагрузки от веса груза. На преодоление этих нагрузок расходуется мощность привода МИВ. Для уменьшения этих нагрузок следует изменять скорость управляющего элемента $V_e(t)$ так, чтобы скорость точки подвеса груза $V_a(t)$ оставалась постоянной. Необходимо записать закон движения управляющего элемента $V_e(t)$, при котором будет соблюдено поставленное условие.

Для определения скорости управляющего элемента необходимо продифференцировать уравнение положения этого звена.

Координата точки E находится из равнобедренного треугольника ODE:

$$Ye(t) = -2 \cdot DE \cdot \cos f_1(t).$$

Угол f_1 находится из прямоугольного треугольника OBF:

$$f_1(t) = \arcsin\left(\frac{-Xa(t)}{2 \cdot BO}\right).$$

Положение точки A определяется начальным положением и заданной скоростью МИВ:

$$Xa(t) = Xa_0 + Va \cdot t.$$

Закон изменения скорости точки Е:

$$Ve(t) = 2 \cdot DE \cdot f_1'(t) \cdot \sin f_1(t).$$

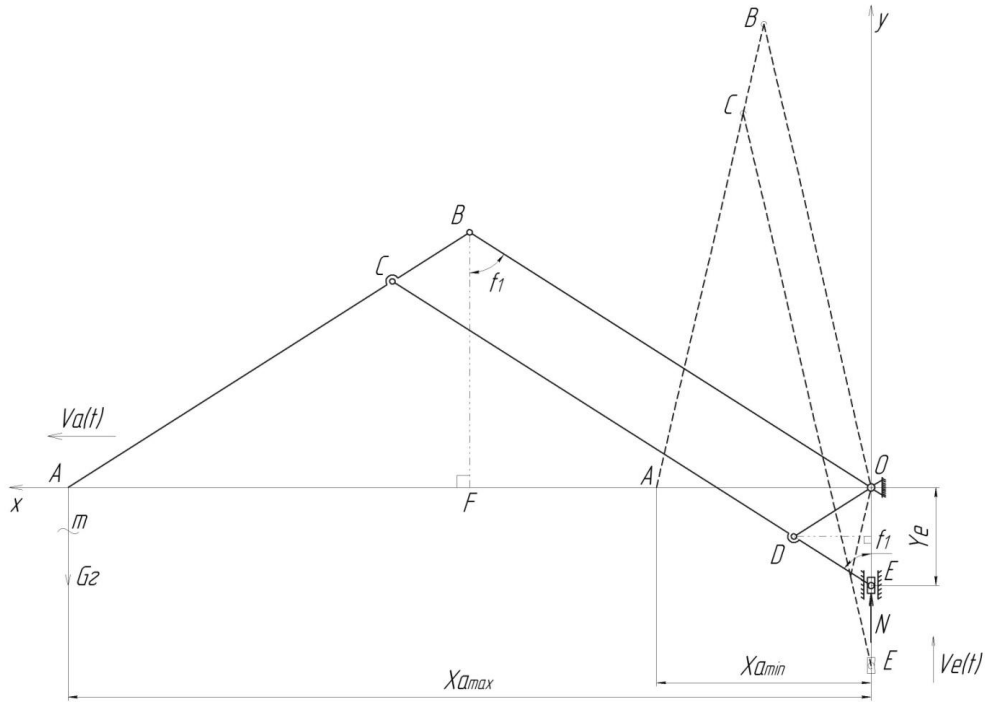


Рис. 1. Расчетная схема стрелового устройства

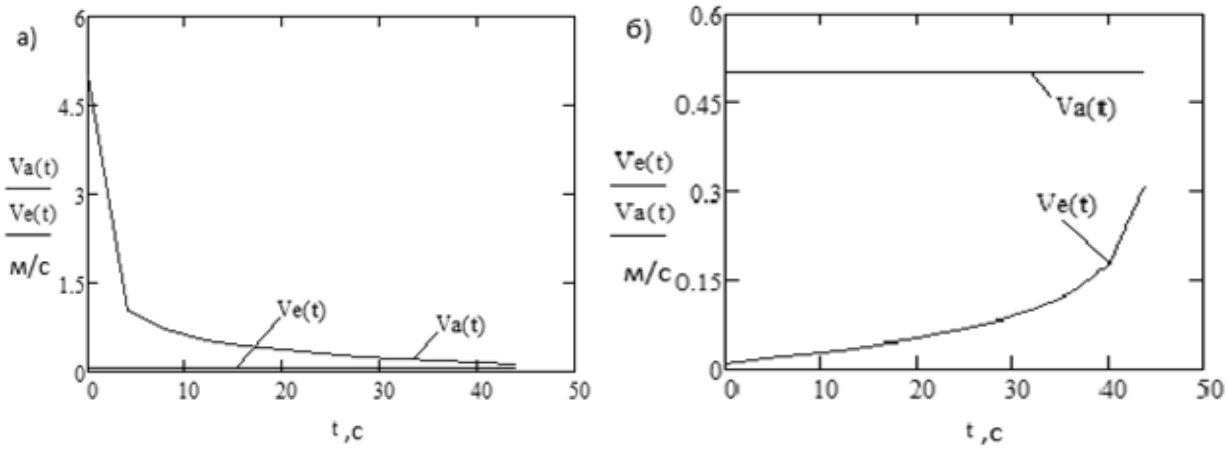


Рис. 2. Графики скоростей, управляющего звена E и точки подвеса груза A: а) при постоянной скорости элемента E; б) при постоянной скорости точки подвеса груза A;

По полученным в ходе исследований планам сил, определено, что при работе МИВ мощность расходуется на преодоление сил сопротивления в узлах системы и на инерционные нагрузки от элементов системы и груза.

Таким образом, изменяя скорость элемента Е по полученному закону, можно свести к нулю силу инерции груза. Тем самым уменьшив требуемую мощность привода МИВ.

Анализ влияния сил инерции от собственных масс элементов системы будет осуществлен в дальнейшем исследовании.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бортяков Д.Е. Специальные грузоподъёмные 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. Теория механизмов и машин учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / М.З. Коловский, А.Н. Евграфов, Ю.А. Семёнов, А.В. Слоущ. — 4-е изд., перераб. — М.: Издательский центр “Академия”, 2013. — 560 с.
3. 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. ;
4. 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.
5. Бортяков Д.Е. Моделирование эксплуатационной нагруженности элементов портальных кранов./ Некрасова А.В., Соколов С.А.// Научно-технические ведомости СПбГПУ 3’ 2008. Информатика. Телекоммуникации. Управление. № 3(60). СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. с. 203-211.

УДК 621.875.56

С.В. Отиско, Д.Е. Бортяков
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ БЛОКОВ НА КОЛОННЕ СТРЕЛОВЫХ КРАНОВ НА НАГРУЖЕННОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМЫ

Данное исследование актуально для обеспечения надежной работы и безопасной эксплуатации, в том числе в сложных технических условиях, офшорных кранов с большой канатоемкостью механизма подъема. Оффшорный кран – это стреловой поворотный грузоподъёмный кран, предназначенный для обработки тяжёлых грузов, в том числе на нефтяных платформах, и установки ветряных генераторов в открытом море. Особенностью является работа в открытом море, необходимость взятия груза с качающегося судна, а так же совмещение работы механизма подъема с устройствами успокоения груза. В процессе работы системы изменения вылета (СИВ) высота расположения точки подвеса груза (ось концевых блоков стрелы) существенно изменяется по величине, поэтому без изменения длины его подвеса (грузового полиспаста) не возможна горизонтальная траектория груза. Существует методика для оптимизации параметров стреловых устройств с прямой стрелой, разработанная ранее на кафедре «Транспортные и технологические системы» СПбПУ Петра Великого, но она является несовершенной, т.к. не учитывает необходимость разнесения блоков уравнительного полиспаста на колонне, что на сегодняшний день является актуальным в связи с большой канатоемкостью механизма подъема крана (рисунок 1) [2, 3, 5].

Целью работы является обеспечение горизонтальной траектории груза при работе системы изменения вылета (СИВ). В этом случае, потенциальная энергия груза мало

изменяется и незначительно влияет на нагружение привода механизма изменения вылета [1], [4], что в свою очередь влияет на энергоемкость всей машины.

Задачей работы является создание математической модели СИВ оффшорного крана с разнесенными блоками уравнительного полиспаста на колонне в среде MathCAD и проведение расчетов нагруженности элементов СИВ и мощности его привода. Это позволит не только получить значения данных усилий, но и оценить их влияние на нагруженность элементов стреловой системы и энергоемкость системы при обеспечении горизонтальной траектории груза.

В работе рассматривается расчетная схема СИВ с разнесенными блоками уравнительного полиспаста на колонне (рисунок 2). Грузовой канат от механизма подъема идет к блокам O_2 на колонне, далее поступает к блокам O_3. Канат образует уравнительный полиспаст кратностью mu между блоками O_2 и U_1, V_1 и грузовой полиспаст кратностью mg.

Преимуществом данной схемы, как показали предварительные расчеты, является уменьшение грузового неуравновешенного момента, а так же обеспечение улучшенной траектории груза близкой к горизонтальной по сравнению с существующей.

Для СИВ с разнесенными блоками уравнительного полиспаста была создана математическая модель для исследования нагруженности элементов СИВ в зависимости от вылета или угла наклона стрелы. Созданная математическая модель СИВ в среде MathCAD, позволяет:

- определять геометрические параметры и кинематические характеристики системы в зависимости от времени и скорости работы механизма изменения вылета;
- рассчитывать нагрузки, действующие на СИВ;
- рассчитывать мощность привода.

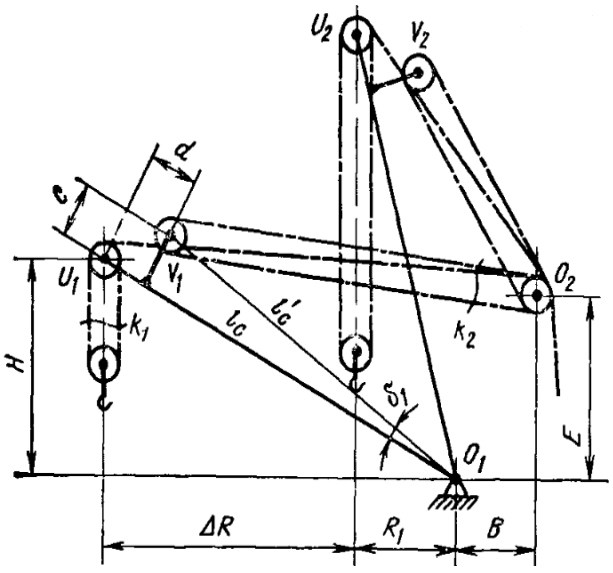


Рис. 1. Схема прямой стрелы с разнесенными блоками уравнительного полиспаста на конце стрелы

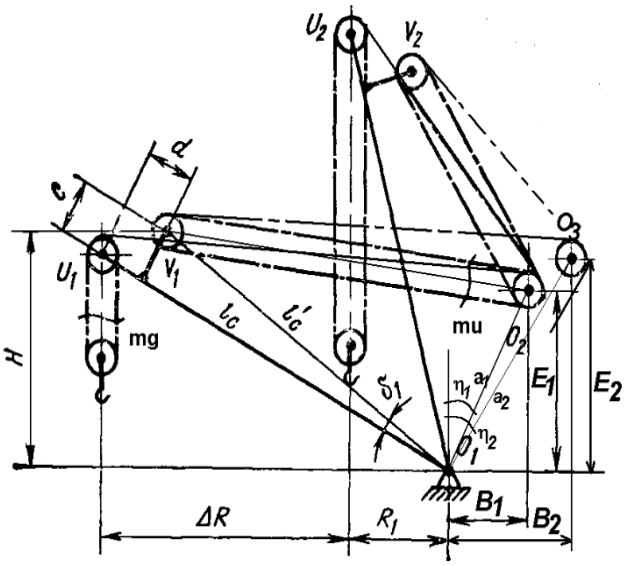


Рис. 2. Схема прямой стрелы с разнесенными блоками уравнительного полиспаста на конце стрелы и на колонне

Исходными данными для данной модели являются геометрические параметры элементов СИВ, координаты мест их крепления на стреле оффшорного крана, а также начальное положение тягового элемента и скорость работы МИВ по заданию на проектирование. Модель позволяет находить положение любого элемента СИВ в любой момент времени изменения вылета от начального до конечного положения. По полученным

данным можно построить графики изменения грузового неуравновешенного момента и траектории груза для оценки данных качественных характеристик.

Для примера приведены графики изменения грузового неуравновешенного момента (рисунок 3) и изменения траектории груза (рисунок 4) для СИВ с разнесенными блоками уравнительного полиспаста на конце стрелы и СИВ с разнесенными блоками уравнительного полиспаста на конце стрелы и на колонне**,** полученные в ходе исследований по уже существующей методике и созданной в среде MathCAD.

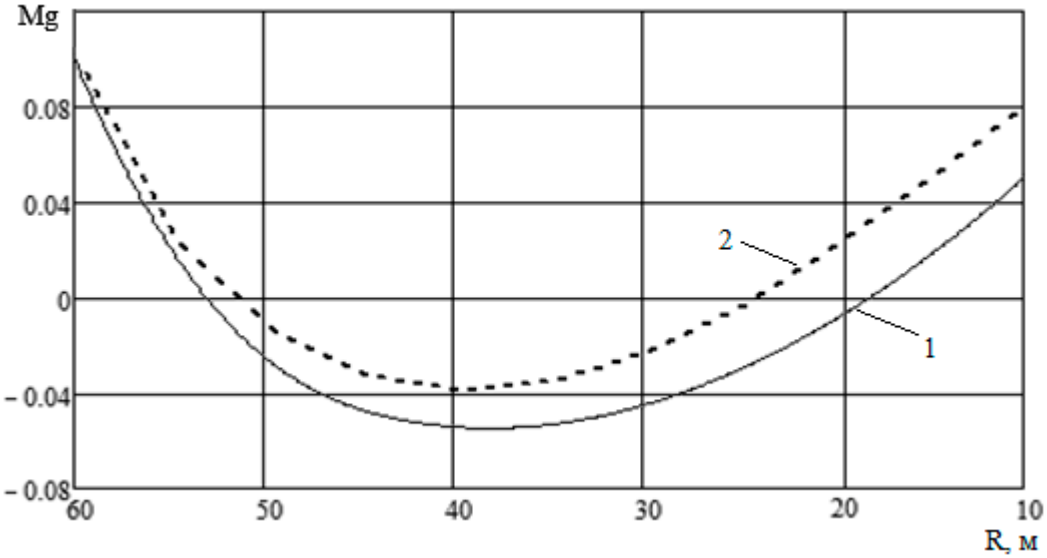


Рис. 3. Графики изменения грузового неуравновешенного момента:
1 – для СИВ с разнесенными блоками уравнительного полиспаста на конце стрелы;
2 – для СИВ с разнесенными блоками уравнительного полиспаста на конце стрелы и на колонне

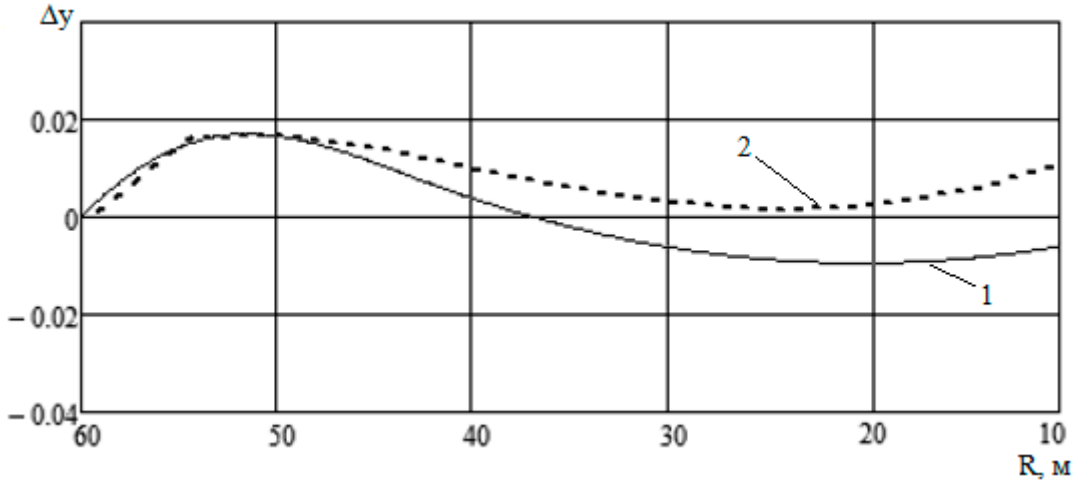


Рис. 4. Графики изменения траектории груза:
1 – для СИВ с разнесенными блоками уравнительного полиспаста на конце стрелы;
2 – для СИВ с разнесенными блоками уравнительного полиспаста на конце стрелы и на колонне

Одно из основных отличий предлагаемой математической модели от существующей является необходимость учитывать возможность разнесения блоков уравнительного полиспаста на колонне, что усложняет математическую модель, в связи с появлением в ней двух дополнительных искомых параметров.

Из полученных данных следует, что разнесение блоков O_2 и O_3 позволяет улучшить траекторию движения груза, а так же уменьшить грузовой неуравновешенный момент.

Особенностью исследований на данном этапе является то, что для получения необходимой области поиска значений параметров расположения их осей необходимо придерживаться ранее разработанной методики, так как без предварительных расчетов этот процесс может привести к ухудшению параметров СИВ и увеличению временных затрат.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бортяков Д.Е. Специальные грузоподъёмные 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. Серлин, Л.Г. Оптимизация крановых конструкций и их автоматизированное проектирование: учебное пособие / Л. Г. Серлин, А. Н. Орлов. – Л. : изд. ЛПИ, 1987. – 85с.
3. 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.
4. Бортяков Д.Е. Моделирование эксплуатационной нагруженности элементов портальных кранов. / Некрасова А.В., Соколов С.А. // Научно-технические ведомости СПБГПУ 3’ 2008. Информатика. Телекоммуникации. Управление. №3(60). СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2008. – с. 203-211.
5. 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.

УДК 532.57.08

А.В. Коптева, Р.М. Проскуряков
Национальный минерально-сырьевой университет Горный

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ НЕФТЯНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ РАДИОИЗОТОПНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Введение. В области транспортировки минерально-сырьевых и энергетических ресурсов остро стоит проблема контроля скорости и расхода многофазных потоков (жидких, газообразных, сыпучих), где включения могут быть в виде малых концентраций (динамический объем газа в нефти – до 2% отн., пустой породы в потоке угля – до 8% отн., жидкости в потоке газа – 0,2% отн. и т.д.).

Наиболее перспективными на сегодня являются волновые методы контроля потоков, т.к. они не искажают их структуры. Среди прочих, особое место занимают радиоизотопные измерительные системы (РИИС), которые успешно прошли испытания, метрологические аттестации и внесены в реестр измерительных приборов для нефтяной промышленности – измеряют потоки на магистральных трубопроводах (расход, количество, фазовый и компонентный состав) [1, 2].

Цель работы – повышение эффективности РИИС многофазных нефтяных потоков с использованием включений как источника информации.

В основу измерения расхода многофазного многокомпонентного потока нефти положен разработанный в Горном университете метод «площадь-скорость». Суть метода заключается в селективном определении расхода каждого компонента в потоке, являющегося произведением средней скорости течения этого компонента на площадь части поперечного сечения потока, занятой этим компонентом и измеренной с помощью предлагаемой измерительной системы [3]. При этом усреднённый массовый расход нефти определяется по следующей формуле:

$$Q_{мн.уср} = Q_M (1 - W_{уср}),$$

где $Q_м$ - усреднённый за время $T_{уср}$ массовый расход нефти; $W_{уср.}$ - усреднённая за время $T_{уср}$ массовая доля воды в сырой нефти.

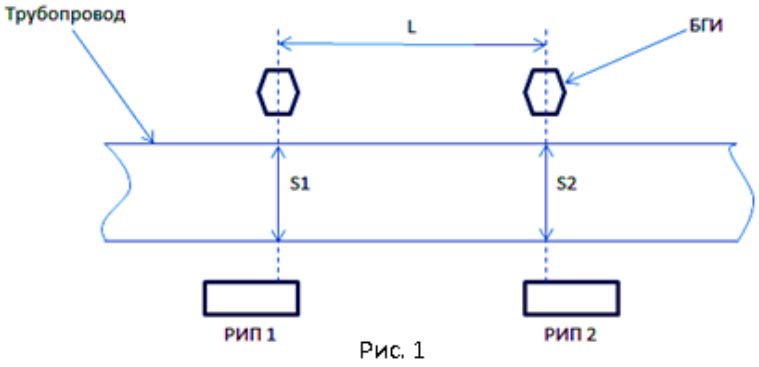


Рис. 1

Масса нефти $m_н$ определяется по формуле:

$$m_н = T_{уср} \cdot Q_{мн.уср.}$$

Скорость течения потока нефти измеряется меточным способом. В качестве естественных меток потока используются включения, например, пузыри свободного газа, находящиеся в жидкости. О скорости газа в этом случае судят по средней скорости течения больших скоплений пузырей (пузырей различных размеров). О скорости жидкости судят по средней скорости течения пузырей, размеры которых меньше некоторого порогового значения и которые вследствие этого ведут себя как «вмороженные» в жидкость, то есть не проскальзывают относительно неё. На рисунке 1 представлен участок трубопровода с двумя радиоизотопными измерительными преобразователями (РИП), где БГИ – блок гамма-излучения с источником 137Cs, S1 – сечение трубопровода контролируемое первым РИП; S2 – сечение трубопровода контролируемое вторым РИП; L – расстояние между сечениями S1 и S2. При отсутствии пузырей свободного газа в потоке (поток однофазный и однородный) выходные сигналы РИП 1 и РИП 2 будут одинаковы. Если в потоке однородной среды появится пузырь свободного газа, который вместе с потоком пройдет сначала сечение S1, а затем сечение S2, выходные сигналы РИП 1 и РИП 2 будут иметь вид, представленный на рисунке 2. Скорость пузыря на верхнем графике в два раза выше, чем на нижнем (рис. 2).

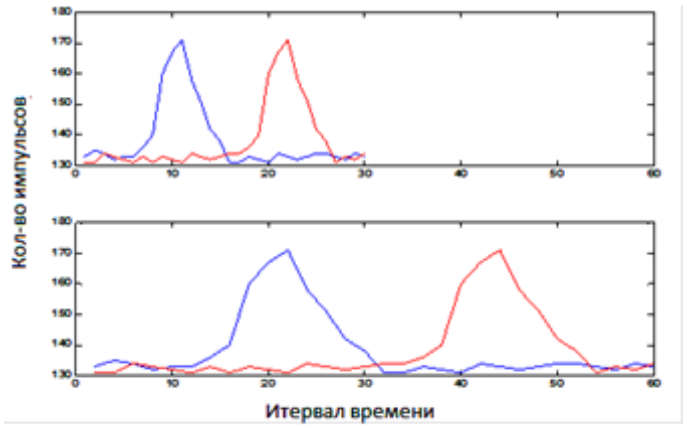


Рис.2.

Из рисунка 2 видно, что в выходных сигналах РИП в момент прохождения пузыря возникают импульсы n1 и n2. Импульс n2 запаздывает относительно n1 на время τ. Таким образом, измерив время запаздывания τ импульса n2 относительно n1, можно определить скорость движения газовой составляющей потока, по величине которого можно оценить скорость движения потока нефти в области газовой составляющей: Vпуз=L/ τ.

Поскольку метка движется вместе с потоком жидкости, по скорости ее движения можно судить о локальной (в точке, где расположен пузырь) скорости потока жидкости. В реальном потоке нефтегазоводяной смеси движется не одиночный пузырь, а скопление пузырей различного размера. Поэтому изменение выходного сигнала РИП будет иметь более сложную форму. Колебания выходного сигнала РИП 1 будут повторяться на выходе РИП 2 с задержкой по времени τ. Время τ будет зависеть от скоростей всех пузырей, находящихся в потоке (расположенных в различных точках его поперечного сечения), т.е. от средней скорости газа. В потоке нефтегазоводяной смеси крупные пузыри свободного газа движутся, в основном, в центральной части потока, где локальная скорость потока выше, чем у стенок трубопровода. Мелкие пузыри распределены относительно равномерно по сечению потока, и скорость их движения характеризует среднюю скорость течения жидкости. Если из

колебаний выходных сигналов РИП выделить колебания, вызванные движением мелких пузырей свободного газа, то временное запаздывание этих колебаний на выходе РИП 2 относительно РИП 1 будет характеризовать скорость движения мелких пузырей и, соответственно, среднюю скорость потока жидкости.

При случайном характере сигналов временное запаздывание одного сигнала относительно другого обычно измеряют взаимно корреляционным методом. При изменении временного запаздывания сигнала РИП 2 относительно РИП 1 изменяется и временной масштаб (ширина) импульсов сигналов РИП 1 и РИП 2 (рис. 2). При увеличении скорости выходные сигналы РИП сжимаются вдоль временной оси, а при уменьшении растягиваются. Поэтому (при выполнении определенных ограничений, накладываемых на свойства выходных сигналов РИП) вместо измерения временного запаздывания сигнала РИП 2 относительно РИП 1, можно измерять временной масштаб (ширину) выходного сигнала РИП 1 – τ. Обычно временной масштаб (ширину) выходного сигнала измеряют автокорреляционным методом (АКФ).

Скорости жидкости и газа вычисляют по следующим формулам:

$$Vж = Lж / \tau ж + Vж_0; \; Vг = Lг / \tau г + Vг_0,$$

где, $L_г$, $L_ж$, $V_{ж0}$, $V_{г0}$ – градуировочные коэффициенты; $\tau_ж$ – ширина автокорреляционной функции, флуктуаций, вызванных «вмороженными пузырями»; $\tau_г$ – ширина автокорреляционной функции, флуктуаций, вызванных всеми пузырями, находящимися в потоке.

При этом, плотность всего нефтяного потока вычисляется по следующей формуле:

$$\rho_{см} = (\ln(\frac{n_{0расс}}{n_{расс}}) - b \cdot \ln(\frac{n_{0пр}}{n_{пр}})) \cdot / \, a,$$

где $n_{0пр}$, $n_{0расс}$, a, b – градуировочные коэффициенты.

Объемная доля воды в сырой нефти вычисляется по следующей формуле:

$$W = (K_1 \cdot \frac{\ln(\frac{n_{0пр}}{n_{пр}})}{\ln(\frac{n_{0расс}}{n_{расс}})} - K_2) / (K_3 - K_4 \cdot \frac{\ln(\frac{n_{0пр}}{n_{пр}})}{\ln(\frac{n_{0расс}}{n_{расс}})}),$$

где k_1, k_2, k_3, k_4 – градуировочные коэффициенты.

Объемная доля свободного газа в сырой нефти вычисляется по следующей формуле:

$$\varphi = 1 - \frac{\rho_{см}}{\rho_н + W(\rho_в - \rho_н)},$$

где $\rho_в$, $\rho_н$, - плотность воды и нефти соответственно.

Результаты. На базе Санкт-Петербургского горного университета разработан научно-обоснованный, подтвержденный расчетами и экспериментами, способ измерения расхода и скорости многофазных нефтяных потоков на основе безопасной эксплуатации радиоизотопного излучения. Все компоненты РИИС, работающие под высоким напряжением, полностью изолированы внутри системы. Измерительный прибор содержит блок гамма-излучения с измерительными целями, остаточное излучение полностью отсутствует. Единственная возможность подвергнуться опасному уровню радиоактивности при использовании измерительной системы – это поверхностное облучение при пребывании вблизи источника радиации. Так, при перезарядке источника ^{137}Cs активностью до $18{,}5 \cdot 10^{10}$Бк без защиты доза облучения персонала не превышает $1{,}3 \cdot 10^{-6}$ Кл/кг, что полностью устраивает требования ОСПОРБ-99/2010 [4]. Выброс продуктов, которые могли бы проникнуть внутрь организма, полностью исключен.

Вывод. Применяя РИИС можно получить достоверную информацию о:

1. скорости и расходе нефтяного потока; 2. массовом и объемном содержании включений в потоке полезного ископаемого; 3. сорте транспортируемого продукта.

ЛИТЕРАТУРА:
1. В.Ю. Коптев, А.В. Коптева. Формирование модели структуры нефтяного потока на основе точного определения примесей для управления транспортными системами. Экспозиция Нефть Газ, № 3 (49), 2016. С. 96-97.
2. А.В. Коптева, А.В. Семенова. Актуальность применения радиоизотопного излучения в транспортной системе полезных ископаемых. Современная техника и технологии, № 4 (44), 2015. С. 117-118.
3. И.Н. Войтюк, А.Е. Быков, Д.В. Поплавский. Измерение расхода газонефтеводяных потоков. Science Time, №4 (16), 2015. С. 129-132.
4. В.Ф. Кириллов, Л.А. Ильин. Радиационная гигиена : учеб. для вузов – М. Изд-во: Медицина, 1999. - 384 с.

УДК 62-5

М.С. Черемушкина, А.А. Булдысько
Национальный минерально-сырьевой университет Горный

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Общая модель конвейера может быть построена с некоторой степенью приближения к реальному объекту, поэтому в данной работе была поставлена задача получения модели, позволяющей при необходимости вносить изменения в её структуру для получения более достоверных результатов моделирования, не изменяя модели в целом. Поставленная задача может быть решена путём построения модели электромеханической системы конвейера в виде отдельных блоков, входами которых будут управляющие и возмущающие воздействия для данного элемента, а выходами – переменные состояния, представляющие собой предмет исследования или входные сигналы для других блоков. При этом все вычислительные операции, связанные с протекающими в рассматриваемом узле процессами, будут осуществляться внутри блоков. Общая же модель объекта, в нашем случае – конвейера, формируется из разработанных блоков, и её изменение сводится к замене одного или нескольких блоков другими.Наиболее удобным и эффективным инструментом проведения вычислительного эксперимента является пакет программ MatLab.

Для оценки энергетической эффективности применения алгоритмов управления необходимо разработать математическую модель системы «частотно-регулируемый многодвигательный электропривод – конвейер – система управления конвейерами», учитывающую динамические, кинематические и электромагнитные процессы, происходящие в элементах системы.

Основной задачей работы являетсясозданиемодели объекта в виде следующих отдельных блоков:

- модель механической части конвейера;
- блок, формирующий нагрузку конвейера;

В дальнейшем планируется построить модель многодвигательного электропривода конвейера и систему управления поточно-транспортной системой, состоящей из нескольких последовательно и параллельно включенных конвейеров.

Анализ системы приводной барабан-двигатель позволяет с большей достоверностью определять значения динамических нагрузок, которые влияют на определение технических характеристик двигателей, устанавливаемых на конвейер. Также этот анализ позволит устанавливать предварительные параметры (например, натяжения ленты) при пуске таким образом, чтобы исключить пробуксовку; контролировать время пуска для избежания непроизводительного холостого пробега конвейеров и дополнительного расхода

электроэнергии. Для определения тягового усилия используют метод обхода по контуру ленты [1].

Необходимо учитывать, что горные грузопотоки имеют случайный характер, и режим пуска в производственных условиях происходит при неопределенности статического момента сопротивления движению. При этом под действием избыточного усилия, развиваемого приводом, могут возникать пробуксовка ленты на барабане и значительные динамические усилия. Изменение динамических сил носит волновой характер, что особенно важно учитывать в протяженных ленточных конвейерах, в которых перемещение напряжений вдоль ленты в верхнем и нижнем натяжении тяги продолжается от нескольких секунд до нескольких десятков секунд (в зависимости от протяженности конвейера и плавности пуска). В результате этого лента не двигается равномерно по всей длине, а связанные с ней массы начинают двигаться по мере перемещения волны напряжения.

Анализ переходных режимов основан на анализе волновых процессов, возникающих в ленте при пуске и торможении конвейера. Важнейшим параметром волнового процесса является скорость распространения продольной упругой волны.

Рассмотрев механизм распространения упругих деформаций ленты во время пуска конвейера, можно сделать вывод о том, что имеются три скорости распространения упругой волны, а в процессе пуска конвейера существуют три фазы, при этом третья фаза практически не определяет динамических усилий; при пуске с предпусковой ступенью первая и вторая фазы объединяются в одну.

Решение уравнений, описывающих динамические процессы, протекающие в тяговом органе ленточного конвейера, и уточненное моделирование с учетом волновых процессов в ленте конвейера можно осуществить в программе MatLab [2].

В пакете Simulink программы Matlab была создана обобщенная модель конвейера (рис. 1), включающая в себя математическое описание процессов, возникающих в отдельных элементах и взаимных соединениях между ними.

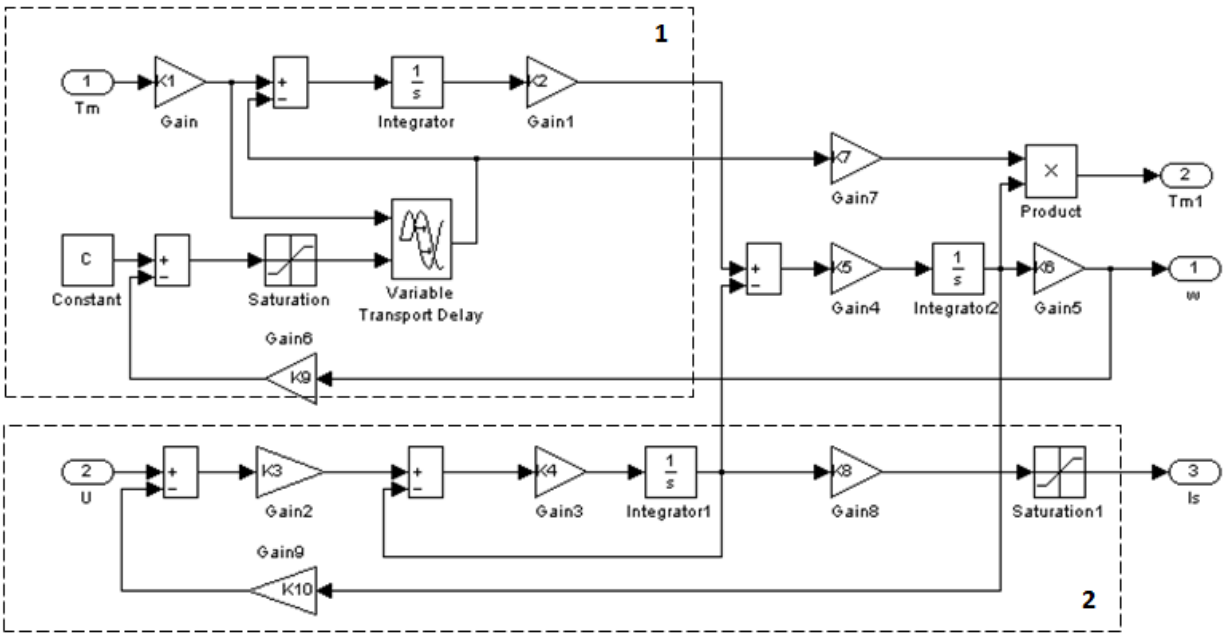


Рис. 1. Модель конвейера SimulinkMatlab

Ленточный конвейер представлен электромеханической системой, состоящей из взаимосвязанных элементов.

Блок 1 моделирует поступление нагрузки на конвейер. На вход поступают сигналы «Tm» от блока «Zagruzka» (рис. 1), имитирующего текущее состояние загрузки и учитывающего случайный характер грузопотока, и некоторое постоянное значение нагрузки «Constant». Блок 2 определяет реакцию конвейера на поступающий на вход сигнал «U» (управляющее воздействие от системы управления поточно-транспортной системой в зависимости от загрузки конвейера). На выходе модели Tm1 – нагрузка, поступающая на следующий конвейер, w – скорость движения ленточного полотна конвейера, Is - ток статора, по которому определяется степень загруженности конвейера.

Транспортный грузопоток Q(t) представляет собой случайную функцию времени (случайный процесс). Очевидно, что погонная нагрузка q на тяговый орган тоже является случайной величиной, и разброс значений будет тем выше, чем выше разброс значений относительных линейных размеров частиц ζ. При этом разброс полученных значений погонных нагрузок распределяется по нормальному закону.

На основании исследований [3] в пакете Simulink программы Matlab была создана модель нагрузки (рис. 2), имитирующая случайный грузопоток, поступающий на конвейер.

В общем случае грузопоток Q(t) можно представить в виде дискретной последовательности импульсов $\varphi_Q(t)$ со случайной длительностью поступления груза и со случайными интервалами его отсутствия. В пределах длительности импульсов грузопоток может быть описан как непрерывный случайный процесс $Q'(t)$. Для транспортирующей установки непрерывного действия (ленточный конвейер) грузопоток описывается в виде $Q(t) = Q'(t)\varphi_Q(t)$

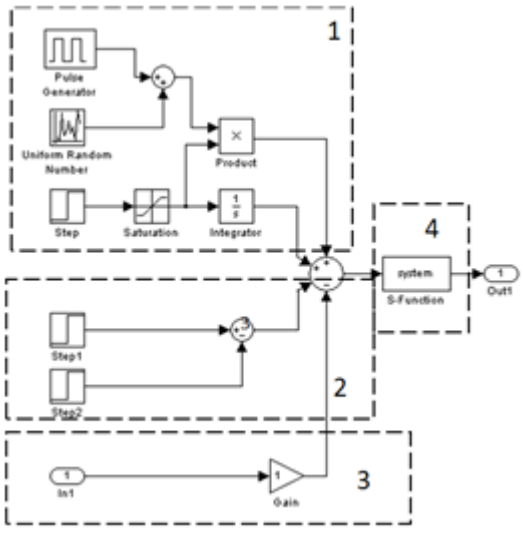


Рис. 2. Модель нагрузки

Блок 1 моделирует грузопоток в виде дискретной последовательности импульсов со случайной длительностью поступления груза и со случайными интервалами его отсутствия. В пределах длительности импульсов грузопоток описан как непрерывный случайный процесс. Блок 2 моделирует сброс нагрузки с конвейера по мере ее прохождения. Блок 3 моделирует поступление нагрузки от других конвейеров, входящих в став. Блок 4 представляет собой s-функцию, описывающую распределение забойного грузопотока.

Вывод. Предложенная математическая модель системы управляемый электропривод - ленточный конвейер, построенная с использованием программы MatLab и выполненная в виде совокупности нескольких макроблоков, каждый из которых представляет собой отдельное приложение MatLab, дает возможность исследования динамических режимов работы конвейера и синтеза алгоритмов управления, обеспечивающих максимальное быстродействие и ограничение динамических перегрузок в ленте конвейера.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. – М.: Изд. МГГУ, 2005, 543с.

2. Подпорин Т.Ф. Моделирование переходных режимов ленточных конвейеров. Учебное пособие – Кемерово: КузГТУ. 2002. – 164с.

3. Васильев К.А., Николаев А.К., Сазонов К.Г. Транспортные машины и грузоподъемное оборудование обогатительных фабрик. - СПб.: «Наука», 2006. – 359с.
4. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта / Н.И. Стадник, В.Г. Ильюшенко, С.И. Егоров и др. – К.: Техника, 1992. – 438с.

УДК 622.647.2

В.Ю. Коптев, М.И. Лебединов
Санкт-Петербургский горный университет

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Введение. Для сравнения и обоснования выбора моделей и видов транспорта необходимо располагать критериями (показателями), которые можно получить из рассмотрения технических возможностей машины и решаемых технологических задач (транспортный поток) [1].

Транспортный поток измеряется количеством перевозимого груза Q [т], временем, затрачиваемым на перевозку Т [ч] и длиной транспортирования L [км]. Единицы размерности приняты такими, как и для используемых в технических задачах размерностями: тонна, час, километр.

Возможные сочетания этих параметров характеризуют состояние транспортного потока и могут быть рассчитаны по формуле:

$$ТП= Q^{x}\cdot T^{y}\cdot L^{z}.$$

При выборе вида и модели транспортных машин лучшие из рассматриваемых показателей могут принимать как максимальные (max), минимальные (min), так и в зависимости от решаемой задачи, оба значения (max/min). В последнем случае оба значения оценивают либо технические возможности машины, либо учитывают условия её применения для горного предприятия, т.е. транспортную систему (сложность трассы, оценивают затраты энергии, времени, потенциальных резервов и др.).

Наиболее известны и имеют практическую значимость варианты сочетания параметров:

при x=0, y= -1, z=1 получим формулу скорости транспортирования (υ):

$$ТПυ = L/T\ ,\ [\ км/ч],\ \rightarrow max;$$

при x=1, y= -1, z=0 получим формулу грузопотока, т.е количество груза, перевезенного за время:

$$ТПQ = Q/T\ ,\ [\ т/ч],\ \rightarrow max;$$

при x=1, y=0, z=1 получим формулу транспортной работы (ТА), т.е. произведение количество груза, перевезенного на расстояние (L):

$$ТП_{ТА} = Q\cdot L\ ,\ [\ т\cdot км],\ \rightarrow max\ /\ min;$$

при x=1, y=-2, z=1 получим формулу силы, которую необходимо развивать транспортной машине на перемещение груза (т.е. для преодоления внешней силы сопротивления движению) (F):

$$ТП_{F} = Q\cdot L\cdot T^{-2}\ ,\ [\ т\cdot км/ч^{2}],\ \rightarrow min/max;$$

при x=1, y=-1, z=2 получим формулу для оценки выполненной транспортной услуги, т.е. массы перемещённого груза на перевезённый путь за меньшее время (с большей скоростью) (ТУ):

$$ТП_{ТУ} = ТП_{ТА}\ ТПυ = (Q\cdot L)\cdot(L\cdot T^{-1})\ ,\ [\ т\cdot км^{2}/ч],\ \rightarrow min/max;$$

при x=1, y=-2, z=2 получим формулу величины выполненной работы, приложенной силой F на пути перемещения L:

$$ТП_A = ТП_F \cdot L = Q \cdot L^2 \cdot T^{-2}, [\text{ т}\cdot\text{км}^2/\text{ч}^2], \rightarrow \min/\max;$$

при x=1, y=-2, z=3 получим показатель, называемый транспортной услугой (получивший также название ТРАН) [4]:

$$ТП_{ТРАН} = Q \cdot T^{-2} \cdot L^3 = (Q \cdot L) \cdot (T^{-2} L^2) = ТП_{ТА} \cdot \upsilon^2, [(\text{т}\cdot\text{км}) \cdot (\text{км}^2/\text{ч}^2)], \rightarrow \min/\max.$$

Фактически, он представляет собой произведение выполненной транспортной работы на квадрат скорости транспортирования, называемой авторами «рейсовой скоростью». Также авторы трактуют ТРАН как показатель, оценивающий расход мощности на доставку груза. Показатель ТРАН, в отличие от выше перечисленных (1-5), искусственный, и предложен для сравнительных технико-экономических расчётов транспортных операций.

Однако по своей сути затрачиваемая мощность должна определяться работой, выполняемой за время (например мощность [ватт], определяется затрачиваемой работой А [Дж] за время Т [с]).

Тогда, с учетом принятых размерностей, показатель $ТП_{ТРАН}$ по затрачиваемой мощности N должна определяться как:

$$ТП_{ТРАН\ N} = ТП_A \cdot T^{-1} = Q^1 \cdot T^{-2} \cdot L^2 \cdot T^{-1} = Q \cdot L^2 \cdot T^{-3}, [\text{ т}\cdot\text{км}^2/\text{ч}^3] , \rightarrow \min/\max ;$$

с показателями для транспортного потока при x=1, y=-3, z=2 .

Показатель $ТП_{ТРАН\ N}$ позволяет оценить затраты мощности, т.е. энергетическую эффективность транспортной услуги. Причем лучшая из сравниваемых машин должна иметь этот показатель наибольшей величины, а для технологических задач - наименьшей[2].

Нами предлагается применить показатели транспортного потока для сравнения применения горных транспортных машин и условий их эксплуатации [3].

Общая эффективность транспортной услуги с учётом затрат энергии должна определяться как отношение выполненной транспортной работы к затрачиваемой мощности:

$$Э_{ТУЭ} = ТП_{АТ} / ТП_{ТРАН\ N} = (Q \cdot L) / (Q \cdot L^2 T^{-3}) = T^3 / L, [\text{ч}^3/\text{ км}], \rightarrow \min/\max.$$

Для сравнения машин представляется возможным использовать и другой показатель, определяемый как отношение выполненной транспортной услуги к выполненной работе:

$$Э_{ТУА} = ТП_{ТУ} / ТП_A = (Q \cdot L)(LT^{-1}) / (Q \cdot L^2 \cdot T^{-2}), [\text{ ч}], \rightarrow \min/\max;$$

с показателями для транспортного потока при x=0, y=1, z=0.

Результаты. Предложенные критерии в технико-экономических расчетах энергетической составляющей транспортного процесса точнее и обоснованнее учитывают рассеивание мощности на 1 км пути при доставке 1т груза, а в отличие от транспортной работы (т км) учитывают скорость доставки груза, изменение производительности горного предприятия, полнее соответствуют требованиям транспортной логистики и принципу «наименьшего действия» при оценке характеристик машины и «наилучших условий» эксплуатации в транспортной схеме.

Общий вид формулы состояния транспортного потока может быть без труда использован при составлении алгоритмов расчёта.

Вывод. Применение такого подхода облегчает задачу выбора вида транспорта и модели машины, оценке транспортной системы; позволяет обосновать рациональное (многокритериальное) формирование парка машин; учитывает изменений производственных условий «на перспективу» в динамике развития горных работ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. К.Ю. Анистратов, В.Я. Стремилов, М.В. Тетерин. Экономико-математическая модель функционирования предприятия технологического карьерного автотранспорта. Горная Промышленность, №2, 2007. –М. С. 16–18.

2. Коптев В.Ю. Обоснование выбора транспортных машин горных предприятий. Горная техника. – М.: Изд. Дом «Славутич», 2012. С.58-61.

3. В.Ю. Коптев, И.В. Веселов. Критерии выбора транспортных машин горно-добывающего предприятия. IV Международная научно-практическая конференция «Инновации на транспорте и в машиностроении» 28-29.04.2016. – СПб.: СПГУ. С. 141-145.
4. Котиков Ю.Г. Основы теории транспортных систем. СПбГАСУ, 2000. – 26 с.

УДК 004.896

О.В. Жуков
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

ВОЗМОЖНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И СОХРАННОСТИ ПЕРЕВОЗИМЫХ ГРУЗОВ БЕСПИЛОТНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ

Введение. Совсем недавно появление на дорогах автомобилей, которые могли бы передвигаться без участия человека, казалось чем-то несбыточным. Однако не так давно в России разработали систему автопилотирующего транспортного средства. Её основателем является компания Cognitive Technologie, на практике же данная идея была воплощена отечественной компанией КамАЗ.

Компания Cognitive Technologies, являющаяся основным разработчиком системы искусственного интеллекта в российском проекте по созданию беспилотного транспортного средства на базе КАМАЗ разработала технологию, позволяющая автороботу видеть и понимать участников дорожной сцены по тем же принципам, как это делает человек. В компании считают, что это позволяет более эффективно распознавать дорожную сцену и в итоге, может послужить серьезным конкурентным преимуществом в соперничестве с известными зарубежными разработчиками автороботов.[2]

Цель работы – проанализировать возможные проблемы, которые могут появиться при эксплуатации беспилотных автомобилей, найти возможные пути их решения.

Для достижения поставленных целей были выделены следующие задачи:

1. Анализ принципа технологий беспилотных автомобилей.
2. Оценка проблем, которые могут возникнуть в ходе эксплуатации беспилотных автомобилей.
3. Поиск возможных путей решения выявленных проблем.

При выполнении работы были использованы такие методы исследования, как наблюдение и сбор фактов, анализ и синтез, системный подход.

Известно, что возможность видеть удаленные предметы человеку обеспечивает узкая зона фовеального зрения (или центрального), находящаяся в центре зрительной оси глаза. Именно она позволяет видеть их в высоком разрешении. При этом, остальные элементы сцены, находящиеся в зонах периферийного и близкого к периферийному зрению, наблюдаются в низком разрешении.

Как сообщает генеральный конструктор Cognitive Technologies Василий Постников: «Нам удалось построить компьютерную модель фовеального зрения. В любой момент времени мы научились строить так называемую зону интереса - узкую область фовеального зрения, окружающую наблюдаемый объект».

Такой подход позволяет в любой момент времени видеть в высоком разрешении лишь те элементы дорожной сцены (дорожное полотно, обочина, транспортные средства, знаки и т.д.), которые нужны для анализа текущей ситуации. Разработанная технология дает возможность обрабатывать только необходимую информацию, причем с более высокими показателями качества. Это дает преимущество в экономии вычислительных ресурсов и повышении быстродействия обработки информации, когда вместо всего снятого с

видеокамеры изображения, достаточно обработать 5-7 его процентов. Технология успешно работает на всех элементах дорожной сцены, находящихся как на близком, так и на далеком расстоянии от наблюдателя.

В основе предложенного метода лежит принцип внутреннего самоподобия дорожной сцены. Разработчики научились выявлять наиболее общие, фундаментальные признаки, присуще дорожному полотну, будь это автомагистраль, проселочная или грунтовая дорога. Это позволяет распознавать дорожное полотно с высокой точностью и обеспечивать устойчивую работу разработанных на основе новой технологии Cognitive Technologies алгоритмов на различных конфигурациях дороги и в различных условиях: поворотах в разные стороны, подъемах, спусках, в ночное время, зимний период, а также в неблагоприятных погодных и климатических условиях.

Созданная технология получила название «виртуальный тоннель», поскольку именно такую форму напоминает удаляющаяся последовательность прямоугольных зон интереса.[3]

С первого взгляда может показаться, что данная система развивается довольно динамично и беспрепятственно. В какой-то мере так оно и есть, однако нельзя обойти стороной и проблемы, сопутствующие осуществлению данных идей в жизнь.

Первым затруднением в процессе нововведений может стать организация движения автопилотирующего транспортного средства по автомагистрали. По плану, предельная скорость, которую способен развить КамАЗ на автопилоте, составляет 60 км/ч. Это не только затрудняет движение по автомагистралям попутному транспорту, но и увеличивает время ездки при перевозке груза, что немаловажно. Можно было бы компенсировать скорость посредством увеличения груза, но в России максимальная допустимая нагрузка на ось по дорогам с I по III категории составляет 10 т.

Как известно, одной из основных задач при создании автопилотирующего транспортного средства является идентификация границ дорожного полотна и обочины, что является довольно затруднительным процессом. Трасса может быть покрыта снегом или грязью, она также может находиться в тени и т.д. Из этого следует, что возникает необходимость построения специально выделенной магистрали, предназначенной для передвижения автопилотирующего транспортного средства. Кроме того, при постройке автомагистрали с аналогичными допустимыми нагрузками на ось для автопилотирующего транспортного средства, объём перевозок также не может быть увеличен. [4]

Не так давно была выявлена одна довольно серьезная проблема автопилотирования. В ходе исследований было установлено, что автопилот может быть выведен из строя обыкновенной лазерной указкой. Причина кроется в особенностях действий системы, как таковой.

Пространство, окружающее транспортное средство, сканируется лидаром. Это своеобразное устройство, которое работает подобно эхолоту: луч направляется к объекту, после этого отражается от него и передает сигнал чувствительному элементу, который и позволяет системе определять расстояние до объекта и параметры окружающей среды.

Поэтому, если направить лазерный излучатель на лидар, это может привести к тому, что система неверно идентифицирует окружающее пространство. Так, например, с помощью луча лазерной указки, исследователи добились того, что автопилот стал опознавать несуществующие препятствия на расстоянии до 100 метров и, по этой причине, останавливался или менял направление движения. Причем это не потребовало каких-либо специфических знаний и точной фокусировки луча. [1]

На почве этого также можно предположить, что возникнет реальная возможность кражи груза в процессе его перевозки на автопилотирующем ТС. По статистике МВД России и стран СНГ, автотранспорт является самым криминально небезопасным видом транспорта. Автомобили в большинстве случаев перемещаются без охраны. Контроль

сохранности груза осуществляется непосредственно водителем. При переходе на автопилотирование, может возникнуть проблема обеспечения сохранности груза. Обезопасить груз можно, например, путём его перевозки в специальных контейнерах, вскрыть которые не представляется возможным. Однако, в этом случае, значительно увеличивается расход топлива и нагрузка на ось, а также сокращается срок службы беспилотного транспортного средства.

Ещё одна проблема, которая может встретиться на пути новаторов, связана с возможностью выхода из строя автопилотирующего ТС. Очевидно, что у автомобиля, как и у любой другой машины, может произойти внезапный отказ одного или нескольких параметров. И, в этом случае, возникает ещё одна проблема, заключающаяся в устранении данных неисправностей.

Помимо всего прочего, существуют проблемы, связанные с законодательными ограничениями.

Например, персональная ответственность — если по какой-либо причине случится ДТП, кто будет за это отвечать? Компания-производитель? Компания отправитель грузов или страховая компания? Как скоро вы дождетесь от нее выплат?

На данный момент в России не существует специальных дорог, предназначенных для беспилотных автомобилей. Следовательно, не может быть и каких-либо официальных документов, которые устанавливали бы правила дорожного движения на подобных магистралях. А, как известно, процесс законотворчества довольно трудный и продолжительный. Потому очевидно, что в дальнейшем этот вопрос станет довольно актуальным, и потребуется время для его решения.

Результаты. В работе была рассмотрена технология, которая устанавливается на отечественных беспилотных автомобилях, позволяющая автороботу видеть и понимать участников дорожной сцены по тем же принципам, как это делает человек, а также возможные проблемы безопасности движения и сохранности перевозимых грузов, которые могут появиться при эксплуатации беспилотных автомобилей

Выводы. Подводя итог, можно сказать, что данные вопросы требуют решения, перед тем, как первый беспилотный автомобиль будет выведен на дороги общего пользования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Gordon T.J., Lidberg M. Automated driving and autonomous functions on road vehicles // Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility. 2015. Vol.53. Iss. 7. P. 958-994. DOI:10. 1080/00423114.2015.1037774

2. Автомобильный онлайн журнал Колеса.ру [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.kolesa.ru/article/aktivnyj-kruizkontrol-i-bespilotnye-avtomobili-porusski-istorija-odnogo-izobretenija-2015-08-03 – Загл. с экрана.

3. Бузников С.Е. Современное состояние и перспективы развития автомобильных систем активной безопасности // Труды XV Междунар. конф. «Проблемы управления безопасностью сложных систем». М.: РГГУ. 2007. С. 207-211

4. Как развивается проект разработки систем управления беспилотными автомобилями в России [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.tadviser.ru/index.php – Загл. с экрана.

УДК 62-5

М.С. Черемушкина, С.С. Иванов
Национальный минерально-сырьевой университет Горный

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ЗАДАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЙЕРА

Основным направлением совершенствования систем автоматизации ленточных конвейеров следует считать разработку систем автоматического управления, основанных на принципах иерархичности и модульности, имеющих микропроцессорную реализацию на базе программируемых контроллеров.

В системе управления электроприводом конвейера можно выделить следующие режимы работы [1]:

1. разгон конвейера;
2. установившийся режим работы;
3. торможение конвейера.

Поскольку массы относительно жесткого приводческого комплекса приходят в движение быстро, а их момент инерции не изменяется, то отсюда в первый момент большая часть пускового момента, развиваемого двигателем, приходится на разгон собственных масс механизма привода. По мере того как лента и связанные с ней массы приходят в движение, растет их доля в общей разгоняемой массе, а также растет момент, передаваемый через барабан на ленту. В результате сила в ленте возрастает постепенно во время разгона конвейера.

Поэтому для пуска конвейера необходимо обеспечить следующие условия [2]:

- основной привод пускается и разгоняется на низкой скорости (10% от номинальной) и делает паузу на этой скорости (рис. 1);
- промежуточные приводы обеспечивают ленте пусковой момент, основанный на информации о загрузке ленты от датчика натяжения, т.е. запускаются с учетом инерционности ленты;
- движущийся конвейер разгоняется путем перехода на кривую разгона до рабочей скорости.

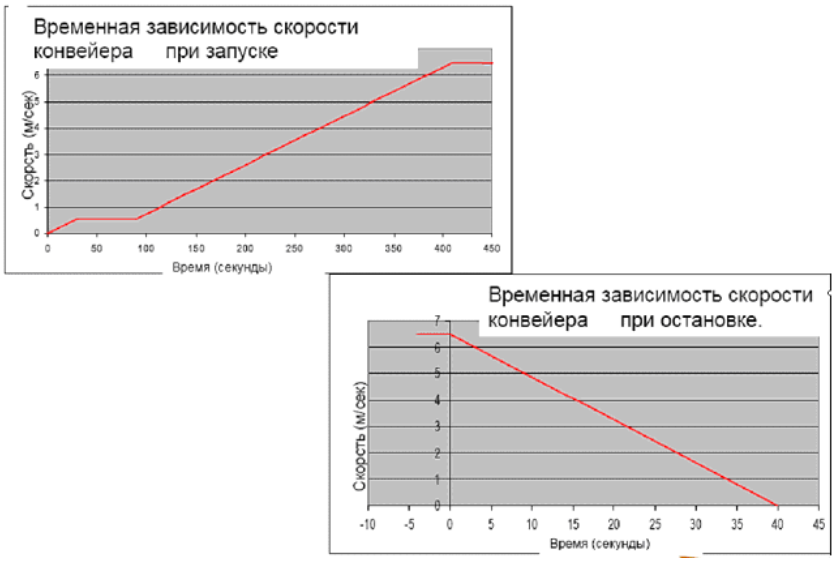


Рис. 1. Временные зависимости работы конвейера

При торможении основной привод линейно замедляет конвейер до тех пор, пока не будет достигнута скорость, равная 5% номинальной. На этой скорости, накладывается тормоз для окончательной остановки конвейера.

Промежуточные привода обеспечивают ленте тормозящий момент, основанный на информации от датчиков натяжения ленты. Тормоза каждого промежуточного привода обеспечивают остановку конвейера, когда скорость ленты достигнет 5% номинальной.

Особенностью конвейерного транспорта как технологической системы является случайность поступления грузопотока от смежного технологического оборудования [3].

Алгоритм формирования сигналов задания в системе управления многодвигательным асинхронным электроприводом, учитывающий случайный характер нагрузки, заключается в том, что величина рассогласования по нагрузке используется для корректировки задания скорости отдельных приводов.

Алгоритм корректировки сигналов задания приведен на рис. 2.

а. Если $M_1 = M_2$, $K \cdot (M_1 - M_2) = 0$. Корректирующий сигнал равен 0.

б. Если $M_1 > M_2$, $K \cdot (M_1 - M_2) > 0$. Задание на регулятор скорости (РС1) снижается, а на РС2 увеличивается.

в. Если $M_1 < M_2$, $K \cdot (M_1 - M_2) < 0$. Задание на регулятор скорости (РС1) увеличивается, а на РС2 снижается.

Коэффициент K регулирует эффективность уравнивания моментов.

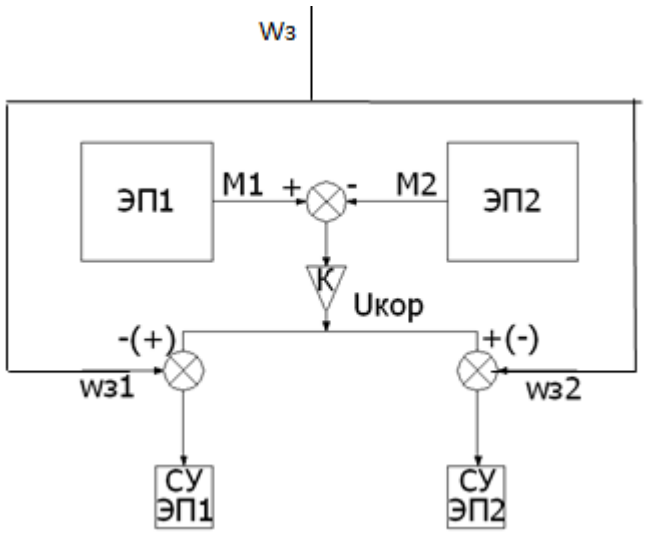


Рис. 2. Алгоритм корректировки сигналов задания
ЭП1, 2 – электроприводы, Uкор – корректирующий сигнал,
wз1, 2 – задания скорости, СУ ЭП1, 2 – системы управления электроприводами.

Рис. 3 иллюстрирует кривые момента и скорости привода переменного тока при случайной нагрузке в режиме пуска на полную скорость с последующим торможением до полной остановки и при ступенчатом набросе нагрузки. Из приведенных кривых видно, что при использовании разработанного алгоритма снижается перерегулирование и колебания момента, а, следовательно, и скорости.

Выполненные исследования режимов работы привода показали, что введение алгоритма корректировки сигналов задания скорости отдельных приводов обеспечило повышение равномерности распределения нагрузки между приводными двигателями (рассогласование составляет не более 10%), ограничение перерегулирования момента двигателя (до 15%), а значит, ограничение динамических нагрузок на привод конвейера при

использовании алгоритма прямого управления моментом и исключение проскальзывания ленты при изменении условий работы конвейера [4].

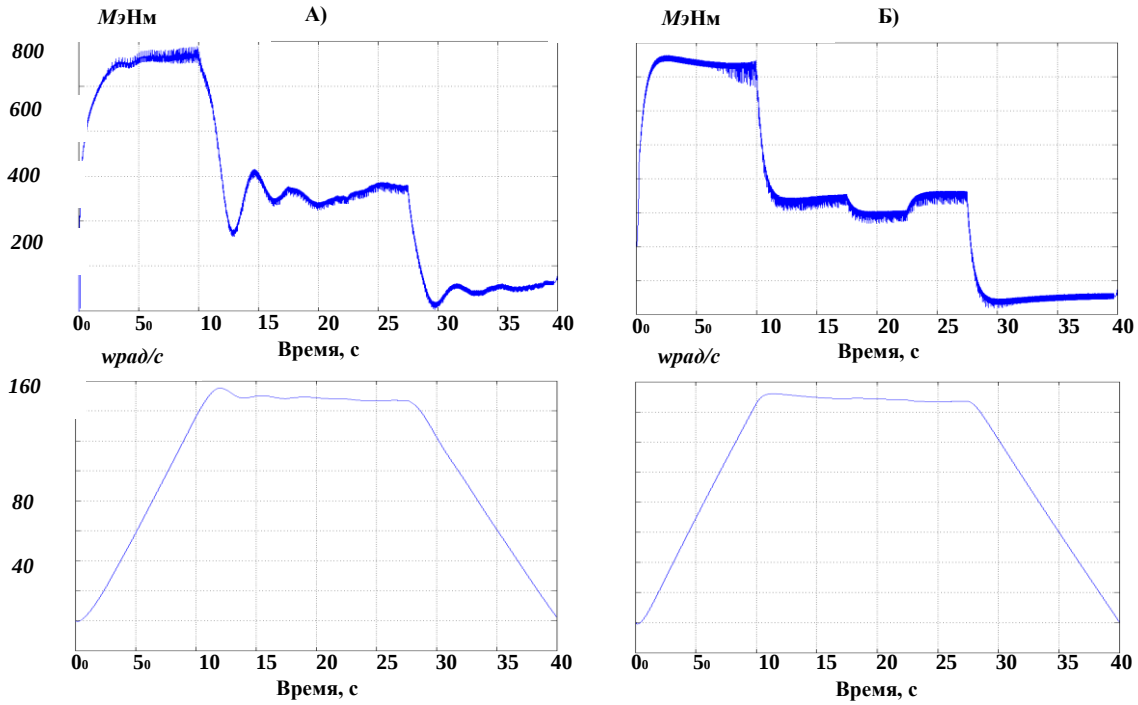


Рис. 3. Кривые момента и скорости привода без корректировки сигналов (А) и с разработанным алгоритмом (Б).

Предложенный алгоритм корректировки сигналов задания на двигатели в многодвигательном электроприводе ленточного конвейера в сочетании с системой DTC работоспособен и обеспечивает качественное регулирование по быстродействию, перерегулированию и распределению нагрузки между двигателями.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение. – М.: «Академия», 2008. – 208с.
2. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. – М.: Изд. МГГУ, 2005, 543с.
3. Федоров Ю.Н. Основы построения АСУТП взрывоопасных производств. В 2-х томах. – М.: СИНТЕГ, 2006. – 720с.
4. Васильев К.А., Николаев А.К., Сазонов К.Г. Транспортные машины и грузоподъемное оборудование обогатительных фабрик. - СПб.: «Наука», 2006. – 359с.

УДК 622.276

А.В. Семенюк, А.В. Коптева
Санкт-Петербургский горный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ОТЛОЖЕНИЯ АСПО В МАГИСТРАЛЬНОМ НЕФТЕПРОВОДЕ

Введение. Трубопроводный транспорт нефти и газа занимает одну из лидирующих позиций среди остальных видов транспорта и играет главную роль в формировании трендов экономического развития, как в Российской Федерации, так и во многих зарубежных странах [1]. Это обусловлено многими преимуществами: возможность повсеместной его укладки и высокого уровня механизации строительно-монтажных работ; возможность обеспечения равномерной и бесперебойной поставки значительных количеств сырья; высокая степень автоматизации технологических процессов; экономическая выгода. Общая протяженность трубопроводов в РФ – 217 тыс. км, на долю нефтяных приходится 46.7 тыс. км, газовых – 151 тыс. км.[2].Таким образом, транспортировка нефтепродуктов по трубопроводам является наиболее удобным и распространенным видом транспортирования, однако такой способ имеет ряд недостатков, которые вызывают осложнения в работе трубопроводных коммуникаций, и как следствие, приводит к снижению производительности системы в целом, повышая энергозатраты.

Постановка проблемы. Под воздействием внешних факторов, имеет место возникновение аварий на трубопроводном транспорте, при этом почти каждая пятая авария является результатом осаждения парафиновых отложений на внутреннюю поверхность трубопровода (19% от общего числа аварийных ситуаций по данным аналитических исследований ООО «Лукойл-Коми» на 2015 год). Статистические исследования доказывают, что решение проблемы, связанной с отложением парафинов, является наиболее важной задачей для нефтедобывающей промышленности.

Для эффективной борьбы с АСПО необходимо знание их состава, свойств и принципов образования. Механизм образования АСПО до сих пор остается недостаточно изученным. Под механизмом парафинизации понимают комплекс процессов, обуславливающих накопление твердой фазы на поверхности оборудования при добыче нефти. В настоящий момент имеются несколько теорий, объясняющих общий механизм образования АСПО [3]. Образование отложений может происходить за счет возникновения и роста кристаллов непосредственно на поверхности оборудования и в результате сцепления с поверхностью уже готовых, образовавшихся в потоке частиц, твердой фазы.

Цель работы. Исследования, проводимые в рамках данной работы, посвящены изучению модели образования отложений и разработке бесконтактного метода измерения АСПО в магистральном трубопроводе, где процесс активного отложения наблюдается в местах снижения температуры, давления, изменения скорости движения газожидкостной смеси и ее отдельных компонентов; интенсивного газовыделения в транспортируемом потоке.

В настоящее время методы борьбы с АСПО ведутся по двум направлениям: профилактика отложений; удаление уже сформировавшихся отложений. Они включают в себя физические, химические, механические, тепловые методы, которые не всегда эффективны ввиду недостоверности и несвоевременности измерений характеристик и свойств отложений. В качестве решения данной задачи предлагается использование и совершенствование перспективного и широко распространенного в зарубежной промышленности неразрушающего метода контроля на основе радиоизотопного излучения,

только применительно к АСПО, что, в свою очередь, не имеет аналогов в мире. Исследования проводятся на базе Горного университета и ООО «Лукойл-Коми».

Результаты исследований. Разработанная система измерения, основанная на фотоэлектронном поглощении, состоит из двух составляющих: первичный преобразователь, взаимодействующий с исследуемой средой и выявляющий информативный параметр и вторичный прибор, в котором происходит обработка, градуировка, представление и передача полученного значения. Способ осуществляют следующим образом: участок трубопровода с нефтяным потоком и отложившимся слоем парафинов помещается в автоматическую радиоизотопную измерительную систему (РИИС), состоящую из первичного и вторичного измерительных преобразователей. В состав первичного измерительного преобразователя входят блок гамма-излучения, представленный в виде защитного коллимирующего устройства для формирования узкого пучка излучения радионуклида Cs-137 в области энергий 0,2 - 1,0 МэВ, и блок детектирования (БД), в основе которого используются сцинтилляционный кристалл NaJ(Tl), фотоэлектронный умножитель, формирователь импульсов.

При взаимодействии гамма-излучения с потоком возникают два вида излучений: прямое и рассеянное. Вследствие относительно равномерного распределения парафиновых отложений на стенках трубопровода [5], достаточно контролировать вещество одним узким пучком прямого излучения, при этом вторичное излучение вследствие комптоновского рассеяния нами не применяется. Прямое гамма-излучение при прохождении через контролируемое вещество претерпевает фотоэлектронное поглощение, и механизм определения его интенсивности является более простой задачей, по сравнению с рассеянным излучением [6].

Способ измерения толщины слоя парафина в трубопроводном транспорте нефти включает облучение потока сырья узким пучком ионизирующего излучения, регистрацию прошедшего через контролируемую среду излучения в различных точках сечения трубопровода и формирование соответствующих информационных сигналов в виде дискретных отсчетов. Затем происходит определение толщины слоя парафина путем обработки результатов измерения прошедшего излучения, которое будет отличаться своей интенсивностью и флуктуационным характером изменения для различных сред – материала трубопровода, слоя парафина, движущейся нефти.

Интенсивность первичного радиоизотопного излучения связана с плотностью ρ вещества и его толщиной δ следующей зависимостью:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu\rho\delta).$$

В нашем случае контролируемую среду можно разделить на 3 участка: стенка трубопровода 3 (1 участок), стенка трубопровода с осажденным на ней парафином 2 (2 участок) и стенка трубопровода с парафином и транспортируемым нефтяным потоком 1 (3 участок). Тогда, интенсивность гамма-излучения для участков 1, 2, 3 соответственно:

$$I_1 = I_0 \cdot \exp(-\mu_{cm}\rho_{cm}\delta_{1cm}) \qquad \text{(1 участок)}$$

$$I_2 = I_0 \cdot \exp[(-\mu_{cm}\rho_{cm}\delta_{2cm} + \mu_n\rho_n\delta_{2n})] \qquad \text{(2 участок)}$$

$$I_3 = I_0 \cdot \exp[(-\mu_{cm}\rho_{cm}\delta_{3cm} + \mu_n\rho_n\delta_{3n} + \mu_н\rho_н\delta_{3н})] \qquad \text{(3 участок)}$$

$$\delta_{1cm} = 2R\sin(\arccos\frac{R-\Delta}{R});\quad \delta_{2cm} = \delta_{1cm} - 2R\sin(\arccos\frac{R-\Delta}{r});\quad \delta_{2n} = 2r\sin(\arccos\frac{r-\Delta}{r});$$

$$\delta_{3cm} = \delta_{2cm};\quad \delta_{3n} = \delta_{2n} - D\sin(\arccos 2\frac{R-\Delta}{D}).$$

Где I_1, I_2, I_3 – интенсивность первичного излучения, регистрируемого детектором в данном объеме в присутствии абсорбирующего материала соответственно на 1, 2 и 3 участках поперечного сечения трубопровода; ρст, ρп, ρн – плотность стали стенки трубопровода, парафина, и нефти; δст, δп, δн – эквивалентная толщина стальной стенки трубопровода, парафина и нефтяной фазы соответственно; μст, μп, μн – массовый коэффициент ослабления первичного излучения стальной стенкой трубопровода, парафином и нефтяным потоком соответственно; Δ – расстояние от края трубопровода до точки сканирования в данный момент по направлению перемещения всей измерительной системы; R, r – наружный и внутренний радиусы трубопровода в данном сечении; D – диаметр трубопровода.

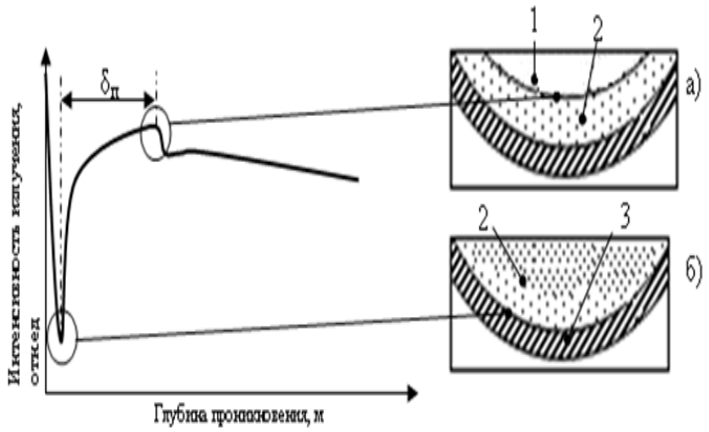


Рис. 1. Зависимость интенсивности гамма излучения от толщины парафинового слоя на внутренней стенке трубопровода; а - излом кривой при переходе от парафинового слоя к нефти; б - излом кривой при переходе от стальной стенки к парафиновому слою.

На рисунке 1 представлена зависимость интенсивности излучения от глубины проникновения гамма-излучения в контролируемый поток, состоящей из нефтяного потока *1*, парафинового слоя *2*, стенки трубопровода *3*; рисунок 2, *а* – излом кривой при переходе от парафина к нефти, рисунок 2, *б* – излом кривой при переходе от стальной стенки к парафину. При этом измеряемая толщина парафиновых отложений определяется по изломам кривой.

Вывод. Из всех существующих методов измерения РИИС лишены конкурентов, так как жесткое гамма-излучение пронизывает любые толщины полезного ископаемого, транспортируемого трубопроводом любого диаметра. Разработанная методика бесконтактного автоматического измерения толщины осажденного слоя парафина на внутренней поверхности трубопровода (с абсолютной погрешностью ±5мм, что является достаточным условием для обеспечения надежной работы трубопроводной системы), может быть использована как на стадии проектирования и прокладки трубопроводов, так и на действующих трубопроводах городов и отдельных предприятий. Система измерений позволит обеспечить своевременное обнаружение АСПО и предотвращение аварийных ситуаций на всей транспортной системе.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Коптева А.В., Семенюк А.В. Разработка систем мониторинга парафиновых отложений при транспортировке нефтяных потоков // Современная наука и практика. №9 (14), 2016 г. 27-30 с.
2. http://www.syl.ru/article/198269/new_truboprovodnyiy-transport-v-rossii.
3. Тронов В.П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними. – М.: Недра, 1969. – 192 с.
4. Ибрагимов Г.З. Техника и технология добычи и подготовки нефти и газа. / Г.З. Ибрагимов, В.Н. Артемьев, А.И. Иванов, В.М. Кононов. - М.: Изд-во МГОУ, 2005 – 243 с.
5. Черникин В.И. Перекачка вязких и застывающих нефтей. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 160 с.
6. Bieberle, A., Härting H., Rabha S., Schubert M., Hampel U. Gamma-ray computed tomography for imaging of multiphase flows // ChemieIngenieurTechnik. 2013. Issue 7.pp. 1002–1011.

УДК 622.6

М.С. Черемушкина, А.Б. Склярук
Национальный минерально-сырьевой университет Горный

МОНИТОРИНГ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА

Сложные технические объекты, рассчитанные на длительный срок службы, как правило, создаются ремонтируемыми. Однако проектная надежность оборудования зачастую не совпадает с практической, что приводит к непредвиденной остановке производства и снижению КПД. Отказ одной составляющей может нести за собой последствия в виде неработоспособности остальных частей системы. В таком случае необходимо обеспечить должный уровень надежности объекта, а также использовать диагностические системы и мониторинг для предупреждения о неисправности и своевременном реагировании. В общем случае методы повышения надежности могут быть сведены к следующим [1]:

- резервирование системы
- уменьшение интенсивности отказов системы
- сокращение времени непрерывной работы
- уменьшение среднего времени восстановления

Главными способами достижения поставленной цели являются:

– установление частого или непрерывного контроля для потенциально ненадежного, дефектного оборудования, эксплуатация которого, тем не менее, возможна неопределенное продолжительное время, с целью своевременного его отключения по достижении установленных пределов контролируемых параметров;

– своевременный вывод оборудования из эксплуатации для проведения предупредительного ремонта в соответствии не с планом, а с объективными показаниями с целью полного или частичного восстановления ресурса. При ведении слежки над объектом можно контролировать приближение поломок отдельных частей, что приводит к сохранению или торможению расходования надежности. В связи с этим целесообразно создание и внедрение систем мониторинга.

На примере ленточного конвейера – технического объекта средней сложности, используемого на шахтах для транспортировки сыпучего груза, рассмотрим виды отказов, полагаясь на данные ОАО «Воркутауголь». По материалам 1998, 1999 и 2000 года наиболее частым дефектом транспортного средства является порыв ленты, их аварийный ремонт и ремонт стыковых соединений, что влечет за собой отказ более чем 50% конвейерного оборудования и простоев производства доходящих до 1000 часов [1].

Таким образом, нужно создать систему мониторинга для обеспечения непосредственного контроля состояния важных элементов ленточного конвейера, их приближения к граничному параметру, при котором уже нужно проводить работы по восстановлению. Установим датчики на ТС для своевременного реагирования (рис 1):

Остановка ленты конвейера, вызванная ее поперечным разрывом или пробуксовкой на приводном барабане, контролируется датчиком скорости *4*, устанавливаемым на ленте вблизи приводного барабана. Датчики контроля бокового схода ленты *2* устанавливают у приводной и натяжной станции конвейера. Датчик *1* контактного типа контролирует переполнение погрузочного устройства конвейера, обеспечивая автоматическую остановку конвейерной линии для предотвращения завала грузом неисправного конвейера [2].

Применение датчиков, контроллеров и регулируемых электроприводов должно позволить значительно увеличить объем информации, поступающий автоматически из забоя. При этом происходит [3]:

- сбор электрических сигналов датчиков и их аналого-цифровое преобразование;
- определение погрешностей датчиков, электрических трактов и аналого-цифровых преобразователей (АЦП);
- оценка состояния измерительных каналов;
- контроль измеренных значений на достоверность и по технологическимуставкам, генерация статусов значений, описывающих степень их достоверности и отклонения относительно нормальных значений;
- оценка состояния узла контроля с точки зрения параметров технологического процесса и оборудования, входящего в узел, в соответствии с заданными критериями;
- выдача управляющих сигналов на исполнительные органы технологического оборудования.

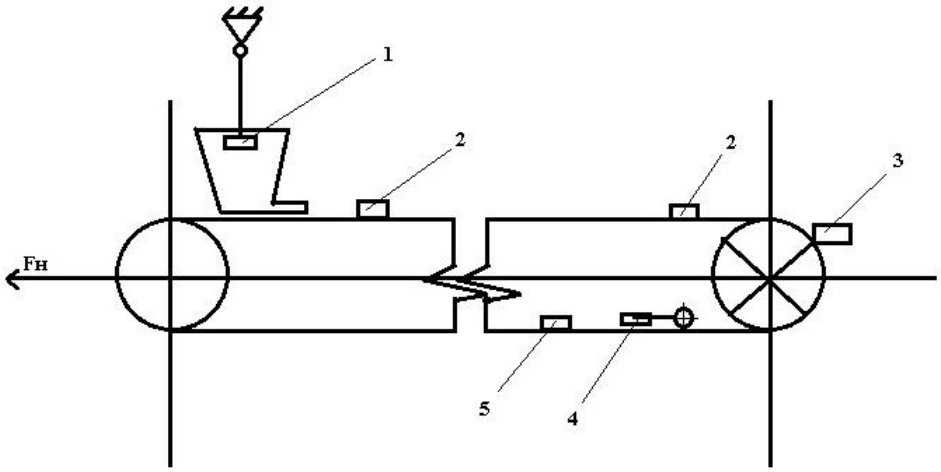


Рис. 1. Схема расстановки датчиков на ленточном конвейере:
1 – датчик контроля переполнения перегрузочного устройства конвейера;
2 – датчик контроля бокового схода ленты; 3 – устройство для температурного контроля пробуксовки; 4 – датчик скорости; 5 – датчик продольного порыва ленты.

Мониторинг предполагает использование неразрушающих методов контроля, т.е. методов, не приводящих к расходованию ресурса, и осуществляется одновременно с выполнением электрооборудованием основных своих функций. При наличии системы мониторинга сигнал о необходимости более глубокого диагностического обследования должен поступать от нее [4].

Создание систем мониторинга является логическим следствием развития техники на современном этапе. Сегодня система автоматического контроля рассматривается не только и не столько как система пассивного наблюдения и предупреждения, а как интеллектуальная система диагностического контроля и управления.

Таким образом, после внедрения системы мониторинга мы получаем оперативные данные о состоянии оборудования и возможность повысить надежность.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Хачатрян С.А. Проблемы надежности конвейерного транспорта угольных шахт / Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2004, 182с.
2. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. – М.: Изд. МГГУ, 2005, 543с.
3. Федоров Ю.Н. Основы построения АСУТП взрывоопасных производств. В 2-х томах. – М.: СИНТЕГ, 2006. – 720с.
4. Васильев К.А., Николаев А.К., Сазонов К.Г. Транспортные машины и грузоподъемное оборудование обогатительных фабрик. - СПб.: «Наука», 2006. – 359с.

УДК 622.647.2

В.Ю. Коптев, И.В.Веселов
Санкт-Петербургский горный университет

ВЫБОР ВИДА ТРАНСПОРТА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Введение. На сегодняшний день основными видом транспорта на открытых горных работах являются автомобильный, конвейерный и железнодорожный транспорт.

При формировании транспортных систем горного производства анализируется большое количество альтернатив, из которых выбирают оптимальные с точки зрения эффективности (предпочтительности) [1]. Для сравнения используются критерии (показатели эффективности, целевые функции). При выборе транспорта, например при проектировании системы транспорта, требуется учитывать много различных горно-технических, производственных и технических факторов, неопределенности которых не позволяют проектировщику однозначно назначить вид транспорта [2]. Необходима прозрачная (понятная, обоснованная) система комплексных показателей, позволяющая выбрать вид транспорта на стадии и однозначно оценить эффективность её эксплуатации.

Цель работы – повышение эффективности транспортных систем горных предприятий на основе определения показателей энергетической эффективности.

Предлагается использовать производные показатели транспортного потока для количественной оценки [3, 4, 5]. Транспортный поток измеряется количеством перевозимого груза Q [т], временем, затрачиваемым на перевозку T [ч] и длиной транспортирования L [км]. Удельная эффективность транспортной услуги должна определяться с учётом затрат энергии. Интегральным показателем транспортного потока является величина транспортных услуг, физический смысл которой – отображать величину расхода мощности транспортной машины за время транспортирования.

Общая эффективность транспортной услуги определяется с учётом затрат энергии Эм,как отношение выполненной транспортной работы к затрачиваемой мощности:

$$Эм = (Q \cdot L) / (Q \cdot L^2 T^{-3}) = T^3 / L ,$$

и отношением выполненной транспортной услуги к выполненной работе $Э_р$:

$$Эр = (Q \cdot L)(LT^{-1}) / (Q \cdot L^2 T^{-2}).$$

Наибольшие значения показателей Эм и Эр обеспечивают оптимальный выбор транспортных машин. Результаты расчётов показателей энергетической эффективности автомобильного и железнодорожного транспорта для сопоставимых условий в зависимости от уклона представлены на рис. 1.

Предложенные критерии используются в технико-экономических расчетах энергетической составляющей транспортного процесса и учитывают рассеивание мощности на 1 км пути при доставке 1т груза, а в отличие от транспортной работы (т км), учитывает скорость доставки груза,изменение производительности горного предприятия, что соответствует требованиям транспортной логистики и принципу «наименьшего действия».

Результаты. В работе проведено обоснование выбора вида транспорта для проектирования транспортных систем горных предприятий.

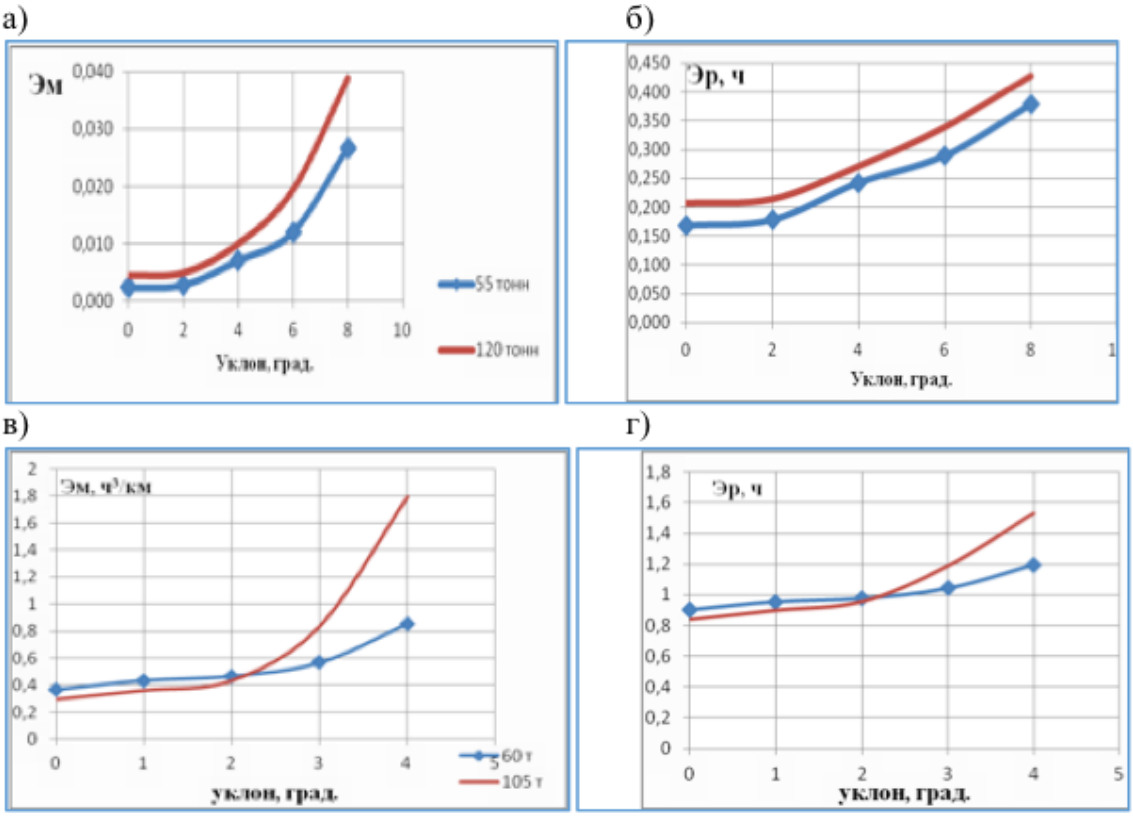


Рис. 1. Изменение показателейЭм и Эр в зависимости от угла наклона: а и б для автосамосвалов грузоподъёмности 55 и 120 тон; в и г - железнодорожных составов с думпкарами грузоподъёмности 60 и 120 т

Вывод. Применение такого подхода обладает рядом преимуществ: значительно облегчает задачу выбора вида транспорта; позволяет обосновать формирование сложного парка машин одного вида и комбинированных транспортных систем, включающих несколько видов транспорта; учитывает изменения производственных условий «на перспективу» в динамике развития горных работ, изменения структуры транспортной системы и замены парка машин.

ЛИТЕРАТУРА:

1. К.Ю. Анистратов, В.Я. Стремилов, М.В. Тетерин. Экономико-математическая модель функционирования предприятия технологического карьерного автотранспорта. Горная Промышленность – М, №2, 2007. С. 16–18.

2. Коптев В.Ю. Повышение эффективности эксплуатации карьерного автотранспорта за счет выбора модели автосамосвала и использования современных систем автоматизации и диспетчеризации. I Региональная межвузовская научно-практическая конференция «Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении» 16 апреля 2013. – СПб.: Изд-во Горного университета, 2013. С.158-165.

3. Коптев В.Ю. Обоснование выбора транспортных машин горных предприятий. Горная техника. - М.: Изд. Дом «Славутич», 2012. С.58-61.

4. В.Ю. Коптев, И.В. Веселов. Критерии выбора транспортных машин горно-добывающего предприятия. IV Международная научно-практическая конференция «Инновации на транспорте и в машиностроении» 28-29.04.2016. - С-Пб.:Изд-во СПГУ, Т2.С. 141-145.

УДК 629.33.022.48.027

П.В. Сиротин, А.Б. Черненко
«Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова»

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА СИСТЕМ ВТОРИЧНОГО ПОДРЕССОРИВАНИЯ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Актуальность. Технологический прогресс в создании новых видов техники с улучшенными эксплуатационными параметрами по скорости, мощности, нагрузкам обязательно интенсифицирует рост вибрационных и акустических полей, причем, как правило, темпы этого роста опережают темпы по созданию новых методов и средств виброзащиты. Часто производительность машин и механизмов ограничивают по соображениям вибробезопасности. Поэтому создание эффективно функционирующих систем подрессоривания является важной научно-технической задачей, обеспечивающей не только улучшение условий труда водителей и операторов транспортно-технологических машин (ТТМ), но и повышение их производительности и улучшение эксплуатационных свойств.

Цели и задачи работы. Целью данной работы является разработка универсальной системы расчета и моделирования пространственных колебаний кабин транспортно-технологических машин с целью повышения их плавности хода. Для реализации указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ источников вибровозмущений и систематизировать их;
- рассмотреть существующие средств защиты от вибрации ТММ;
- предложить универсальную методику, позволяющую моделировать динамические процессы широко спектра ТТМ и рассчитывать требуемые свойства подвески кабин;
- создать новые конструкции систем вторичного подрессоривания ТТМ с оптимальным сочетанием упруго-диссипативных связей.

Результаты. Анализ конструкций, компоновок и особенностей эксплуатации ТТМ позволил выделить широкую группу таких машин, объединить которые можно по источникам формирования колебаний и вибрации.

Так на самоходные транспортные средства, прежде всего, оказывает влияние профиль опорной поверхности, который вызывает колебания всей машины.

При движении быстроходных транспортных средств в них могут происходить упругие деформации несущей конструкции машины и, как следствие, сформироваться дополнительные динамические возмущения, действующие на машину, водителя или оператора [1].

Технологические машины преимущественно воспринимают вибрации от агрегатов, технологических и функционально необходимых механизмов. К таким источникам можно отнести ДВС, агрегаты трансмиссии, измельчающие, дробящие и другие непрерывно действующие механизмы. Такие механизмы формируют знакопеременные динамические нагрузки с определенной частотой[2]. Рабочие органы также вызывают значительные динамические нагрузки на ТТМ. В процессе разработки грунта, обработки агрофона, при наезде на неровности от консольно закрепленных устройств формируются значительные импульсные нагрузки, которые вызывают колебания и вибрации всей машины [3].

Известны и широко распространены различные системы виброзащиты, которые можно выделить в четыре уровня. К первому уровню - можно отнести пневматические шины, которые непосредственно связаны с процессом передачи вибраций идущих от дороги. Однако, потенциальные возможности улучшения плавности хода автомобилей за счёт использования только пневматических шин ограничены [4].

Комплексным средством, позволяющим наиболее эффективно снижать как динамическуюнагруженность автомобиля, так и уровень вибрации в кабине и на сиденье водителя, являются подвески колес, или системы первичного подрессоривания [5]. В этом случае выбор параметров упруго-диссипативных связей, определяющих эффективность системы подрессоривания, можно проводить в значительно более широких пределах, чем при использовании в качестве системы виброзащиты только пневматических шин. В современном отечественном и зарубежном автомобилестроении у всех серийных перспективных моделей колесных машин применяются разнообразные конструкции подвесок колес. Однако, практика показывает, что ТММ, при близких к идеальным показателях плавности хода, обеспечиваемых конструкции колёсной машины подвеской колёс, возможны отрицательные характеристики вибронагруженности в кабине водителя [1].

В качестве средств виброзащиты водителя, относящихся к третьему и четвертому уровню системы виброзащиты автотранспортного средства, наибольшее распространение получили подрессоренные сиденья [6]. Эти системы обладают простотой и дешевизной по сравнению с подрессоренными кабинами и постами управления. Однако, подвеска сиденья имеет ограниченные возможности, поскольку эффективность виброзащитных свойств достигается путем снижения частоты собственных колебаний. При этом наблюдается ряд отрицательных факторов, главные из которых следующие: чувствительность к прикладываемым усилиями водителя на органы управления; изменение положения водителя относительно органов управления; отклонения от физиологически рациональной рабочей позы и др.

Поэтому, в настоящее время, в Российской Федерации и за рубежом проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на совершенствование существующих и создание новых подвесок кабин, а также выбор их оптимальных параметров [3, 6].Существующие динамические модели эффективны и позволяют достаточно точно моделировать динамические процессы в сложных машинах. В известных работах предложены различные системы и устройства для повышения плавности хода ТТМ.Однако общий недостаток этих работ заключается в их ориентации на конкретный вид, либо малую группу транспортно-технологических машин со схожей компоновкой.

Возрастающие требования к производительности машин, их функциональным возможностям, условиям труда приводят к появлению конструкций ТТМ компоновками, отличными от существующих, расширению модельного ряда ТТМ, что ведет к необходимости, существенного изменения существующих, либо создания новых систем виброзащиты и методик их расчета.

В связи с чем, актуальной задачей становится разработки универсального механизма, позволяющего моделировать динамические процессы широко спектра ТТМ, а также для создания новых конструкций систем вторичного подрессоривания ТТМ с оптимальными параметрами.

Предлагаемый метод, основанна следующем подходе: из колебательной системы ТТМ любой компоновки выделить часть, включающую кабину с водителем (оператором), а в качестве возмущений, передаваемых на систему подвешивания кабины использовать экспериментально полученные реализации входных воздействий со стороны несущей системы натурных образцов ТММ при соответствующих эксплуатационных условиях.Такой метод позволяет комплексно учесть возмущения, идущие от дороги, силового агрегата, элементов трансмиссии и рабочих органов, что аналитически учесть практически невозможно.

Для реализации предлагаемого метода динамическую модель подрессоренной кабины рассматриваем как твердое тело, связанное с несущей системой ТТМ посредством m - упругих одноосных элементов, n - демпфирующих одноосных элементов и i - элементов

"сухого" трения. Каждый упругий, демпфирующий элемент или элемент "сухого" трения схематизируется в виде трех одноосных элементов.

Методика позволяет моделировать пространственные динамические колебания кабин ТТМ с разными характеристиками упругих, демпфирующих и направляющих устройств вторичной системы подрессоривания,дает возможность получить оптимальные нелинейные характеристики систем вторичного подрессориваниясамоходных машин с различными компоновками, параметры упругих и демпфирующих элементов, работающих для систем подрессоривания широкого спектра ТТМ.

Примером применения предложенной модели стали расчеты зависимость виброскорости или виброускорения по различным направлениям колебаний кабины самоходных зерноуборочных комбайнов, автогрейдера, экскаватора и колесного трактора в зависимости от жесткости и вязкости системы подвешивания, что является объективной основой для синтезирования систем вторичной подрессоривания кабин, агрегатов и механизмов ТТМ.

Выводы. Возможности по улучшению плавности хода многоосных автомобилей за счет традиционных решений по конструкции подвески колес подрессоренных сидений (регулируемая пневматическая подвеска с низкой собственной частотой колебаний около 1 Гц) в значительной степени исчерпаны. Наиболее перспективными являются развитие подвесок кабин, для чего выгодно использовать универсальный аналитический механизм, позволяющий моделировать динамические процессы широко спектра ТТМ, а также создавать новые конструкции систем вторичного подрессоривания ТТМ с оптимальными параметрами. Перспективы развития научного направления ориентированы на: совершенствование математической модели; интеграцию математической модели с существующими программными комплексами NationInstruments, NX, Универсальный механизм и др.; синтезирование адаптивных систем вторичного подрессоривания; создание виброизоляторов с прогрессивными характеристиками на основе резино-кордных оболочек, воздушных подушек, магнитных и электромагнитных демпферов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Черненко А.Б., Гасанов Б.Г. Пневматические системы вторичного подрессоривания кабин многоосных автомобилей /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ).-Новочеркасск: ЮРГТУ, 2012. – 200 стр., с ил.
2. Сиротин П.В., Черненко А.Б., Татьянин Д.П. Влияние конструкций рабочих органов на вибронагруженность кабин зерноуборочных комбайнов. Подъемно-транспортные и строительные системы : межвузовский сборник научных трудов / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2016.-163 с.
3. Корчагин П.А., Корчагина Е.А., Чакурин И.А. Снижение динамических воздействий на оператора автогрейдера в транспортном режиме: Монография. – Омск: СибАДИ, 2009. – 195 с.
4. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. - М.: Машинострое¬ние, 1972. - 392 с.
5. Проектирование полноприводных колесных машин: Учебник для вузов: П79 В 3 т. Т. 3 / Б.А. Афанасьев, Б.Н. Белоусов, Л.Ф. Жемов и др.; Под ред. А.А. Полунгяна.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 432 с.: ил.
6. Шеховцов В.В. Подрессоривание кабин тягово-транспортных средств: учеб. пособие / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, Н.С. Соколов- Добрев, К.В. Шеховцов; ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – 160 с.

УДК: 625.084/085:625.855.3

А.П. Прокопьев, Р.Т. Емельянов, Д.И. Перебейнос
Сибирский федеральный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ СМЕСИ АСФАЛЬТОВЫМ ВИБРАЦИОННЫМ КАТКОМ В СРЕДЕ SIMULINK

Актуальность. Настройка режимов асфальтового катка в процессе уплотнения материала зависит не только от изменения его свойств, но и динамических характеристик рабочего органа катка. Для решения задач моделирования процессов уплотнения смеси и системы управления процессом уплотнения дорожными катками требуется разработка имитационной модели. Задачами имитационного моделирования процесса уплотнения дорожными катками занимаются отечественные ученые МАДИ, СибАДИ, ЯГТУ, СПбПУ, ВолгГАСУ, СФУ и других огранизаций, а также зарубежные ученые Gigel Capatana, A. Zbiciak, Syed Asif Imran, Sesh Commuri, Musharraf Zaman, Kuno Kaufmann, Roland Anderegg и многие другие.

Цели и задачи работы. Цель работы – разработка имитационной модели процесса уплотнения асфальтобетонной смеси с учетом изменения динамических характеристик в процессе уплотнения смеси асфальтовым вибрационным катком.

В процессе уплотнения смеси, помимо характеристик самого уплотняемого материала, изменяются параметры пятна контакта рабочего органа – вальца. Под пятном понимается область вальца, находящаяся в непосредственном контакте с материалом (рис. 1).

К параметрам пятна можно отнести (рис. 1): α – угол пятна относительно центральной вертикальной оси вальца; L – ширина пятна (длина дуги вальца, нахожящейся в контакте со смесью).

Формула для расчета ширины пятна:

$$L = R \cdot \alpha \, . \tag{1}$$

Зная технологические параметры катка и величину изменения толщины слоя между проходами можно вычислить угол α:

$$\alpha = \arccos \frac{R - \Delta h}{R} \, , \tag{2}$$

где R – радиус вальца.

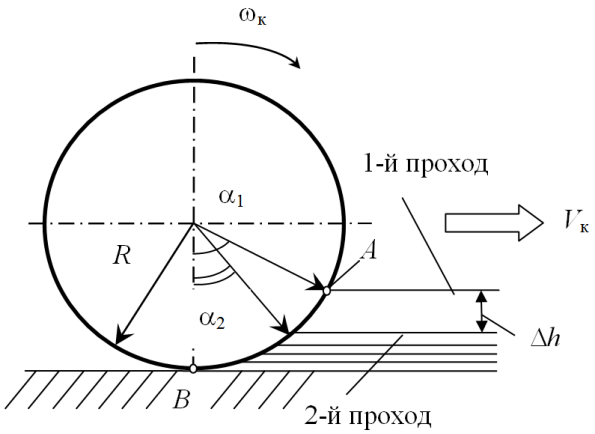


Рис. 1. Схема взаимодействия вальца с средой

В результате, измеряя значения изменения толщины слоя от прохода и зная радиус вальца применяемого катка, можно вычислить длину дуги контакта вальца, при помощи формулам (1), (2).

Площадь $F_{\text{К}}(t)$ контакта вальца со смесью вычисляется по следующей формуле:

$$F_{\text{к}}(t) = L(t) \cdot B, \tag{3}$$

где B – ширина вальца.

Площадь контакта цилиндрического вальца со смесью в процессе уплотнения уменьшается от прохода к проходу, т. к. из-за проявления вязкоупругих свойств асфальтобетонной смеси сопротивление её деформированию постоянно возрастает. На начальном этапе уплотнения смесь достаточно подвижная, не способна выдерживать значительные по величине нагрузки и ведет себя как пластичный материал [1], обладает сравнительно малой плотностью и малым сопротивлением деформации [2].

Разрабатываемую модель процесса уплотнения смеси условно можно разделить на две части: первая описывает динамику колебаний вибрационного вальца, вторая – реологические свойства уплотняемой среды [1, 2].

В процессе уплотнения сопротивление смеси деформированию постоянно увеличивается в связи с увеличением её плотности и остыванием смеси. Для обеспечения эффективного уплотнения смеси в процессе строительства дорожного покрытия необходимо соблюдать следующие условия [3]:

$$\sigma_{\text{Т}} \le \sigma_{\text{К}} \le \sigma_{\text{Пр}},$$

где $\sigma_{\text{Т}}$ – предел текучести смеси, МПа; $\sigma_{\text{Пр}}$ – предел прочности смеси, МПа; $\sigma_{\text{К}}$ – контактное давление вальца на смесь, МПа. Таким образом, развиваемые контактные двления рабочим органом в процессе уплотнения должны быть больше предела текучести материала для обеспечения эффективного уплотнения и быстрого накопления остаточных деформаций, но меньше предела прочности, чтобы не вызывать возможного разуплотнения и разрушения смеси.

Для улучшения алгоритма компьютерного имитационного моделирования уравнения полученные в работе [1] были преобразованы, что позволило более детально исследовать динамические процессы:

$$\begin{cases} \dfrac{d^2\varepsilon(t)}{dt^2} = a_0 + b_0 \cdot \sin(\omega t) - c_0 \cdot \sigma_{\text{к}}(t); \\ \dfrac{d^2\sigma_{\text{к}}(t)}{dt^2} = -c_1 - \dfrac{\left[\sigma_{\text{к}}(t) - \sigma_T^{y}\right]}{c_2} + \dfrac{\eta_2 + \eta_3}{c_2} \cdot \dfrac{d\varepsilon(t)}{dt} + \dfrac{\eta_2 \cdot \theta_3 + \eta_3 \cdot \theta_2}{c_2} \cdot \dfrac{d^2\varepsilon(t)}{dt^2}, \end{cases} \tag{4}$$

где $a_0 = \dfrac{(m_1 + m_2) \cdot g}{(0{,}02 \cdot m_1 + m_2) \cdot h_{\text{сл}}(t)}; b_0 = \dfrac{Q}{(0{,}02 \cdot m_1 + m_2) \cdot h_{\text{сл}}(t)};$

$c_0 = \dfrac{L_{AB}(t) \cdot B}{(0{,}02 \cdot m_1 + m_2) \cdot h_{\text{сл}}(t)}; c_1 = \dfrac{\theta_2 \cdot n + \theta_3 \cdot m}{\theta_2 \cdot \theta_3 \cdot n \cdot m}; c_2 = \dfrac{1}{\theta_2 \cdot \theta_3 \cdot n \cdot m}.$

На основе системы дифференциальных уравнений (4) разработана имитационная модель в среде моделирования MATLAB&Simulink, позволяющая исследовать процесс уплотнения, рис. 2. Недостатком модели (4) является ее недостаточная информативность относительно параметров рабочего органа катка.

Первое уравнение системы уравнений (4) преобразовано с целью регистрации длины дуги контакта в процессе моделирования уплотнения смеси. В результате уравнение расчета длины дуги вальца, нахожящейся в контакте со смесью имеет вид:

$$L_{AB}(t)=\frac{(m_1+m_1)g}{\sigma_k(t)\cdot B}+\frac{Q\cdot\sin(\omega t)}{\sigma_k(t)\cdot B}-\frac{(0.02\cdot m_1+m_2)h_{сл}(t)}{\sigma_k(t)\cdot B}\cdot\frac{d^2\varepsilon(t)}{dt^2}. \qquad (5)$$

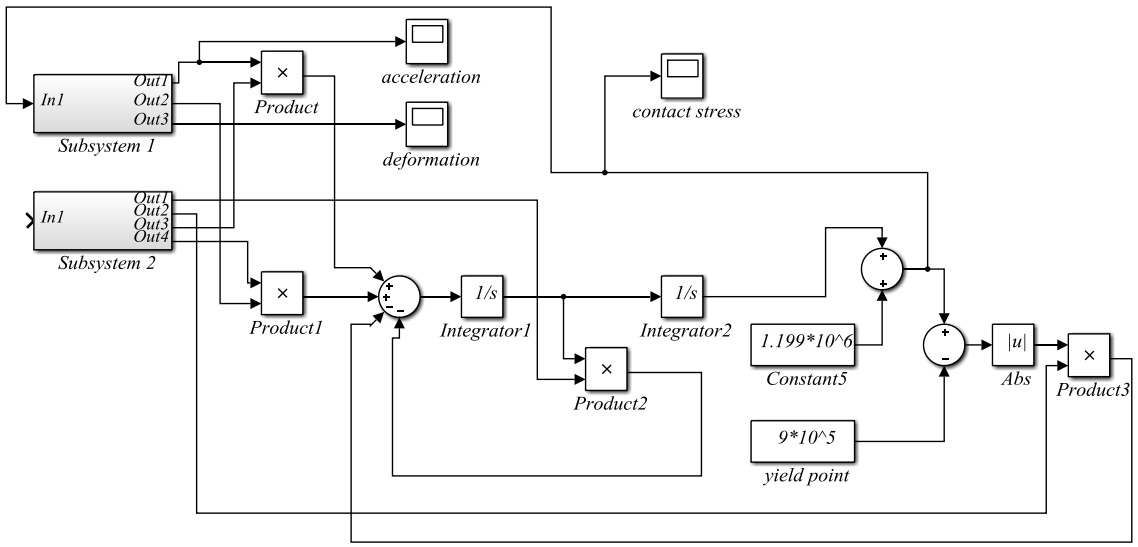


Рис. 2. Имитационная модель в среде моделирования MATLAB&Simulink

Выводы. Усовершенствована имитационная модель процесса уплотнения смеси, представленная в работах [3, 5] путем введения дополнительных блоков в среде MATLAB&Simulink реализующих возможность определения значения длины дуги пятна вальца. Реализовано моделирование нескольких проходов катка с учетом изменяющихся динамических характеристик смеси, получены графики зависимостей параметров процесса уплотнения. Адекватность полученных результатов проверена сравнением их с зависимостями полученными в работах [1, 2, 3, 6].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шестопалов А.А., Кондрашов Н.А. Использование модуля деформации в реологической модели уплотнения асфальтобетонной смеси при строительстве дорожных покрытий//Magazine of Civil Engineering. 2014. №7. С. 55.

2. Захаренко А.В., Пермяков В.Б. Взаимодействие вальцов катка с уплотняемым материалом // Изв. вузов. Строительство. 2005. № 1. С. 81-82.

3. Пермяков В.Б., Дубков В.В., Серебренников В.С. Аналитическое описание процесса уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком // Омский научный вестник. № 1. С. 67-71.

4. Серебренников В.С. Обоснование режимных параметров вибрационых катков для уплотнения асфальтобетонных смесей: автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук; науч. рук. канд. техн. наук Дубков В.В; СибАДИ. Омск. 2008. 20 с.

5. Иванчура, В.И. Идентификация динамической системы процесса уплотнения асфальтобетонной смеси дорожными катками / В.И. Иванчура, А.П. Прокопьев, О.Г. Клевцова // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2011. Том 4. № 5. С. 565-570.

6. Rampini R., Fiori F., Bacchi M. Evaluation of compaction behavior of hot mix asphalt by means of finite element model // 4th International siiv congress – Palermo (Italy), 12-14 September, 2007.

УДК: 681.5

А.П. Прокопьев, В.И. Иванчура, Н.Е. Курманкаев
Сибирский федеральный университет

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УПЛОТНЯЮЩИМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКА

Актуальность. Одной из современных тенденций развития отрасли дорожного строительства является внедрение автоматических систем управления рабочими процессами. Асфальтоукладчик обеспечивает укладку, профилирование и предварительное уплотнение слоя асфальтобетонной смеси (АБС). Асфальтоукладчик как объект управления представляет собой сложную техническую систему, состоящую из нескольких систем автоматического управления (САУ). Качество дорожного покрытия в значительной степени определяется коэффициентом уплотнения АБС. В процессе уплотнения АБС необходимо обеспечивать управление режимами уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика (УРОАУ) по степени уплотнения АБС. В качестве УРОАУ применяют систему «трамбующий брус – плита» в различной компановке [1, 2, 3].

В процессе работы асфальтоукладчика его режимы задаются с учетом параметров технологического процесса. В зависимости от достигнутого коэффициента уплотнения асфальтобетонной смеси требуется адаптировать режимы, чтобы величина была равна заданному значению коэффициента уплотнения. Для адаптивного управления режимами работы объектом управления используется принцип отрицательной обратной связи. Выходная величина объекта в этом случае остается равной заданному значению даже в том случае, если на объект действуют неконтролируемые внешние воздействия, которые при отсутствии обратной связи привели бы к существенным изменениям выходной величины объекта.

Задача синтеза регуляторов систем управления – одни из основных предметных задач теории автоматического управления. Синтез регуляторов для линейных САУ достаточно хорошо изучен. Развитие теории синтеза систем управления объектами высокого порядка, является актуальной задачей.

Цель работы: определение параметров модели регулятора системы управления объектом высокого порядка на основе частотного метода.

Алгоритм решения.

1. Определяется передаточная функция $W_{\text{р}}(s)$ нескорректированной разомкнутой системы.

2. По известной передаточной функции системы $W_{\text{р}}(s)$ вычисляются амплитуда $A_{\text{р}}(\omega)$ и сдвиг фазы $\phi_{\text{р}}(\omega)$ частотной характеристики $W_{\text{р}}(j\omega)$ по формулам $A_{\text{р}}(\omega) = \left|W_{\text{р}}(j\omega)\right|$, $\phi(\omega) = \arg W_{\text{р}}(j\omega) = \operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{Im} W_{\text{р}}(j\omega)}{\operatorname{Re} W_{\text{р}}(j\omega)}$. Запись $W_{\text{р}}(j\omega)$ означает, что в передаточную функцию $W_{\text{р}}(s)$ подставляется мнимое число $s = j\omega$, где $j = \sqrt{-1}$. Функции $A_{\text{р}}(\omega)$ и $\phi_{\text{р}}(\omega)$ определяют соответственно амплитудную и фазовую частотные характеристики.

3. Задается частота среза амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) скорректированной системы. Её можно подобрать по выражению [4]

$$\omega_{\text{ср1}} = \frac{8}{t_{\text{р}} \cdot \operatorname{tg} \gamma_1}, \qquad (1)$$

где $t_р$ – время регулирования и γ_1 – запас по фазе, задается требованиями к качеству процесса.

4. Определяется аргумент θ передаточной функции корректирующего устройства по формуле [4]

$$\theta = W_{PID}(j\omega_{ср1}) = -180° + \gamma_1 - \arg W_р(\omega_{ср1})\frac{180°}{\pi}.$$

Абсолютное значение угла θ должно быть меньше, чем 90°. Если θ получен больше 90°, то необходимо изменить частоту среза.

5. Вычисляется коэффициент передачи K_P пропорциональной части ПИД-регулятора по формуле [4]

$$K_P = \frac{\cos\theta}{\left|W_р(\omega_{ср1})\right|}.$$

6. Задается параметр K_I интегральной части ПИД-регулятора, исходя из требований к качеству системы в установившемся режиме.

7. Определяется коэффициент K_D дифференциальной части [4]

$$K_D = \frac{\sin\theta}{\omega_{ср1}\left|W_р(\omega_{ср1})\right|}.$$

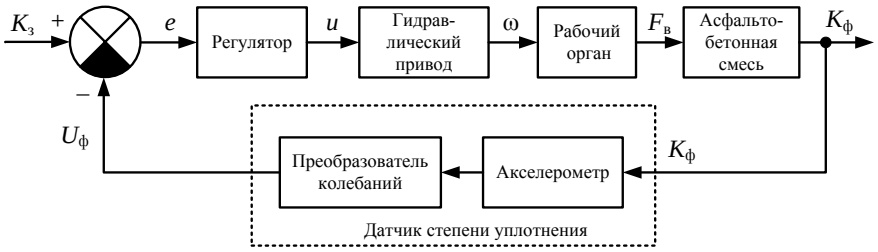
8. Определяется передаточная функция модели идеального ПИД-регулятора в виде

$$W_{PID}(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s.$$

Пример.

Объект исследования: система управления с обратной связью, на примере процесса уплотнения асфальтобетонной смеси рабочим органом асфальтоукладчика.

Функциональная схема САУ процессом уплотнения АБС показана на рис. 1.



$K_з$ – заданный коэффициент уплотнения асфальтобетонной смеси; $K_ф$ – фактический коэффициент уплотнения; ΔU – сигнал ошибки степени уплотнения;
u – управляющий сигнал; ω – частота вращения гидромотора;
$F_в$ – возмущающая сила вибровозбудителя;
$U_з$ – сигнал, соответствующий заданной степени уплотнения;
$U_ф$ – сигнал, соответствующий фактической степени уплотнения
Рис. 1. Функциональная схема САУ

В программном пакете MATLAB&Simulink получим имитационную модель замкнутой системы управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси с ПИД-регулятором и нелинейным звеном Saturation, рис. 2.

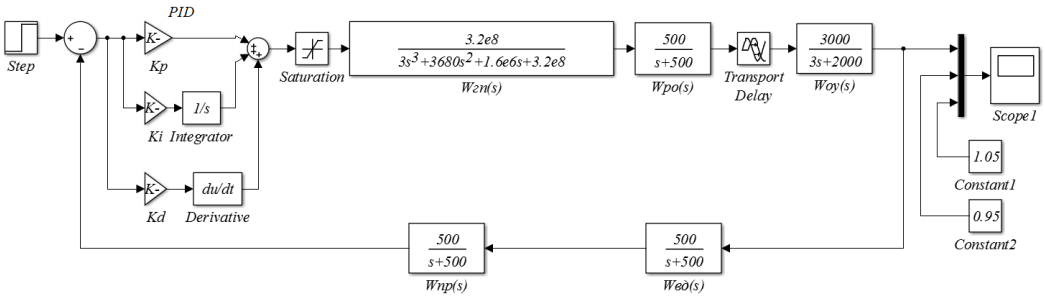


Рис. 2. Имитационная модель системы управления

Переходная характеристика синтезированной системы управления при запасе по фазе $\gamma_4 = 90°$ объектом описываемым моделью седьмого порядка приведена на рис. 3.

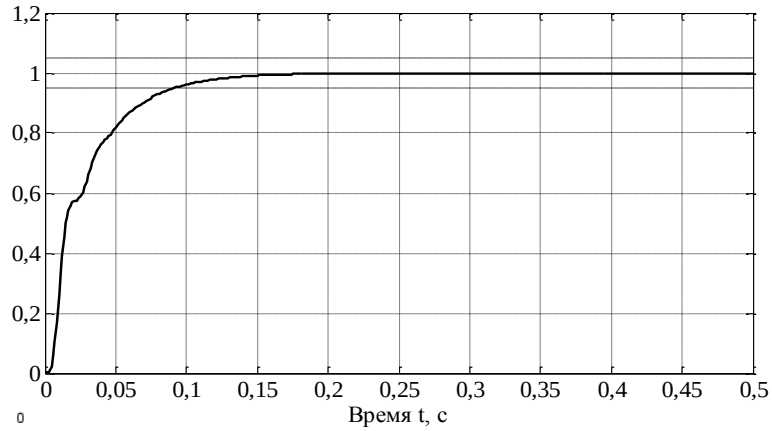


Рис. 3. Переходная характеристика $h(t)$ с синтезированными параметрами регулятора ($K_{P4} = 0{,}265$, $K_{I4} = 20$, $K_{D4} = 0{,}0016$)

Выводы. В работе предложена методика параметрического синтеза регулятора системы автоматического управления для объектов высокого порядка частотным методом проверена на примере модели системы управления объекта седьмого порядка. Во всех расчетах параметров ПИД-регулятора по частотным характеристикам при различных значениях запасов по фазе: 45°, 60°, 75°, 90° переходный процесс без значительного перерегулирования, что наиболее благоприятно для гидравлических приводов. Но при запасах по фазе $\gamma_1 = 45°$, $\gamma_2 = 60°$ по переходной характеристике наблюдалось перерегулирование. Точность управления и быстродействие процесса полностью обеспечены при всех значениях запасов по фазе. Оптимальные результаты получены с запасом по фазе 75° и 90°.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Справочник по асфальтоукладчикам Vogele. Советы и указания по укладке асфальтобетона асфальтоукладчиками [Электронный ресурс] // Virtgen Group. Режим доступа: http://www.b-construction.ru/assets/files/new-508_spravochnik_Vogele.pdf.

2. Прокопьев А.П., Иванчура В.И., Емельянов Р.Т. Методы управления технологическими процессами строительства асфальтобетонных покрытий: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. 255 с. URL: http://catalog.sfu-kras.ru; http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib_bas/u62/i-878404.pdf.

3. Прокопьев А.П., Иванчура В.И., Емельянов Р.Т., Кустарев Г.В. Автоматизация технологических процессов дорожного строительства: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 245 с. URL: http://catalog.sfu-kras.ru; http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib_tech/u62/i-982069.pdf.

4. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. 616 с.

УДК 681.5

А.П. Прокопьев, В.И. Иванчура, Р.Т. Емельянов, С.И. Колотвин
Сибирский федеральный университет

МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ УПЛОТНЕНИЯ СМЕСИ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКОМ

Актуальность. Вопросы качественного строительства дорог всегда актуальны, так как от этого зависит множество значимых факторов. Асфальтоукладчик обеспечивает укладку, профилирование и предварительное уплотнение слоя асфальтобетонной смеси, и поэтому является центральной машиной дорожно-строительного комплекта. На современных асфальтоукладчиках в качестве такого оборудования применяют систему «брус – плита» [1].

Уплотняющая способность асфальтоукладчиков позволяют обеспечить максимальный коэффициент уплотнения, но ручное управление этим процессом является неэффективным, из-за отсутствия приборов текущего контроля степени уплотнения и большой физической нагрузки на машиниста-оператора при управлении асфальтоукладчиком. Применение нечеткой системы автоматического управления (САУ) процессом позволит решить существующие проблемы за счет использования алгоритмов в соответствии со знаниями опытного эксперта.

Нечеткие системы позволяют повысить качество регулирования и обеспечивают более высокую устойчивость к воздействию возмущающих факторов по сравнению с традиционными САУ.

Цель и задачи работы. Целью работы является разработка модели нечеткого регулятора системы управления процесса уплотнения смеси асфальтоукладчиком.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- разработка имитационной модели процесса уплотнения асфальто-укладчиком;
- синтез цифровой регулятора [2, 3] рабочим органом асфальтоукладчика;
- построение нечеткого регулятора средствами MATLAB&Simulink;
- моделирование и анализ процесса цифрового и нечеткого управления объектом в среде MATLAB&Simulink.

Цель управления объектом заключается в быстром изменении параметров в зависимости от времени, вида и величины возмущающих воздействий и действительного значения регулируемого параметра. Регулируемым парамером является частота трамбования (частота вращения эксцентрикового вала).

Объектом управления является система «гидравлический привод – трамбующий брус – уплотняемая среда». Модель объекта управления разработана средствами Simulink.

В качестве основной входной переменной регулятора рассматривается отклонение частоты вращения от заданного значения, а в качестве управляющего воздействия – изменение расхода рабочей жидкости, подаваемого на гидромотор привода эксцентрикового вала трамбующего бруса рабочего органа укладчика.

Разработаны лингвистические правила управления объектом, сформулирован-ных на основе знаний о динамике процесса, требованиях к его поведению и выражающих технологическую логику профессиональных действий машиниста оператора.

Нечеткая модель содержит следующие блоки:

фаззификатор, преобразующий вектор режимных параметров X в вектор нечетких множеств $\tilde{X}$, необходимых для выполнения нечеткого логического вывода;

нечеткую базу знаний,содержащая информацию о зависимости показателей качества $Y = f(X)$ в виде лингвистических правил типа «ЕСЛИ – ТО»;

машину нечеткого логического вывода, которая на основе правил базы знаний определяет значение выходной переменной в виде нечеткого множества $\tilde{Y}$, соответствующего нечетким значениям входных переменных $\tilde{X}$;

дефаззификатор, преобразующий выходное нечеткое множество $\tilde{Y}$ в четкое число Y.

В пакете Fuzzy Logic Toolbox реализованы нечеткие модели двух типов – Мамдани и Сугэно, различающихся форматом базы знаний и процедурой дефаззификации [4].

Реализована система нечеткого логического вывода с алгоритмом Мамдани.

Формально алгоритм Мамдани хорошо изучен и рассмотрен в работах [4 – 9].

Исходная информация для определения параметров нечеткого регулятора получена в результате моделирования системы с непрерывным регулятором: диапазон изменения входных и выходных переменных (для диапазона изменения соответствующих функций принадлежности).

Настройка нечеткого регулятора может осуществляться:

1) измененяя в модели параметры непрерывного регулятора. Эти изменения отслеживаются сразу по поведению выходных переменных объекта управления;

2) изменяя диапазоны функций принадлежности, число этих функций, правила.

Использование дифференцирующего регулятора. В некоторых случаях можно используя блок-ограничение после численного дифференцирования.

Разработана имитационная модель технологического процесса уплотнения смеси укладчиком. На рис. 1 представлена схема имитационной модели системы управления рабочим органом асфальтоукладчика с нечетким ПИ-регулятором, реализованная в среде MATLAB&Simulink.

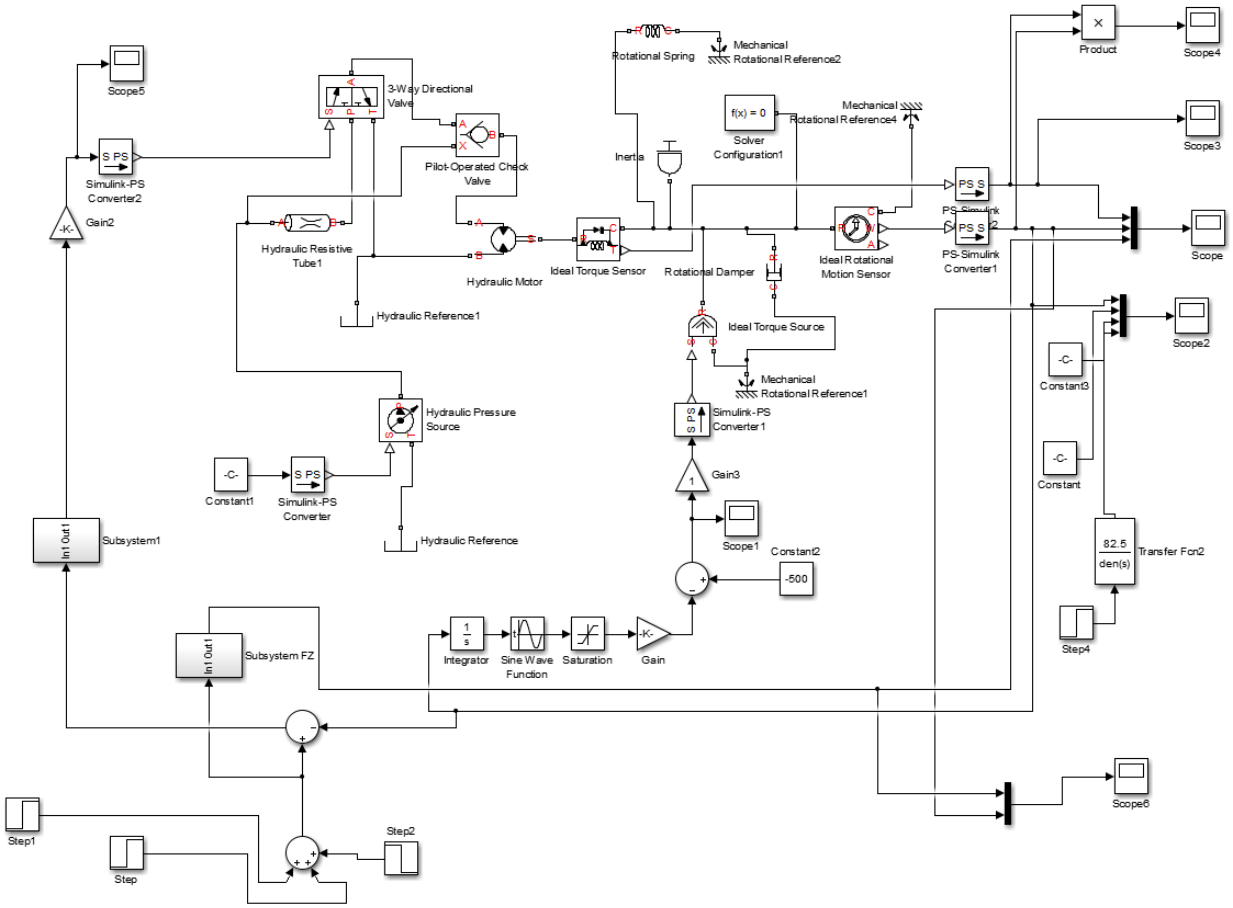


Рис. 1. Имитационная модель системы управления рабочим органом асфальтоукладчика с цифровым и нечетким ПИ-регулятором на языке MATLAB&Simulink

На рис. 2 приведены результаты компьютерного моделирования модели системы управления объектом с цифровым и нечетким ПИ-регулятором. Красным цветом показано изменение угловой скорости на валу гидравлического двигателя во времени при цифровом регулировании, синим цветом – при нечетком регулировании.

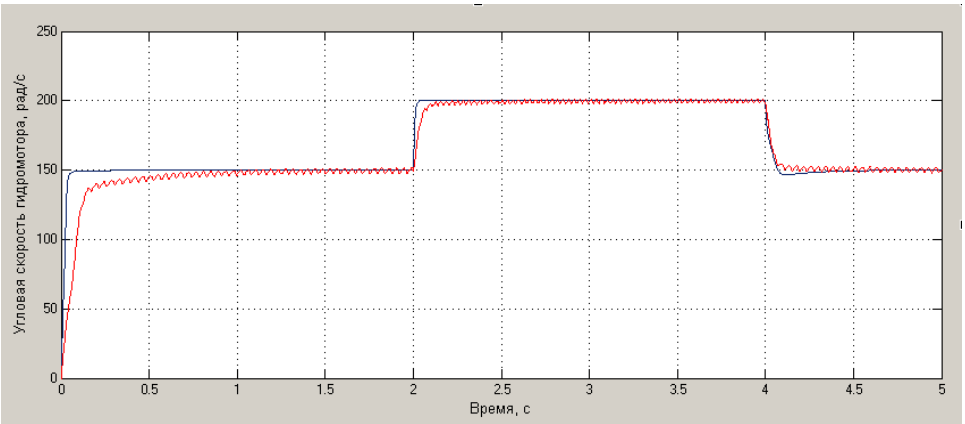


Рис. 2. Изменение угловой скорости гидромотора во времени при цифровом и нечетком регулировании

Выводы. По результатам моделирования можно отметить, что перерегулирование не наблюдается ни в одной из систем автоматического управления. Время переходного процесса значительно меньше 1 с. Лучший результат по времени переходного процесса показывает система управления на основе нечеткой логики.

Сравнительный анализ систем управления с цифровым и нечетким регуляторами показал, что система с нечетким регулятором предпочтительнее остальных. Для процессов, имеющих повышенную сложность, неопределенность, рекомендуется использование систем управления с интеллектуальными регуляторами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Справочник по асфальтоукладчикам Vogele. Советы и указания по укладке асфальтобетона асфальтоукладчиками [Электронный ресурс] // Virtgen Group. Режим доступа: http://www.b-construction.ru/assets/files/new-508_spravochnik_Vogele.pdf.
2. Говоруха Е.В., Прокопьев А.П., Иванчура В.И. Разработка модели системы управления уплотняющим рабочим органом асфальтоукладчика // Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ. Часть 1. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 344 с.
3. Иванчура В.И., Прокопьев А.П., Говоруха Е.В. Имитационная модель цифровой адаптивной системы управления рабочим органом асфальтоукладчика // Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611754 от 10.02.2016 г.
4. Солдатов В.В., Гончаров А.В. Идентификация нелинейных систем с использованием нечеткого логического вывода // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государств. агроинженерный ун-т им. В.П. Горячкина». Выпуск № 3, 2008. С. 76–80.
5. Mamdani E.H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic Systems // Fuzzy Sets and Systems. 1977. vol. 26. pp. 1182–1191.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ Петербург, 2005. 736 с.
7. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 284 с.
8. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab. 2007. 288 с.
9. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 416 с.

УДК 681.5

А.П. Прокопьев, Р.Т. Емельянов, А.С. Шулбаева
Сибирский федеральный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ПРОЦЕССОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕСИ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКОМ

Актуальность. Особенностью современного этапа развития отрасли дорожного строительства является внедрение систем автоматического управления (САУ) технологическими процессами в асфальтоукладчиках и асфальтовых вибрационных дорожных катках. Основной машиной дорожно-строительного комплекта является асфальтоукладчик.

Асфальтоукладчик обеспечивает приемку, транспортирование, укладку, профилирование и предварительное уплотнение слоя асфальтобетонной смеси (АБС) [1]. Асфальтоукладчик как объект управления представляет собой сложную техническую систему, состоящую из нескольких систем автоматического управления.

Транспортирование смеси выполняется скребковым питателем, а распределение по ширине покрытием – шнековым распределителем.

Рассматривается система управления агрегатами асфальтоукладчика перемещающими смесь, для которой предложено использовать нечеткий регулятор. Регулируемым параметром является скорость питателя, которая должна соответствовать заданному значению обеспечивающему текущую производи-тельность подачи смеси к рабочему органу укладчика.

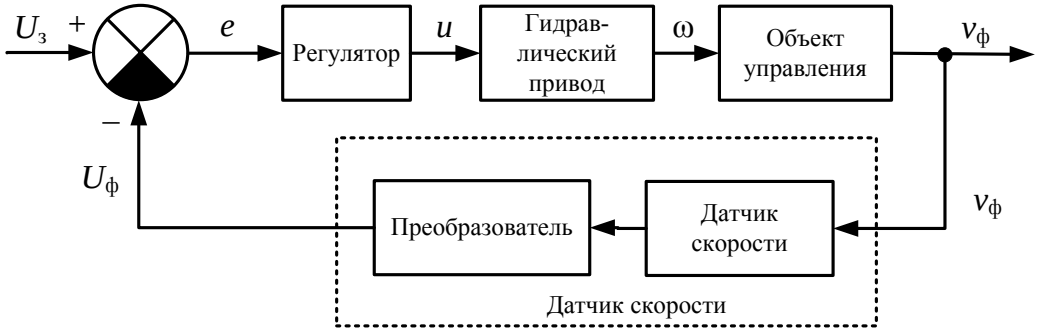
Использование нечеткой логики в системах управления позволяет уменьшить нагрузку на оператора машины. Регуляторы, построенные на базе нечеткой логики, в ряде случаев способны обеспечить более высокие показатели качества переходных процессов по сравнению с классическими регуляторами, особенно в условиях многофакторных возмущений: характеристики окружающей среды; характеристики асфальтобетонной смеси; характеристики дорожного основания.

Развитие теории синтеза систем управления процессами дорожно-строительных машин на основе интеллектуальных технологий является актуальной задачей.

Цель и задачи работы. Целью работы является разработка имитационной модели нечеткого регулятора системы управления агрегатами транспортирования смеси асфальтоукладчиком.

Объект исследования: нечеткая система управления технологическим процессом транспортирования и распределения асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком.

Функциональная схема САУ процессом транспортирования АБС показана на рис. 1.



$U_з$ – напряжение соответствующее заданной скорости питателя; e – сигнал ошибки ($e= U_з – U_ф$); u – управляющий сигнал; ω – частота вращения гидромотора; $v_ф$ – фактическая скорость питателя; $U_ф$ – сигнал, соответствующий фактической питателя

Рис. 1. Функциональная схема САУ

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

– разработана имитационная модель процесса распределения асфальтобетонной смеси укладчиком;

– выполнен синтез цифрового регулятора [2] системы управления шнековым распределителем асфальтоукладчика;

– средствами программного обеспечения MATLAB&Simulink разработана модель нечеткого регулятора;

– выполнено имитационное моделирование и анализ процесса нечеткого управления объектом в программной среде MATLAB&Simulink.

Цель управления объектом заключается в изменении параметров в зависимости от времени, вида и величины возмущающих воздействий и действительного значения регулируемого параметра. Регулируемым парамером является скорость питателя (частота вращения вала привода).

Объектом управления является система «гидравлический привод – скребковый питатель». Модель цифровой системы управления объектом управления разработана средствами Simulink.

В качестве основной входной переменной регулятора рассматривается отклонение фактической скорости питателя от заданного значения, а в качестве управляющего воздействия – изменение расхода рабочей жидкости, подаваемого на гидромотор привода шнекового распределителя асфальтоукладчика.

Для проектирования нечеткого регулятора разработаны лингвистические правила управления объектом, сформулированные на основе знаний о динамике процесса, требованиях к его поведению. Реализована система нечеткого логического вывода с алгоритмом Мамдани [3, 4, 5]. Алгоритм работы системы нечеткого вывода для данной системы разработан в пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB [4].

Исходная информация для определения параметров нечеткого регулятора получена в результате моделирования системы с непрерывным регулятором: диапазон изменения входных и выходных переменных (для диапазона изменения соответствующих функций принадлежности).

Разработана имитационная модель САУ процессом распределения смеси асфальтоукладчиком с нечетким регулятором, реализованная в программной среде MATLAB&Simulink, рис. 2.

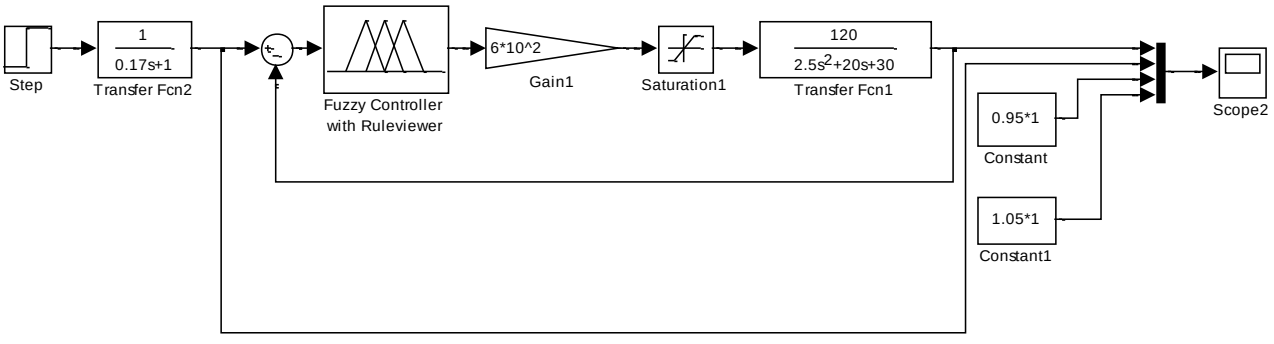


Рис. 2. Модель системы регулирования скорости распределения смеси с нечетким регулятором

Результаты моделирования переходного процесса приведены на рис. 3.

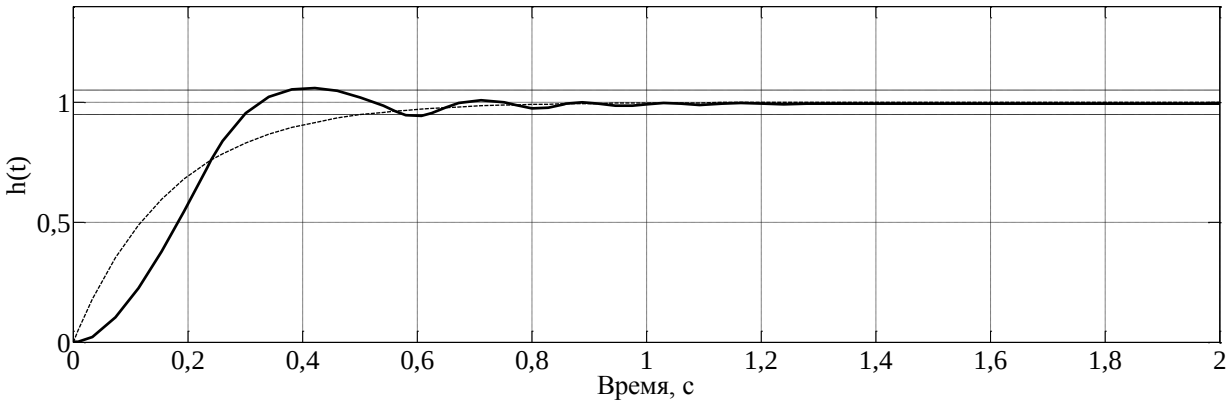


Рис. 3. Переходная характеристика $h(t)$ с синтезированными параметрами нечеткого регулятора

Выводы. В результате научно-исследовательской работы решены задачи теоретического анализа технологического процесса распределения смеси асфальтоукладчиком при строительстве дорожного покрытия, получения информации о режимах рабочего процесса, разработаны имитационные модели системы управления с цифровым и нечетким регуляторами. По результатам имитационного моделирования можно отметить, что перерегулирование не наблюдается ни в одной из вариантов системы автоматическогог управления. Время переходного процесса значительно меньше одной секунды. Сравнительный анализ результатов компьютерного моделирования систем управления с цифровым и нечетким регуляторами показал, что система с нечетким регулятором предпочтительнее.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Справочник по асфальтоукладчикам Vogele. Советы и указания по укладке асфальтобетона асфальтоукладчиками [Электронный ресурс] // Virtgen Group. Режим доступа: http://www.b-construction.ru/assets/files/new-508_spravochnik_Vogele.pdf.
2. Иванчура В.И., Прокопьев А.П., Кныш Н.В. Имитационная модель цифровой системы управления подачей и распределением асфальтоукладчиком // Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611878 от 12.02.2016 г.
3. Comparison of Sugeno and Mamdani Systems. URL: www.mathworks.com/help/fuzzy/comparison-of-sugeno-and-mamdani-systems.html.
4. Mamdani, E.H. and S. Assilian An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 7, No. 1, pp. 1-13, 1975.
5. Mamdani E.H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic Systems // Fuzzy Sets and Systems. 1977. vol. 26. pp. 1182–1191.

УДК 681.5

А.П. Прокопьев, В.И. Иванчура, Р.Т. Емельянов, А.И. Баранова
Сибирский федеральный университет

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НИВЕЛИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКОМ

Актуальность. Процесс нивелирования продольного и поперечного профиля автомобильных дорог при строительстве осуществляется рабочим органом

асфальтоукладчика. Описание процесса нивелирования представляет собой сложную задачу из-за вероятностного изменения параметров микрорельефа основания. Известно [1], что пропорционально-интегрально-дифференцирующие (ПИД) регуляторы обеспечивают плохие показатели качества при управлении нелинейными и сложными системами, а также при недостаточной информации об объекте управления. Динамические характеристики системы управления в этих случаях можно улучшить с помощью методов искусственного интеллекта.

Цель работы и задачи. Целью работы является разработка имитационной модели адаптивной системы автоматического управления (САУ) процессом нивелирования асфальтобетонного покрытия укладчиком на основе нечеткой логики.

Объектом управления является рабочий орган асфальтоукладчика. В процессе движения по основанию ходовая часть укладчика получает случайные перемещения в вертикальной и угловой плоскостях из-за неровности, что приводит к необходимости управления за счет изменения заданной толщины укладываемого слоя левого и правого края выглаживающей плиты. Современные системы управления используют различные контактные и бесконтактные копиры, выполняющие функции задающего воздействия.

Целью управления является нивелирование дорожного покрытия с заданными размерами поперечного и продольного профиля дороги. Управляемые величины в системе управления: поперечный уклон поверхности слоя; толщина слоя; ровность поверхности. Изменение положения выглаживающей плиты укладчика выполняется с помощью гидравлических исполнительных механизмов, которые корректируют текущее положение его по отношению к вертикальной оси (поперечный уклон) и по отношению к горизонтальной плоскости, задаваемой бесконтактным копиром. Для получения информации о высотном положении рабочего органа используются датчики положения, рис. 1.

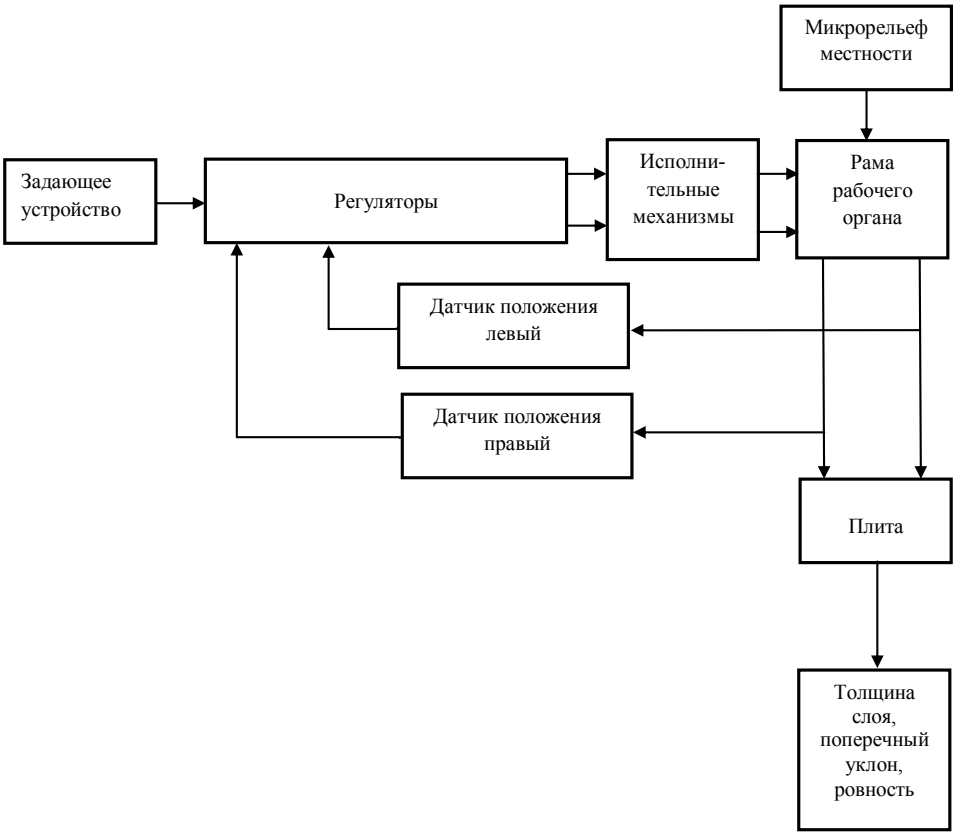


Рис. 1. Функциональная схема САУ нивелированием асфальтоукладчиком

При создании систем управления, используемых для работы в условиях неполной или нечеткой информации, неопределенности, часто используются технологии искусственного интеллекта [3]. Такие технологические условия соответствуют процессам при строительстве автомобильных дорожных покрытий. В работе [4] получена модель следящей САУ в программной среде MATLAB&Simulink.

Разработка нечеткого регулятора начинается с построения зависимостей входных и выходных величин. Для этого используются знания эксперта. Но так как микрорельеф основания дороги заранее не предсказуем, то для разработки системы автоматического управления положением выглаживающей плиты укладчика этот способ не применим.

Входной величиной нечеткого регулятора является входной сигнал системы гидропривода следящей системы, выходным – перемещение выглаживающей плиты.

Нечёткая система создается при помощи встроенных инструментов графического интерфейса пользователя (GUI-модули) пакета Fuzzy Logic Toolbox. Из предлагаемых в пакете алгоритмов использована нечеткая система Мамдани.

Функция принадлежности переменной формируется с учетом данных показанных на рис. 2. Для лингвистического описания входной переменной выбраны девять гауссовых термов (NB, NM, NS, ZN, Z, ZP, PS, PM, PB) и симметричные диапазоны их изменения. Из списка доступных функций выбран тип функции распределения gaussmf. Выбор функции принадлежности здесь обусловлен тем, что предполагается нормальное распределение для входного сигнала vxod.

Аналогично заданы функции принадлежности для переменной vixod. Изменение переменной vixod в диапазоне от 0 до 0,25 м. Использована треугольная функция принадлежности trimf. Лингвистические переменные mf1 – mf9 характеризуют выходные данные системы по возрастанию в диапазоне от 0 до 0,25 м.

Структурная схема модели адаптивной системы управления нивелированием асфальтоукладчика с пропорционально-интегральным (ПИ) и нечетким регулятором приведена на рис. 2. Схема реализована с добавлением нелинейного элемента (нелинейность типа ограничение) обусловленного работой гидрораспределителя. Также в схему добавлен фильтр, предназначенный для уменьшения перерегулирования.

Сравнительный анализ результатов работы системы управления с ПИ-регулятором [4] и нечетким регулятором (рис. 2). Моделирование системы управления проведено средствами MATLAB&Simulink. Графическая реализация результатов моделирования системы управления с нечетким и ПИ-регулятором представлены на рис. 3.

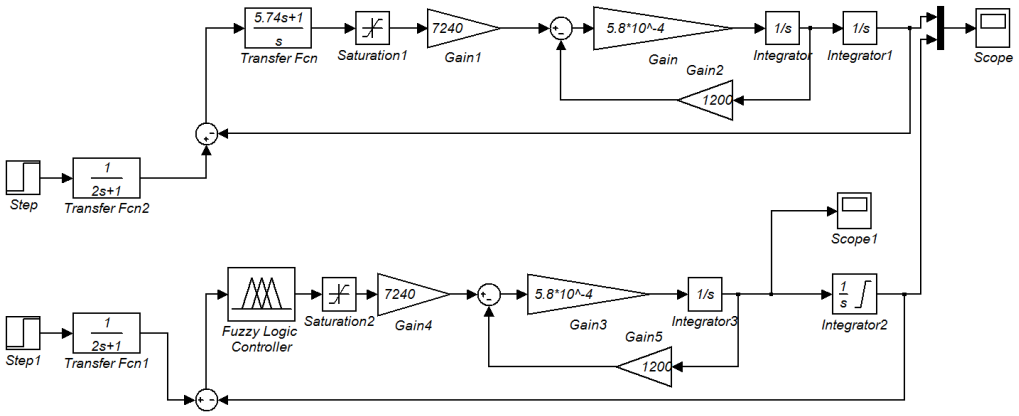


Рис. 2. Структурная схема модели адаптивной системы управления нивелированием укладчиком с ПИ и нечетким регулятором

Переходный процесс изменения положения выглаживающей плиты укладчика с использованием нечеткого регулятора показывает улучшенные показатели качества переходного процесса по сравнению с непрерывным ПИ-регулятором.

Время регулирования при перемещении выглаживающей плиты на 0,25 м значительно уменьшилось с 17 с до 5,5 с, перерегулирование отсутствует.

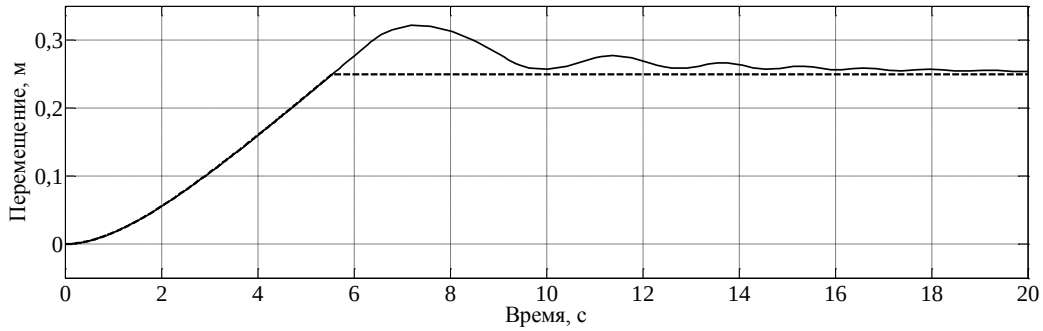


Рис. 3. Результаты моделирования работы модели САУ с ПИ-регулятором (——) и нечетким регулятором (- - -) при перемещении выглаживающей плиты укладчика на 0,25 м

Выводы. Разработана модель следящей САУ с нечетким регулятором. Выполнено сравнение работы САУ с нечетким и ПИ-регулятором. Система с нечетким регулятором показывает улучшенные показатели качества рабочего процесса.

Использование регулятора на основе нечеткой логики позволяет избежать перерегулирования и обладает значительно меньшим временем отработки. Время регулирования уменьшается с 17 с до 5,5 с при перемещении плиты на 0,25 м.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Денисенко В. В. ПИД–регуляторы: принципы построения и модификации // СТА. № 4–5. 2006. С. 66–74.

2. Костельов М. П., Пахаренко Д. В., Бринкс З. К. Как правильно выбрать и настроить асфальтоукладчик // Каталог–справочник «Дорожная техника – 2007». Вып. № 70. 2007. URL: http://www.mrmz.ru/article/v70/ article1.htm.

3. Интеллектуальные системы автоматического управления / Под. ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 576 с.

4. Иванчура В. И., Прокопьев А. П. Оптимизация следящей системы автоматического управления // Вестник СибГАУ. Вып. 5. 2011. С. 44–49.

УДК 681.5

М.С. Андреев, В.И. Иванчура, Р.Т. Емельянов
Сибирский федеральный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКОМ

Актуальность. Строительство автомобильной дороги состоит из технологических процессов, выполняемых в определенной последовательности. Основным комплектом при строительстве асфальтобетонных покрытий является система «асфальтоукладчик – вибрационные катки легкого, среднего и тяжелого типов».

Особенностями технологического процесса дорожного строительства являются: выполнение процесса на открытом воздухе и зависимость от факторов погоды; изменения

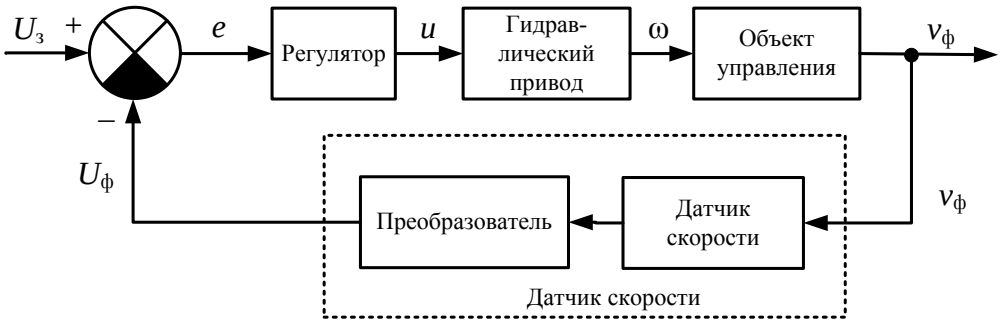
характеристик смеси и покрытия в течении времени; изменение толщины покрытия на разных объектах; технический уровень дорожно-строительных машин; квалификация рабочих, и другие. Таким образом, асфальтоукладчик, как объект управления, представляется как многомерная сложная техническая система (в зарубежной классификации система MIMO) состоящая из подсистем со своими САУ. Скорость движения укладчика является значимым фактором влияющим на качество асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги. Известно, что при строительстве дороги скорость асфальтоукладчика должна быть постоянной от 1,6 м/мин до 3 м/мин.

Современные асфальтоукладчики оснащаются гусеничными и пневмоколесными ходовыми устройствами. Важная функция ходовой части укладчика обеспечение заданной скорости при выполнении технологических операций: приемки смеси; перемещение питателем; распределение смеси по ширине покрытия; нивелирование профиля поверхности; уплотнение смеси. Привод ходовой части укладчиков объемный гидравлический [1].

Развитие теории и практики систем автоматического управления (САУ) дорожно-строительными машинами является актуальной тематикой научно-исследовательских работ.

Цель работы. Целью работы является разработка модели нечеткой системы управления скоростью асфальтоукладчика. Описание объекта управления – привода ходовой части асфальтоукладчика, выполнено в терминах переменных состояний. Выполнен анализ устойчивости объекта управления. Разработана имитационная модель системы управления скоростью движения укладчика [2]. Проведен параметрический синтез непрерывного и цифрового регулятора системы управления объектом на основе частотного метода.

Функциональная схема САУ скоростью движения укладчика показана на рис. 1.



$U_з$ – напряжение соответствующее заданной скорости укладчика; e – сигнал ошибки ($e = U_з - U_ф$);
u – управляющий сигнал; ω – частота вращения гидромотора;
$v_ф$ – фактическая скорость укладчика;
$U_ф$ – сигнал, соответствующий фактической скорости укладчика
Рис. 1. Функциональная схема САУ

Для дорожно-строительных машин нелинейность процессов проявляется в гидравлическом приводе основных механизмов и агрегатов. Значительный экономический эффект достигался путем внедрения пропорционально-интегрально-дифференцирующих (ПИД) регуляторов и микропроцессорной техники. Предложено рассмотреть систему управления скоростью движения асфальтоукладчика существующего контура с ПИД-регулятором таким образом, чтобы система имела алгоритм подстройки параметров регулятора в реальном масштабе времени. Для разработки алгоритма управления использована технология искусственного интеллекта – нечеткая логика. При использовании нечеткой логики возможно учесть шумы и помехи, которые представляют сложность для традиционных регуляторов систем управления технологическими процессами. ПИД-регуляторы с нечёткой логикой используются в системах кондиционирования воздуха, при

управлении автомобильными двигателями, для автоматического управления двигателем пылесоса и в других областях.

Для исследования принят алгоритм нечеткого вывода Мамдани, функций принадлежности (термов) входных переменных типа Гаусса и треугольные термы выходной переменной, рис. 2.

Разработана имитационная модель нечеткой системы управления на основе среды MATLAB&Simulimk (библиотеки SimScape и FuzzyLogicToolbox).

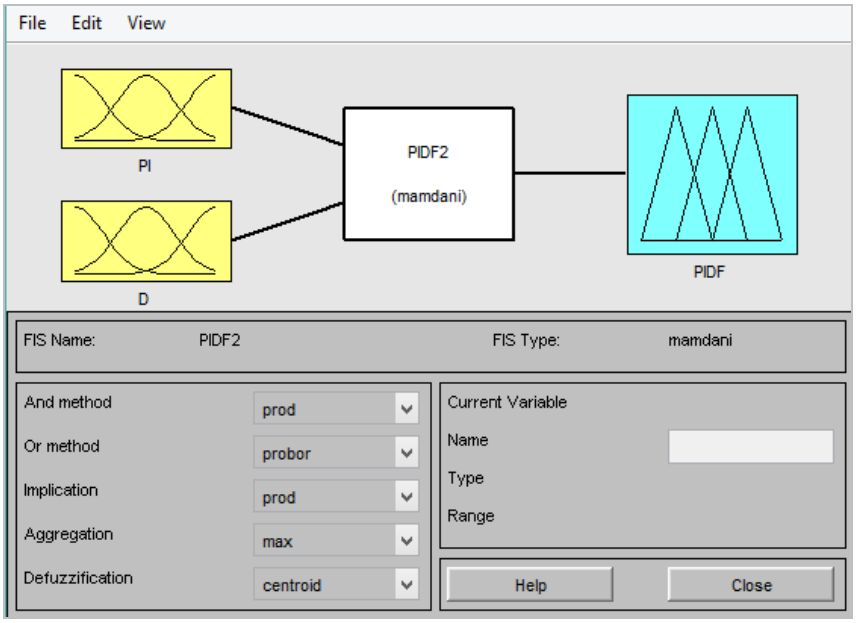


Рис. 2. Окно редактора «FIS Editor»

Проведено имитационное моделирование рабочего процесса модели системы управления скоростью движения асфальтоукладчика с цифровым ПИД-регулятором и нечетким регулятором, рис. 3. Исследовалась реакция системы управления на изменение монента нагрузки (Н м).

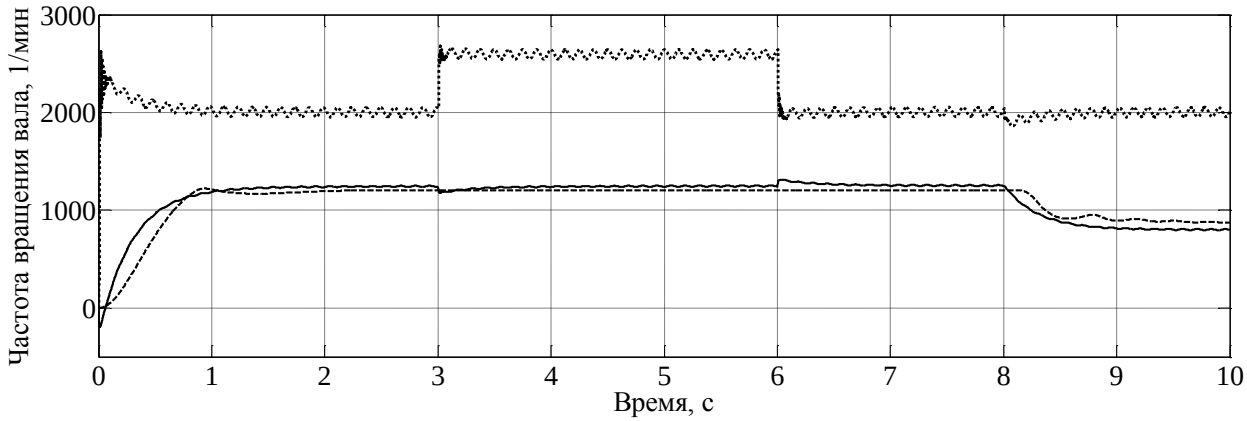


Рис. 3. График изменения частоты вращения вала гидромотора привода скоростью движения укладчика с цифровым ПИД (——) и ПИД нечетким (– – – –) регуляторами в зависимости от изменения момента (- - - -) нагрузки

Анализ результатов компьютерного моделирования показал следующее:

- динамические характеристики рабочего процесса системы управления с цифровым и нечетким регулятором имеют близкие значения;
- показатели качества управления нечеткого регулятора могут быть улучшены корректировкой лингвистических правил, выбором функций принадлежности;
- система управления скоростью движения асфальтоукладчика с нечетким регулятором обеспечивает лучшие показатели динамики рабочего процесса, что важно для длительной нормальной эксплуатации мобильных машин оснащенных гидравлическим приводом;
- преимущества использования нечеткой системы определяются возможностями настройки на основе опыта и качественных знаний профессионального эксперта, с применением цифровых технологий управления.

Выводы: В результате выполнения работы разработана имитационная модель нечеткой системы управления скоростью движения асфальтоукладчика. Работоспособность модели проверена моделированием рабочего процесса. Исходной информацией для синтеза параметров нечеткого регулятора являлись результаты анализа переходного процесса системы управления с непрерывным регулятором, разработанного для конкретной модели укладчика. Полученные результаты работы используются в учебном и научно-исследовательском процессе при подготовке магистров и бакалавров по направлению комплексной механизации и автоматизации строительства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Справочник по асфальтоукладчикам Vogele. Советы и указания по укладке асфальтобетона асфальтоукладчиками [Электронный ресурс] // Virtgen Group. Режим доступа: http://www.b-construction.ru/assets/files/new-508_spravochnik_Vogele.pdf.
2. Имитационная модель системы управления скоростью движения асфальтоукладчика / В.И. Иванчура, А.П. Прокопьев, Н.Н. Зуйкова // Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611927 от 10.02.2016 г.
3. Прокопьев А.П. Особенности синтеза регулятора нелинейной системы управления / А.П. Прокопьев, В.И. Иванчура, Р.Т. Емельянов // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2014. № 4(54). С. 72–80.

УДК 622.647.2

В.Ю. Коптев, А.С. Гамм
Санкт-Петербургский горный университет

ВЫБОР ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Введение. Особенности разработки месторождений полезных ископаемых, влияющих на применение транспорта, заключаются в круглогодичной работе в условиях изменяющихся дорожных условий, постоянном перемещении погрузочных пунктов, необходимости преодоления больших уклонов при подъёме горной массы и адаптации к изменяющимся объёмам перевозок, характеристикам горной массы и других факторах.

В процессе проектирования горнодобывающего предприятия, а также при его модернизации (изменении целей, объемов добычи и др.) уже на начальных этапах необходимо знать характеристики оборудования.

При выборе средств транспорта возникает много неопределенностей, не позволяющих проектировщику однозначно назначить вид машины для транспортных работ при

проектировании системы транспорта или выборе модели машины при модернизации парка транспортных машин горного предприятия. Большие сложности также испытывают эксплуатационники при приобретении техники для замены изношенной.

Существующий рынок предложений транспортного оборудования предлагает большое количество машин и их моделей. Например для открытых горных работ - автосамосвалы (более 20 фирм, с количеством моделей от единиц до нескольких десятков), автопоезда, колесные скреперы. Для шахт и рудников более 10 крупных фирм предлагают технологическое оборудование – погрузочно-доставочные машины, самоходные вагоны, подземные автосамосвалы. Очевидно, что задача выбора многовариантна, а применение метода со сравнением получаемых результатов и разнородных критериев (экономических, экологических, социальных, технологических и др.) не позволяет уверено определить лучший проект (вариант).

Производители транспортной техники постоянно совершенствуют свою продукцию, выпускают машины с улучшенными характеристиками, новой стоимостью и не подтвержденными эксплуатацией свойствами. В то же время производители нуждаются в определении плана выпуска новых машин и запасных узлов и уверенности, что эта техника будет востребована горной промышленностью. Им нужны оценочные показатели эксплуатационных свойств, достоверность потребности в производстве машин каждого типоразмера как в настоящее время, так и на перспективу и обоснованные предпосылки для разработки принципиально новых видов транспорта (машин).

Цель работы. Повышение эффективности транспортных систем горных предприятий на основе разработки методов оптимизации параметров различных моделей машин.

Количественную оценку показателей машины можно получить в результате анализа соотношения «цена – качество». Мировой рынок предлагает широкий выбор различных моделей от зарубежных производителей. При этом многие производители предлагают технику одинаковой грузоподъемности и мощности, но разной цены. При рассмотрении факторов, составляющих понятие качества с позиции покупателя машин, и с помощью анализа свойств и назначения потребителем индивидуальных требований производится определение лучших представителей машин по соотношению цена-качество. Однако цена на машину назначается изготовителем, который хочет получить максимальную, ограниченную только коньюктурными соображениями. Качественные показатели (производительность, экономичность, скорость и др.) конечно важны, но они ограниченно (односторонне) характеризуют возможности машин. Например, неполный учет этих показателей может привести к ситуации, что для некоторых рудников оптимальным будет сразу несколько моделей машин: одна для работы на затяжном автоуклоне, другая – для коротких маршрутов, третья для транспортирования под уклон. Это не лучшее решение при формировании парка машин, однако, как показывает практика, характерно для многих крупных рудников.

Выбор модели (типоразмера) машины, выполненный с анализом достоинств и недостатков различных моделей машин и применением методов оптимизации, позволяет выявить преимущество некоторых моделей над остальными, (разумеется, для данных конкретных условий) и, следовательно, обосновывает решение о закупке одной, наиболее рациональной модели, хотя, конечно, оптимальной для всего рудника она скорее всего не будет. Невозможно учесть при таком выборе изменения горно-технических условий работы предприятия. Возрастает вероятность ошибок выбора (риск от ущерба, упущенной прибыли, неэффективной модернизации), увеличивающаяся со снижением квалификации специалиста, принимающего решение, и роста предложений на рынке техники.

Особенность работы добычного предприятия заключается в необходимости учета масштабных и временных факторов при формировании грузопотока. С изменением объемов добычи (как увеличение, так и уменьшение) задача усложняется при формировании

сложного парков машин (разные модели, разные производители) и при замене парка (его части) в случае изменения параметров производства и горно-технических факторов.

Современный рудник проектируется со сроком эксплуатации, как правило, не менее 10-20 лет. Особо крупные имеют эксплуатационный период до 50 лет. За этот период первоначально запроектированное оборудование физически и морально устаревает и должно смениться в среднем 3-7 раз.

При анализе и синтезе технических систем, в том числе и транспортных систем горного производства, формируется большое количество альтернатив, из которых выбирают оптимальные с точки зрения эффективности (предпочтительности).

Для анализа системы необходимо просматривать множество структур (сочетаний элементов системы), описываемых набором влияющих факторов (переменных) [1]. При структурной оптимизации модели транспортной системы принимаются как вектор определяемый набором факторов:

$$(k; p; i; j; \bar{x}_1, \ldots \bar{x}_k; \bar{y}_1, \ldots \bar{y}_p; \bar{z}_{ij}; d), \qquad (1)$$

где k - число видов транспортных машин; p - число сочетаний (перегрузок с одного вида транспорта на другой); i – индивидуальный номер транспортной машины (1, … k); j - индивидуальный номер сочетаний (перегрузок); $\bar{x}_k$ – вектор характеристик транспортной машины; $\bar{y}_p$ – вектор характеристик сочетаний (перегрузок); $\bar{z}_{ij}$ – вектор размещения в схеме i–ой транспортной машины при j–м сочетании (перегрузок); d –организационные решения работы горных транспортных систем, учитывающие последовательную, параллельную или смешанную (комбинированную) схему транспорта.

Выбор схемы можно произвести по их эффективности работы, оцениваемой величиной риска снижения добычи (по вероятности безотказной работы) или показателю стабильной работы [2].

При задании критериев оптимизации и целевой функции можно решить задачу структурной оптимизации – выявить оптимальные параметры структуры транспортной системы: выбрать вид (или виды) и модели транспортных машин, учесть изменения параметров эксплуатации машин (условий), выявить не учитываемые ранее параметры систем (в виде других видов транспорта), их компоновки как элементов системы. При необходимости можно изменить задачу - определить требования к созданию принципиально новых видов транспорта и их сочетаний в транспортной системе [3].

В горной транспортной системе в качестве критерия служит показатель энергетической эффективности (удельная энергоемкость), т.е. затраты энергии (кВт) при транспортировании единицы груза (т) на единицу расстояния (км):

$$E = \frac{N}{Q \cdot L}, \qquad (2)$$

где N - мощность двигателя, кВт; Q - масса груза, транспортируемого в единицу времени, т/ч; L - расстояние транспортирования груза.

Транспортирование груза от места производства (добычи) до места доставки (потребления, переработки) рассматривается как движение материального потока, протекающего в пространственно-временной системе координат. Интегральным показателем транспортного потока является величина транспортных услуг, физический смысл которой – отображать величину расхода мощности транспортной машины за время транспортирования [4].

Результаты. В работе разработан метод структурной оптимизации для формирования транспортных систем с наиболее рациональными параметрами для определенных (конкретных) условий работы горных предприятий. В основе оптимизации парка машин:

энергетические и временные критерии, стабильность работы и характеристики транспортных маршрутов.

Вывод. Предложенный метод оптимизации обеспечит эффективное формирование парка машин в процессе проектирования горнодобывающего предприятия, а также при его модернизации (изменении целей, объемов добычи и др.).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. Учеб. пособие для студентов втузов. - М.: Машиностроение, 1988.- 368 с.
2. Коптев В.Ю. Обоснование выбора транспортных машин горных предприятий // Горная техника.М.:Славутич,2012г. .58-61.
3. Кулешов А.А. Проектирование и эксплуатация карьерного транспорта: Справочник. – СПб, 2005. 425 с.
4. Коптев В.Ю. Методология выбора транспортных машин для формирования транспортных систем горных предприятий // Современная техника и технологии. 2015. № 4 [Электронный ресурс]. URL: http://technology.snauka.ru/2015/04/6795 (дата обращения: 15.11.2015).

УДК 622.647.2:681.518.3

И.Н. Войтюк
Санкт-Петербургский горный университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШАХТНОГО ГРУЗОПОТОКА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УГОЛЬНОГО ПОТОКА МАГИСТРАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА

Актуальность. Для реализации метода автоматического измерения параметров угольного потока на ленточном конвейере не достаточно выявить зависимость интенсивности гамма-излучения от объемной массы контролируемого вещества. Также не достаточно выявить связь последней с производительностью и массовой концентрацией зольности. Для полного обоснования структуры автоматической измерительной системы необходимо проверить справедливость предложенного метода в условиях динамического режима, то есть непрерывности измерений. Для этого целесообразно спроектировать и рассчитать по имеющимся аналитическим зависимостям математическую модель грузопотока шахты, используя реальные условия функционирования угольной шахты, так как грузопоток представляет собой случайную величину с постоянно изменяющимися параметрами из-за загрузки конвейера в нескольких точках по его длине (сборочные конвейеры) и формирования грузопотока магистрального конвейера объединением нескольких параллельно питающих конвейеров.

Цели и задачи работы. Спроектировать и рассчитать по имеющимся аналитическим зависимостям математическую модель грузопотока шахты с использованием теории случайных статистических процессов, основанной на пульсационных измерениях, так как грузопоток представляет собой случайную.

Методы исследования. Для реализации поставленной цели используются методы анализа физических процессов взаимодействия гамма-излучения с веществом, теория потоков, теория случайных процессов и пульсационных измерений.

Результаты. Для реализации измерительной идеологии необходимо решить задачу нахождения математической модели измерительной системы применительно к шахтному грузопотоку магистрального конвейера. В общем случае, как видно из рисунка 1, грузопоток

конвейера $Q(t)$ можно представить в виде дискретной последовательности импульсов $\varphi_Q(t)$ со случайной длительностью поступления груза и случайными интервалами его отсутствия.

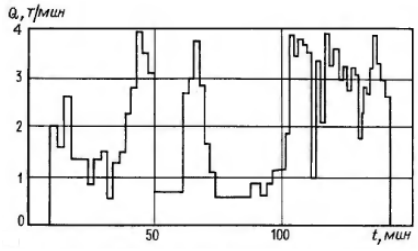


Рис. 1. Реализация транспортного грузопотока конвейера

Данная эмпирическая зависимость, как пример, получена из очистного забоя шахты «Комсомольская». Как видно из рисунка в пределах длительности импульсов грузопоток может быть описан как непрерывный, случайный процесс $Q'(t)$. Экспериментальные исследования показывают, что непрерывная часть грузопотока имеет распределение, близкое к нормальному, то есть функция плотности распределения описывается выражением [1]:

$$P(Q') = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{Q'}}} \exp\left[-\frac{\left(Q' - M_{Q''}\right)^2}{2\sigma^2{}_{Q'}} \right]^2 .$$

Автокорреляционная функция в этом случае равна [2]:

$$R_{Q'}(\tau) = \sigma^2{}_{Q'} \exp(-\alpha\tau).$$

При расчете транспортирующих машин, в частности конвейерных систем, работающих при случайных входных грузопотоках, важное значение имеют характеристики грузопотоков на различных интервалах времени. Для этого построим математическую модель для нахождения случайного распределения интенсивности квантов в угольном потоке на примере шахты «Комсомольская» ОАО «Воркутауголь», реализованную в среде MATLAB Simulink и представленную на рисунке 2.

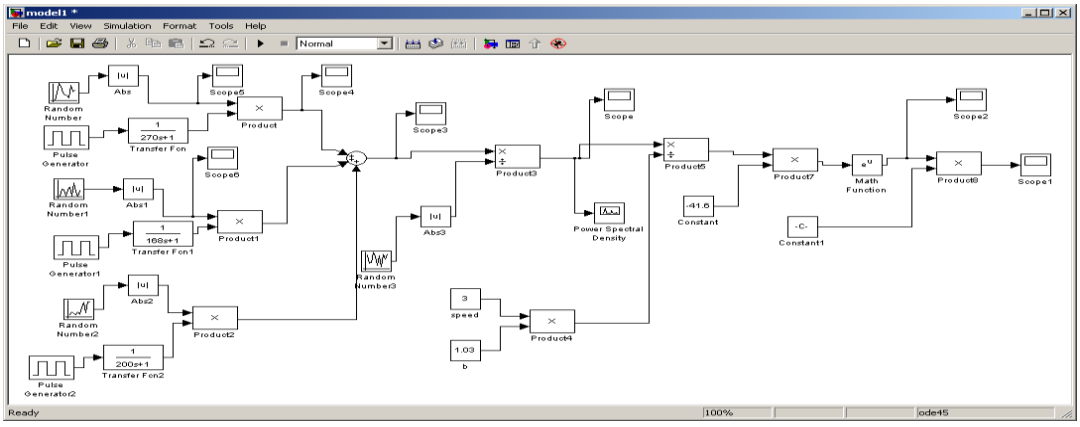


Рис. 2. Математическая модель объекта исследований

Для описания случайного процесса грузопоток-конвейер взяты данные от трех ленточных конвейеров и представлены в виде случайного сигнала с нормальным законом распределения. Данные расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Характеристики забойных грузопотоков

Статистические характеристики забойных грузопотоков	Среднее значение грузопотока, $\overline{m}, m/c$	Дисперсия, $\overline{D}, m^2/c^2$	Начальное значение
1	0.038	0.019	0
2	0.039	0.015	2
3	0.04	0.015	3

При сложении грузопотоков от трех забоев получаем суммарный секундный грузопоток для магистрального ленточного конвейера, характеристика которого представлена на рисунке 3.

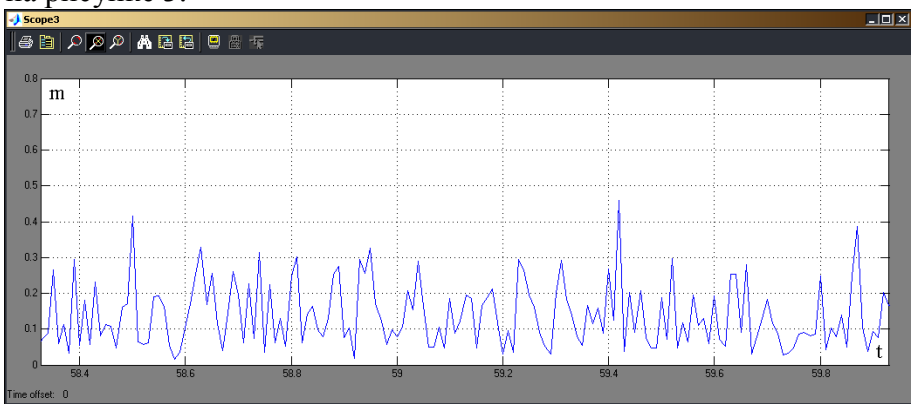


Рис. 3. Реализация случайного грузопотока шахты на магистральном ленточном конвейере

Для получения объемного расхода потока воспользуемся формулой:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{m}{\gamma \cdot t}, \tag{1}$$

где γ – случайное изменение объемной массы потока от трех забоев. Для нахождения изменения интенсивности прямого гамма-излучения воспользуемся формулой [3]:

$$N_1 = N_{10} \cdot e^{-\mu_л \cdot d}, \tag{2}$$

где $\mu_л$ – линейный коэффициент ослабления излучения, вычисляемый как:

$$\mu_л = \mu_м \cdot \gamma = 0.032 \cdot 1300 = 41.6, \tag{3}$$

d – оптимальное значение высоты слоя просвечиваемого потока, вычисляемое как:

$$d = \frac{Q}{b \cdot \nu}, \tag{4}$$

где b – рабочая ширина ленты конвейера, получаемая из соотношения [4]:

$$b = 0.9B - 0.05 = 0.9 \cdot 1.2 - 0.05 = 1.03м, \tag{5}$$

где ν – скорость движения ленты конвейера, для упрощения расчетов принятая постоянной и равной 3 м/с, N_{01} – интенсивность гамма-квантов без вещества, вычисляемая по формуле:

$$N_{01} = \frac{Q'}{4\pi \cdot r^2} = \frac{2.1 \cdot 10^{11}}{4 \cdot 3.14 \cdot 1} = 16.7 \cdot 10^9, \tag{6}$$

где Q' – интенсивность излучения источника, r – расстояние от источника излучения до блока детектирования, принятое равным 1м. После преобразования математической модели, получим характер изменения интенсивности гамма-излучения (Рис. 4).

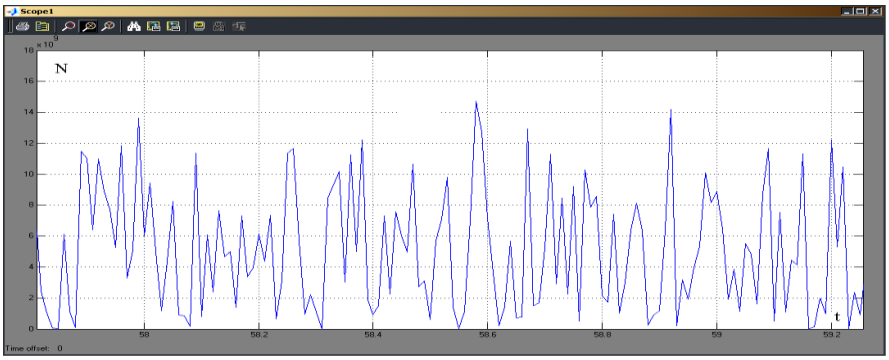


Рис. 4. График случайной функции распределения интенсивности γ – излучения

Выводы. Таким образом, получена зависимость объемной массы исследуемого угольного потока от интенсивности гамма-излучения в условиях случайного распределения плотности вещества и непрерывности измерений, что позволяет создание системы для измерения параметров транспортируемых потоков на действующих угольных предприятиях. Предполагается проверка полученных теоретических результатов исследований на магистральных конвейерных системах шахты «Комсомольская» ОАО «Воркутауголь».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко. Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. – М.: Из.-во МГГУ, 2005.
2. Большаков И.А. Прикладная теория случайных потоков / И.А. Большаков, В.С. Ракошиц – М.: Советское радио, 1978.
3. Изотов В.В. Эффект Комптона: Методическое пособие к лабораторным работам по атомной и ядерной физике / В.В. Изотов, О.А. Аникеенок, А.Г. Дыганов – Зеленодольск: изд-во ЗФ КГУ , 2007.– 18с.
4. Ромакин Н.Е. Конструкция и расчет конвейеров: Справочник. - Старый Оскол: Издательство ТНТ, 2011.

УДК 622.647.2:681.518.3

Л.Г. Ротару, И.Н. Войтюк
Санкт-Петербургский горный университет

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УГОЛЬНОГО ПОТОКА, ТРАНСПОРТИРУЕМОГО ЛЕНТОЧНЫМ КОНВЕЙЕРОМ

Актуальность. Ленточные конвейеры получили широкое распространение в самых различных отраслях промышленности. Они являются основным средством непрерывного транспорта на горных предприятиях. Широкое внедрение конвейеров на угольных шахтах является одним из важнейших факторов повышения технического уровня и эффективности горного производства и создает благоприятные условия для применения поточной технологии. Работа ленточных конвейеров напрямую зависит от объемной массы и производительности, а также от качества транспортируемого вещества. Так, определенное значение объемной массы часто служит показателем готовности того или иного материала, среднего размера изготавливаемых гранул, тонины помола, качества работы оборудования и другое [1]. Например, содержание в общем потоке частиц фракции 0,5—0 мм, оказывает большое влияние не только на его массу, но также и на общую работу конвейера, так как при

их высоком содержании ухудшаются условия загрузки конвейеров, увеличивается вынос пыли, что в большинстве случаев приводит к заштыбовке конвейерной ленты.

Физическая величина, характеризующая производительность конвейера - массовый расход транспортируемого вещества через воображаемую поверхность, перпендикулярную вектору скорости движения ленты конвейера [2]. Физическими величинами, характеризующими качество транспортируемого вещества, могут быть, например, его объемная плотность, степень насыщенности влагой, химический состав (наличие или отсутствие определенных компонентов или их количество), намагниченность, магнитная проницаемость, диэлектрическая проницаемость, температура, физические величины, характеризующие оптические свойства вещества, «степень однородности» и другие.

С учетом вышесказанного для обеспечения работы конвейера в заданном технологическом режиме и выполнения функций автоконтроля и внутренней диагностики в системе управления работой ленточного конвейера должна быть предусмотрена возможность использования данных о степени загрузки, производительности конвейера и качестве транспортируемого материала. Как показывает практика, оперативно и точно определить эти показатели практически невозможно. Особенно острая необходимость в таких измерениях возникает в случае: загрузки конвейера в нескольких точках по его длине (сборочные конвейеры) и формирования грузопотока объединением нескольких параллельно питающих конвейеров.

Цели и задачи работы. Целью является обоснование метода автоматического измерения параметров угольного потока, транспортируемого ленточным конвейером. Основные задачи работы: 1) разработать методику измерения объемной массы транспортируемого груза и производительности ленточного конвейера, используя аналитические данные формирования грузопотоков; 2) обеспечить оценку качества грузопотока на магистральном ленточном конвейере.

Методы исследования. Для реализации поставленной цели используются методы анализа физических процессов взаимодействия гамма-излучения с веществом.

Результаты. Для поставленных выше задач будем использовать радиоизотопный метод измерения. Основа метода – ослабление γ – излучения контролируемой средой. Этот эффект можно оценить количественно с помощью коэффициента ослабления, который чувствителен к плотности транспортируемого материала, его химическому составу, наличию различных неоднородностей среды в объеме взаимодействия [3]. При этом изменение интенсивности потока узкого пучка прямого гамма-излучения, прошедшего сквозь слой вещества объемной массой γ, толщиной d и постоянными во времени свойствами, подчиняется экспоненциальному закону Гуго-Ламберто-Берра [4]:

$$N_1 = N_0 \cdot \exp(-\mu_0 \cdot d) = N_0 \cdot \exp(-\mu \cdot \gamma \cdot d), \quad (1)$$

где N_0, N_1 – интенсивности потока прямого излучения при отсутствии и при наличии контролируемой среды соответственно; μ_0, μ – линейный и массовый коэффициенты ослабления прямого излучения средой. При взаимодействии с веществом, наряду с прямым, возникает рассеянное излучение, которое распространяется во всех направлениях.

Интенсивность потока рассеянного излучения, прошедшего через контролируемое вещество с объемной массой γ, при определенных условиях также описывается экспоненциальной зависимостью:

$$N_2 = N_0 \cdot \exp(-\mu_0 \cdot d) = N_0 \cdot \exp(-\mu \cdot \gamma \cdot d \cdot k) \quad (2)$$

где N_2 - интенсивность потока рассеянного излучения; μ_0, μ – линейный и массовый коэффициенты ослабления рассеянного излучения средой; k - поправка коэффициента линейного ослабления для рассеянного излучения; d, N_0 – коэффициенты.

При взаимодействии гамма-излучения с энергией в диапазоне 400-800 кэВ с горной массой регистрируется сумма прямого и рассеянного гамма-излучений. Таким образом, после сложения двух интенсивностей, объемная масса определяется:

$$\gamma = \frac{1}{\mu \cdot d \cdot (1+k)} \cdot \ln(N_0 - N), \tag{3}$$

где N_0, N – интенсивности потока излучения при отсутствии и при наличии контролируемой среды соответственно; μ – массовый коэффициент ослабления излучения средой, k - поправка коэффициента массового ослабления для рассеянного излучения; d - высота груза на ленточном конвейере.

Если мы определим объемную массу технологического потока на конвейере, мы можем определить массовый расход угля или производительность конвейера. Для этого будем использовать метод «площадь-скорость», согласно которому усредненный массовый расход угля на конвейере определяется по формуле:

$$G_{Муср} = S \cdot (1-\varphi) \cdot (1 - П_{уср}) \cdot \gamma_{уср} \cdot \nu_{уср}, \tag{4}$$

где S – площадь поперечного сечения потока на конвейере, определяемая экспериментально, $м^2$; φ – доля поперечного сечения потока, занятая пустой породой, $м^2$; $П_{уср}$ – усредненная за время $T_{уср}$ массовая доля примесей в общем потоке, %; $\gamma_{уср}$ – усредненная объемная плотность всего потока, полученная путем отбора проб пробоотборником, $кг/м^3$; $\nu_{уср}$ – усредненная скорость движения породы (скорость движения конвейера), $м/с$.

Наряду с количественными параметрами метод позволяет оценить качественные показатели исследуемого объекта. Теоретически установлено, что зольность угольного потока, транспортируемого по конвейеру, также можно оценить по характеру взаимодействия гамма-излучения с веществом, зная, что зольность угольного потока – это наличие в нем примесей пустой породы. Так, объемная масса угля с примесью или горной массы определяется по формуле:

$$\gamma_{г.м.} = (\gamma_у \cdot (\gamma_{п.п.} - \gamma_у)) \Big/ \left(\gamma_{п.п.} \cdot \left(\frac{1}{m_A} - 1 \right) + \gamma_у \right) + \gamma_у \tag{5}$$

где $\gamma_{п.п.}$, $\gamma_у$, $\gamma_{г.м.}$ - объемные массы пустой породы, угля и горной массы соответственно, кг/м^3, m_A – массовая концентрация пустой породы (золы) в составе смешанного потока, %.

Массовая концентрация золы в потоке вычисляется по следующей формуле:

$$m_{A.} = \frac{\gamma_{п.п.} \cdot (\gamma_{г.м.} - \gamma_у)}{\gamma_{г.м.} \cdot (\gamma_{п.п.} - \gamma_у)}. \tag{6}$$

Зависимость объемной массы горной массы и массовой концентрации пустой породы или минеральной зольности согласно выражению 7 представлена на рисунке 1.

На рисунке 2 представлено семейство характеристик, описывающее зависимость интенсивностей по прямому и рассеянному каналам от энергии излучений при различной зольности потока.

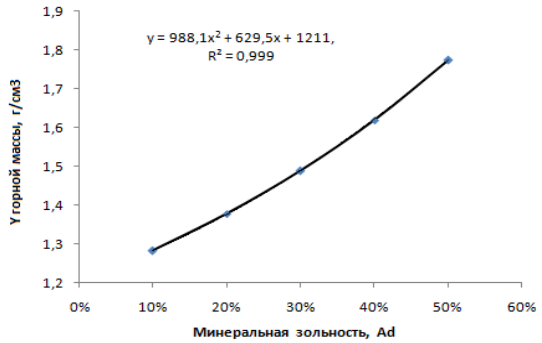


Рис. 1. Зависимость объемной плотности горной массы и минеральной зольности

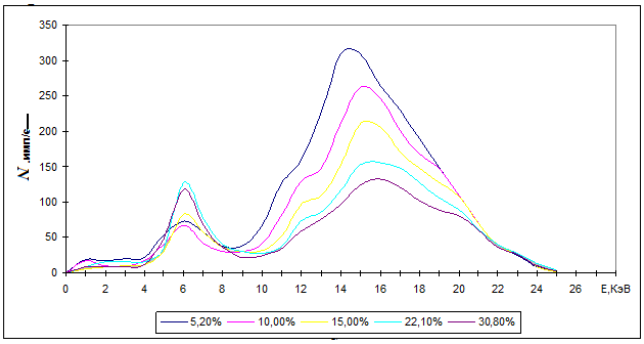


Рис. 2. Аппаратурные спектры гамма-излучения для проб угля с различной зольностью (A^d): верхний пик - A^d = 5,2 %, нижний - A^d = 30,8%

Выводы. В результате данный метод позволит обеспечить эффективность технологического учета добываемого полезного ископаемого допустимого качества и может быть использован, как на горнодобывающих и обогатительных предприятиях, так и в любой области производства, связанной с добычей и транспортировкой сыпучего материала.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: Учебник для вузов. - М.: Изд-во МГГУ, 2004.- Т. 2. Технология обогащения полезных ископаемых – 510с.
2. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко. Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. – М.: Из.-во МГГУ, 2005.
3. Макаров В.И. Блоки детектирования ионизирующих излучений.- М.: Кника по Требованию, 2012. – 38 с.
4. Лейпунский О.И. Распространение гамма – квантов в веществе. – М.: Физматгиз, 1960.

УДК 622.647.2:681.518.3

И.А. Шерстенникова, И.Н. Войтюк
Санкт-Петербургский горный университет

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УГОЛЬНОГО ПОТОКА, ТРАНСПОРТИРУЕМОГО ЛЕНТОЧНЫМ КОНВЕЙЕРОМ

Актуальность. Для обеспечения работы конвейера в заданном технологическом режиме и выполнения функций автоконтроля и внутренней диагностики необходимо иметь данные о производительности конвейера, объемной массе и качестве транспортируемого

материала. Промышленность пока не располагает номенклатурой приборов для комплексного измерения таких параметров непосредственно на ленточном конвейере. В ходе теоретических исследований установлено, что количество и качество исследуемого материала косвенно зависят от его объемной массы, которая в свою очередь зависит от интенсивности гамма-излучения, проходящего сквозь вещество, а именно:

$$\gamma = \frac{1}{\mu \cdot d \cdot (1+k)} \cdot \ln\left(N_0 - N\right), \qquad (1)$$

где N_0, N – интенсивности потока излучения при отсутствии и при наличии контролируемой среды соответственно; μ – массовый коэффициент ослабления излучения средой, k - поправка коэффициента массового ослабления для рассеянного излучения; d - высота груза на ленточном конвейере.

Однако для реализации данной идеологии недостаточно лишь теоретических исследований. Чтобы объективно оценить результаты исследований, необходимо показать их адекватность, что будет служить правильной и качественной их оценкой [1]. Поэтому необходимо проверить работу метода на практике.

Цели и задачи работы. Разработать бесконтактное автоматическое устройство и построить на его основе систему автоматического измерения объемной массы угольного потока, производительности ленточного конвейера и оценки качественных характеристик грузопотока на примере зольности угля. Кроме этого необходимо обосновать методику градуировки будущей системы на примере измерения производительности грузопотока.

Методы исследований. Для реализации поставленной цели используются экспериментально – аналитические методы исследований, теория планирования эксперимента.

Результаты. Функциональная схема измерительной системы состоит из блока гамма-излучения (БГИ), груза на ленточном конвейере, блоков детектирования (БД) и микропроцессора (МП), как показано на рисунке 1.

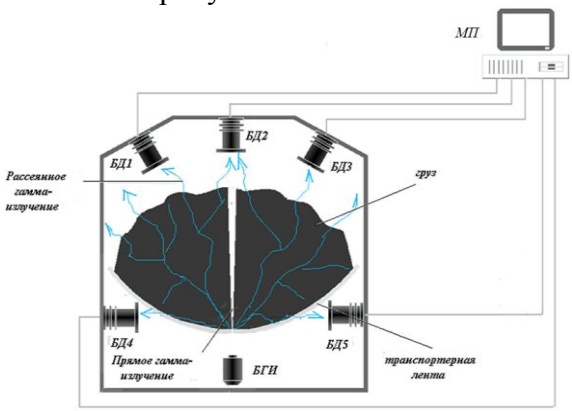


Рис. 1. Функциональная схема измерительной системы

Блок гамма-излучения представляет собой защитное коллимирующее устройство, с помощью которого формируется заданная ширина пучка излучения. Источник гамма-излучения, как правило, радионуклид Cs-137 с энергией излучения 661 кэВ.[2] БД предназначен для регистрации потока гамма - квантов сцинтилляционным детектором с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ), формирования спектрометрических сигналов, амплитуда которых пропорциональна энергии зарегистрированных квантов, выделения из общего потока зарегистрированных квантов двух его компонентов, соответствующих энергиям квантов, лежащих в двух непересекающихся энергетических диапазонах, обработки информации микроконтроллером по установленному алгоритму[3].

В процессе работы системы узкий пучок $\gamma-$квантов взаимодействует с материалом и преобразуется в две составляющие: прямое и рассеянное $\gamma-$излучение. После чего оно попадает в блоки детектирования, где преобразуется в последовательность электрических импульсов. Сигналы соотношения прямого и рассеянного потоков квантов попадают в МП, где преобразуются в цифровую форму и обрабатываются в соответствии с алгоритмами, обеспечивающими определение объемной массы контролируемого потока. Структурная схема блока детектирования в составе автоматической измерительной системы показана на рисунке 2:

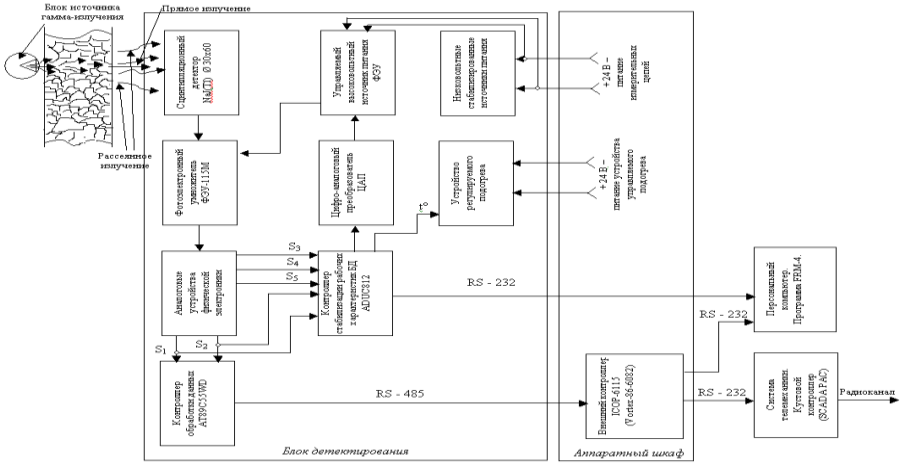


Рис. 2. Структурная схема блока детектирования в составе АИС

Градуирование измерительной системы на производительность осуществляется следующим образом: для сборного конвейера, осуществляющего погрузку в скип, экспериментально определяется массив измерений $\alpha = f(Q)$, где $\alpha-$показания прибора, $Q-$грузоподъемность скипа или перевалочного бункера, кг/с. Весь объем скипа (бункера) разделяется на уровни: $0.1\,Q$, $0.2\,Q$, $0.3\,Q$ и так далее, чтобы охватить весь динамический диапазон измерений. Градуировочная кривая строится на компьютере методом наименьших квадратов и затем заносится в память микропроцессора вторичного преобразователя.

Этот процесс повторяется несколько десятков раз и уже усредненная градуировочная характеристика в качестве рабочей заносится в микроконтроллер. В процессе эксплуатации обычно один раз в сутки проверяется ноль и чувствительность прибора путем перекрывания потока излучения пластинками из алюминия, стали или свинца. Обычно проверяются 3-4 точки по диапазону шкалы и «0» шкалы [4]. Градировка по какому-либо параметру – процесс очень длительный и трудоемкий, поскольку статистический материал набирается путем отбора представительных проб и определения в центральной заводской лаборатории количественного значения искомого параметра, например зольности. Схема процесса градуировки изображена на рисунке 3.

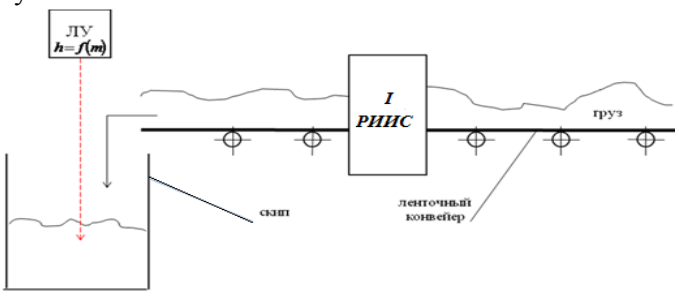


Рис. 3. Градуировка измерительной системы по массовому расходу или производительности

Принцип градуирования заключается в том, что лазерный уровнемер (ЛУ) показывает массу, связанную с высотой груза, погруженного в скип грузоподъемностью 20т. Параллельно с этим снимаются показания измерительной системы.

На основе полученных теоретических исследований строится итоговый алгоритм управления автоматической измерительной системой, представленный на рисунке 4.

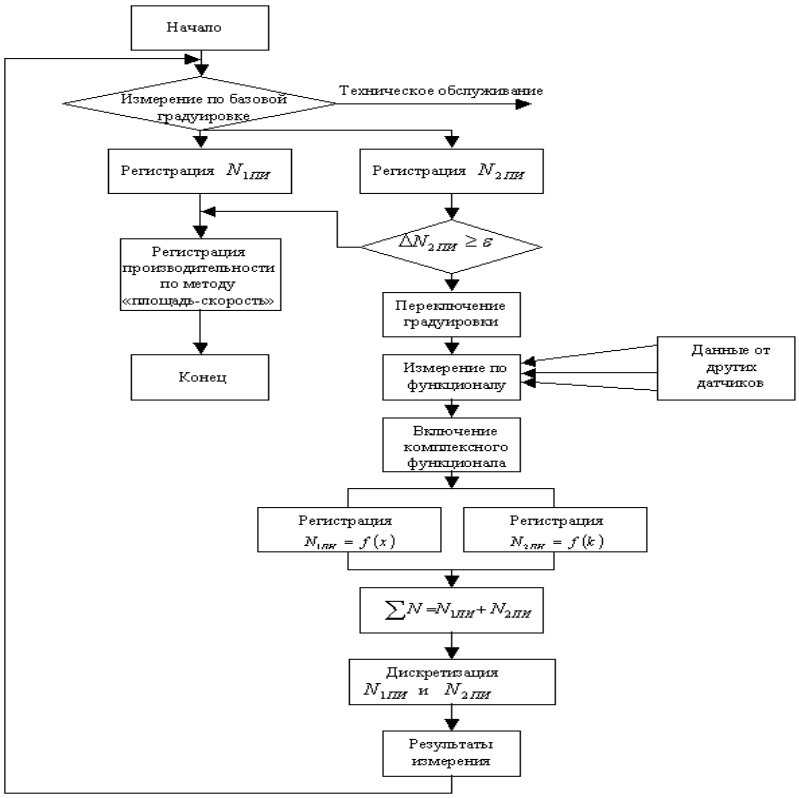


Рис. 4. Алгоритм управления АИС

Выводы. Предложенная измерительная система позволяет решить актуальную научно-практическую задачу комплексного измерения параметров грузопотока на ленточном конвейере.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тартаковский Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. - М.: Изд-во стандартов, 2001.

2. Беспалов В. И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учеб. пособие для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 370с.

3. Макаров В.И. Блоки детектирования ионизирующих излучений.- М.: Кника по Требованию, 2012. – 38 с.

4. Авдеев Б.А. Основы метрологии и электрические измерения: Учеб. для вузов / Б.А. Авдеев, Е.М. Душин – Л.: Энергоатомиздат, 1987.

УДК 625.76.08

Е.С. Епишков, В.А. Кузьмичев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОБЗОР И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ СМЕСИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время экономическое развитие Российской Федерации определяет процессы, связанные с созданием конкурентоспособного производства в различных отраслях промышленности. Так, например, одним из актуальных аспектов развития строительной индустрии является монолитное строительство, немаловажная роль в котором отводится приготовлению бетонных смесей на первоначальном этапе производства.

Анализ различных источников позволяет обнаружить многообразие существующих промышленных бетоносмесительных машин, реализованных на основе механической обработки с целью получения качественных бетонных смесей, т.е. получения их максимально-однородными по составу.[1, 2, 3, 4, 5]

Ниже представлен сравнительный обзор и анализ основных направлений в разработке средств реализации технологий, применяемых при интенсификации процессов перемешивания бетонных смесей. Информационно-аналитический поиск проводился с помощью Internet и позволил выявить 39 фирм-производителей 12 стран мира, выпускающих 98 различных по модификациям бетоносмесительных машин. Количественное и процентное соотношение найденных фирм-производителей бетоносмесительных машин по странам мира, по режиму работы и принципу перемешивания компонентов, а так же по типу перемешивающего механизма представлены на диаграммах (рис. 1, рис. 2, рис. 3).



Рис. 1. Количественное распределение найденных фирм-производителей бетоносмесительных машин по странам мира

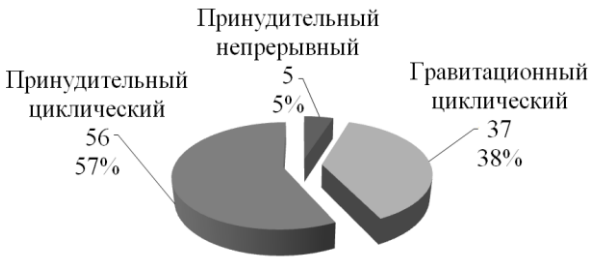


Рис. 2. Количественное распределение выпускаемых бетоносмесителей по режиму работы и принципу перемешивания компонентов

В целом аналитическо-информационный обзор позволил выделить следующее:

1. для создания бетоносмесителей нового поколения необходима разработка национальных стандартов в данной отрасли, соответствующих международным ISO 18650 и DIN 459;

2. для оценки готовности смеси в процессе смешивания необходимо создание контрольно-измерительных приборов, обеспечивающих мониторинг изменения структурно-реологических свойств смешиваемого материала, и разработка критерия оценки;

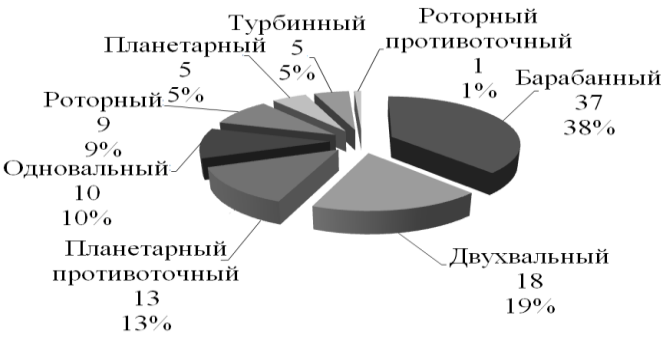


Рис. 3. Количественное распределение выпускаемых бетоносмесительных установок по типу перемешивающего механизма

3. для повышения интенсивности и качества процессов смешивания необходимо создание конструкций с использованием прогрессивных физических эффектов, например, тиксотропных превращений. Одним из таких направлений в совершенствовании конструкций смесителей является применение вибрации.

Проведен анализ различных конструкций вибрационных смесителей, найденных в литературных источниках, научных работах советских и российских авторов. Патентно-лицензионный поиск проводился с помощью Internet в базах данных патентных ведомств США, Германии, Европейского патентного ведомства, Японии, международных патентных заявок и патентного ведомства России «ФГУ ФИПС» в период 1938 по 2010 гг. в соответствии с ГОСТ Р15.011-96. Динамика патентования вибробетоносмесителей, распределение патентов по странам, а так же их количественное и процентное соотношение представлены на диаграммах (рис. 4, 5, 6, 7).

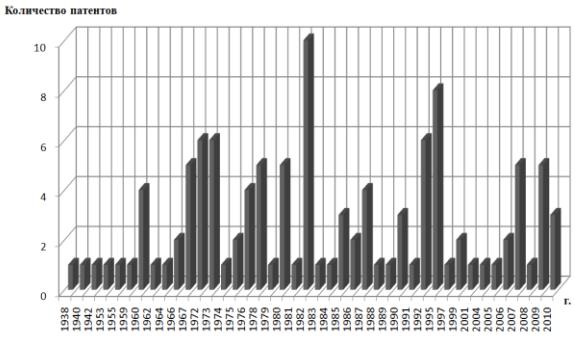


Рис. 4. Динамика патентования Вибробетоносмесителей



Рис. 5. Количественное распределение найденных патентов по странам

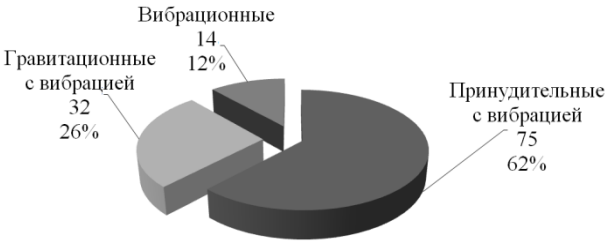


Рис. 6. Количественное распределение конструкций вибробетоносмесителей по трем основным групповым признакам

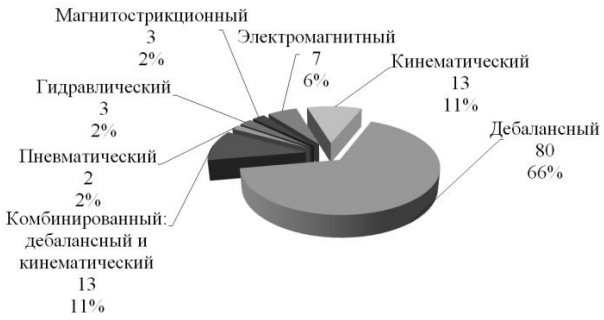


Рис. 7. Количественное распределение по типу вибровозбудителей

Следует отметить, что многочисленные исследования в области интенсификации технологических процессов с применением вибрации, проведенные российскими учеными, показали, что основные положения физико-химической механики дисперсных систем могут

быть успешно использованы и в процессах смешивания. Управление структурно-реологическими свойствами смесей на стадии перемешивания, в частности разрушение структуры смешиваемых материалов и, как следствие, уменьшение вязкости, позволяет повысить однородность смешиваемых материалов, качество продукции, влиять на процессы формования и т.п..

Вибромиксеры целесообразно использовать для смешивания высококонцентрированных дисперсных систем, например, шпатлевок, сухих смесей, порошков, красок и т.п..

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. – М.: Машиностроение, 1975. – 351 с.
2. Ефремов, И.М., Новые роторные смесители с различными системами вибровозбуждения / И.М. Ефремов, Д.В. Лобанов. – Строительные и дорожные машины. – 2008. – №9. – с. 7-9.
3. Ефремов, И.М. Вибробетоносмесители: путь длиной в 70 лет / И.М. Ефремов, Д.В. Лобанов. – Строительные и дорожные машины. – 2009. – №10. – с. 15-19.
4. Кузьмичев В.А. Основы проектирования вибромиксеров.- Verlag/ Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.-136с.
5. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973, – 216с.

УДК 621.874

А.В. Наумов, К.П. Манжула
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

УСЛОВИЕ ПЕРЕХОДА МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КРИВОЛИНЕЙНОЙ СТЕНКИ КОРОБЧАТОЙ БАЛКИ К ПОЯСУ

На данный момент самым частым решением для ездовых балок большинства мостовых конструкций, кранов пролетного типа являются коробчатые балки с прямолинейными стенками. Добавление радиуса кривизны стенкам балок не является распространённым инженерным решением, но имеет место быть. Существует ряд патентов таких странах, как США, Германия, Китай и Россия [1], в которых описываются способы реализации данной конструкции. Преимуществом коробчатых балок с криволинейными стенками является более высокая характеристика местной устойчивости [2].

Существующие методы аналитического расчета на местную устойчивость применимы только для балок с прямолинейными стенками. Условие устойчивости пластины при напряжении у верхнего пояса имеет вид $\sigma_{сж} \le \sigma_{кр} / n = [\sigma_{кр}]$, где $\sigma_{сж}$ - максимальное сжимающее напряжение в пластине, $\sigma_{кр}$ - критическое напряжение устойчивости, n – коэффициент запаса устойчивости [3]. Критическое напряжение находится по формуле $\sigma_{кр} = k_s K_{so} (t/d)^2$, где k_s - коэффициент устойчивости, отражающий влияние условий закрепления и распределения напряжений по ширине пластины, K_{so} - коэффициент, имеющий размерность МПа, t – толщина пластины, d – высота пластины. Длина пластины учитывается при определении k_s [4]. Обычно представленную выше методику расчета применяют для боковых стенок коробчатой балки. Это связано с тем, что конструкционно пояса делают менее широкими и более толстыми в сравнении со стенками. Из-за этого в балках с прямолинейными стенками потеря устойчивости не происходит в поясах.

Для балок с криволинейными стенками данная методика не применима, так как она не учитывает влияние радиуса кривизны стенок R (рис. 1).

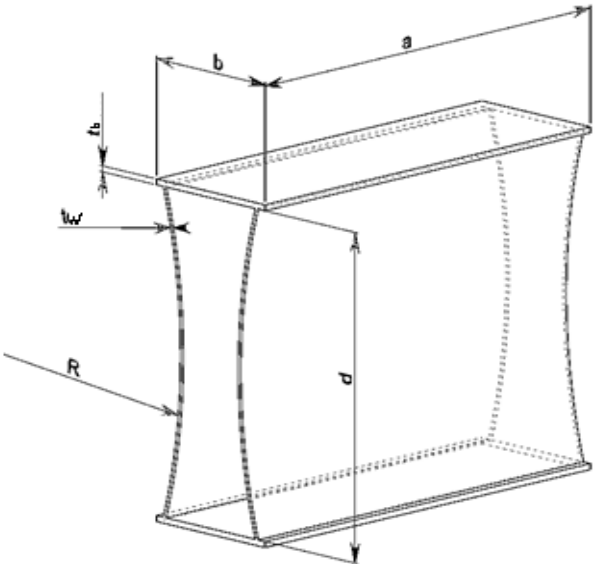


Рис. 1. Балка с криволинейнымистенками

Расчеты местной устойчивостибыли произведены помощью CAE-системы ANSYS [5]. Помимо того, что были получены критические напряжения потери местной устойчивости при различных способах нагружения и варьируемых геометрических параметрах, был выявлен ранее не учитываемый аспект при предварительном выборе геометрии балки. Он заключается в том, что не всегда потеря устойчивости происходит в криволинейной стенке, не смотря на ее меньшую толщину t_w. Потеря устойчивости может осуществляться в более толстом поясе (рис. 2).

Это происходит из-за того, что при добавлении радиуса кривизны R, место потери устойчивости смещается в сторону верхнего пояса. Если толщина пояса t_b будет не достаточно превосходить толщину стенки t_w, то при определенных значениях радиуса кривизны R потеря устойчивости произойдет именно в верхнем поясе.

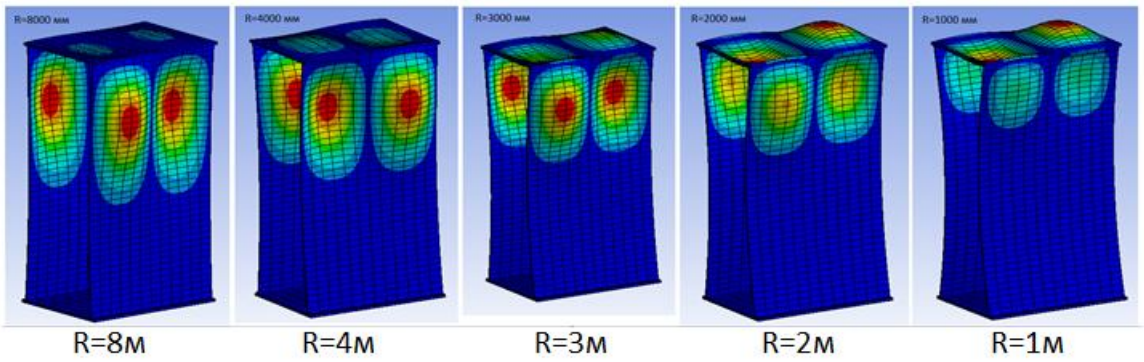


Рис. 2. Зона потери местной устойчивости в зависимости от радиуса кривизны

Чтобы определить зависимость геометрических параметров пояса и криволинейной стенки были произведены расчеты на местную устойчивость в программе ANSYS при значениях параметров, представленных в табл. 1.

Таблица 3 –Рассмотренный диапазон варьируемых геометрических параметров

t_b, мм	10 - 20
b, мм	300 - 600
R, мм	1000 - 5000
t_w, мм	6 - 10
d, мм	1000 - 1500

Из всех расчетных моделей были выбраны граничные (в которых при незначительном усилении геометрии стенки потеря устойчивости происходила в поясе). Из этих граничных

расчетных моделей были получены соотношения значений геометрии: $\beta = t_b / b$ и $\vartheta = (t_w R) / d^2$. Значения этих параметров были использованы для построения графической зависимости, представленной на рис. 3.

Была произведена аппроксимация полученной зависимостиуравнением прямой с помощью встроенной функции построения линии тренда в Excel. Она описывается следующим уравнением:

$$\beta = 1{,}3(\vartheta - 0.001).$$

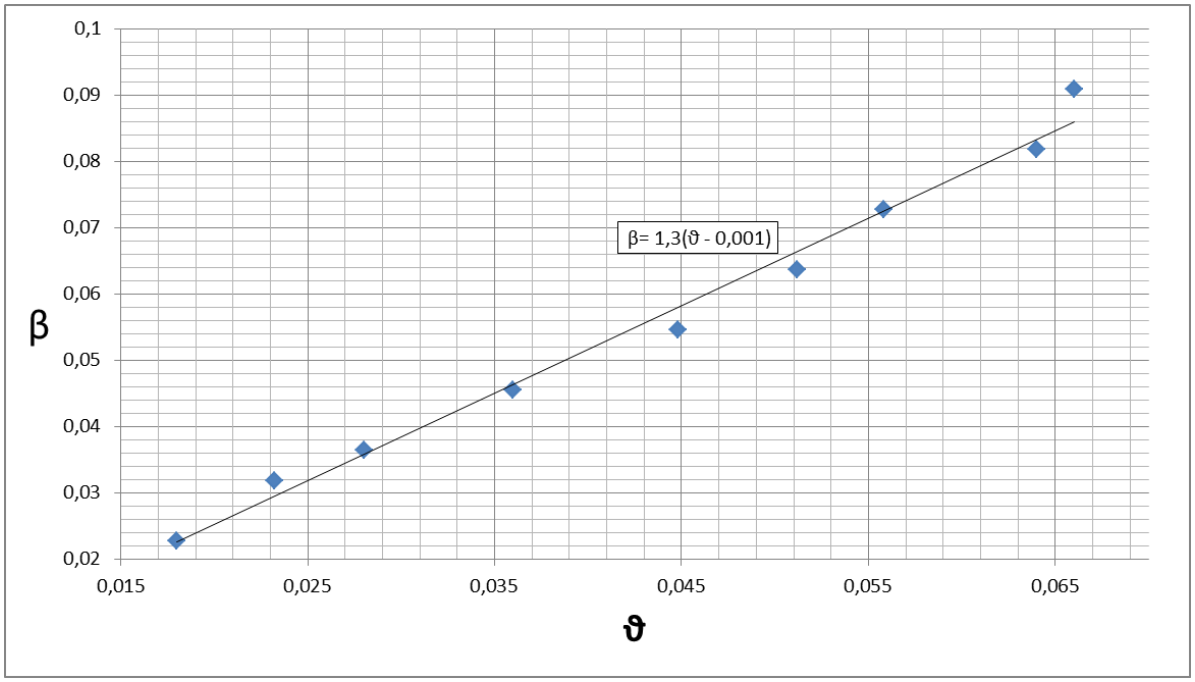


Рис. 3. График зависимости отношений геометрических параметров β и ϑ

Эта зависимость может быть использована для проверки геометрических параметров на первоначальном этапе проектирования металлоконструкций для коробчатых балок с криволинейными стенками. Подставляя значение отношений β и ϑ в полученное уравнение, находим проверочное неравенство в виде:

$$\frac{t_w \cdot R}{d^2} - \frac{t_b}{1.3 \cdot b} < 0.001.$$

Она обеспечивает условие потери местной устойчивости в криволинейных стенках коробчатых балок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Наумов А.В. Ездовые балки с криволинейными стенками // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы Международной научно-технической конференции. Под общ.редакцией Ш.М. Мерданова – Тюмень: ТИУ – 2016. – С. 195 – 200

2. Манжула К.П. Влияние кривизны стенок коробчатых балок на местную устойчивость / Манжула К.П., Наумов А.В. // Современное машиностроение: Наука и образование. Изд. Политехн. уни-та. 2016 с. 824-830.

3. Соколов С.А., Металлические конструкции подъемно-транспортных машин, учеб.пособие. / Соколов С.А., - СПб.: Изд-во Политехника, 2005. – 423с.

4. Тимошенко С.П., Устойчивость стержней, пластин и болочек, учеб. Пособие. / С.П. Тимошенко, - Москва: Изд-во Наука 1971. – 124с.

5. Басов К.А., Справочник по ANSYS, учеб.пособие. / Басов К.А., - Москва.: Изд-во ДМК-ПРОСС, 2005.

УДК 625.76.08

А.А. Муртазина, В.А. Кузьмичев
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВИБРОАКТИВАТОРЫ

Одним из путей интенсификации процессов смешивания является применение вибрации. При проектировании вибросмесительного оборудования целесообразно использовать метод *внутренней виброзащиты объекта*, позволяющий снизить уровень вибрации на окружающую среду, с одной стороны, и максимально использовать вибрационные воздействия на обрабатываемый материал, с другой. [1, 2, 3, 4]

Рассматриваемые виброактиваторы причисляют к вибровозбудителям с кинематическим возбуждением колебаний, принудительные колебания, корпуса которых осуществляются за счет использования плоской кинематической вращательной пары выполненной в виде колена.

Общеизвестным достоинством их является неизменность амплитуды колебаний, что обеспечивает в сочетании с постоянной частотой стабильную интенсивность вибрационных воздействий на смешиваемый материал независимо от его структурно-реологических свойств (гранулометрического состава, типа вяжущего и т. п.). Отличительным достоинством, имеющим важное значение, с точки зрения виброизоляции машины, рассматриваемых виброактиваторов от известных является уравновешенность колеблющихся масс и, как следствие, снижение динамических нагрузок на внешние объекты (привод, корпус, обслуживающий персонал, строительные конструкции и т. п.).

Корпус виброактиватора совершает сложное движение, состоящее из переносного вращения коленчатого вала вокруг оси X и относительного вращения вибратора вокруг оси X_1. Если оси переносного и относительного вращения X и X_1 параллельны, движение вибратора будем называть плоскопараллельным. В случае, если ось X_1 находится под некоторым постоянным углом β к оси X, движение вибратора называется прецессирующим. В таких вибровозбудителях, называемых прецессирующими, при вращении коленчатого вала корпус вибратора совершает движение, называемое регулярной прецессией с углом нутации β. Принципиальные схемы вибровозбудителей представлены на рисунке 1.

Подшипники, через центры которых проходит ось X вращения коленчатого вала, будем называть коренными 1; подшипники, установленные вдоль оси относительного вращения вибратора X_1 – шатунными 2. Вибровозбудители будем называть межопорными, если колеблющаяся масса, установленная на шатунные подшипники, расположена между коренными подшипниками (рисунок 1, *а*); консольными, если она расположена за одной из крайних коренных опор (рисунок 1, *б* и *в*). При проектировании возможны варианты: центр тяжести колеблющихся масс расположен между шатунными подшипниками, либо за крайней шатунной опорой. Консольные вибровозбудители прецессионного типа целесообразно проектировать трехопорными. В этом случае шатунный подшипник располагается в точке приложения равнодействующей сил инерции, а вторая опора между коренными подшипниками (рисунок 1, *г*).

Виброактиваторы плоскопараллельного типа свойственна статическая неуравновешенность, виброактиваторам прецессирующего типа – динамическая неуравновешенность. Под уравновешенностью (статической либо динамической) понимается такое состояние виброактиватора, как технической системы, в процессе работы, при котором реакции в коренных подшипниках от инерционных сил и моментов, возникающих в процессе работы, равны нулю, т.е. степень передачи динамических нагрузок на поддерживающие опоры, фундамент, привод мала.

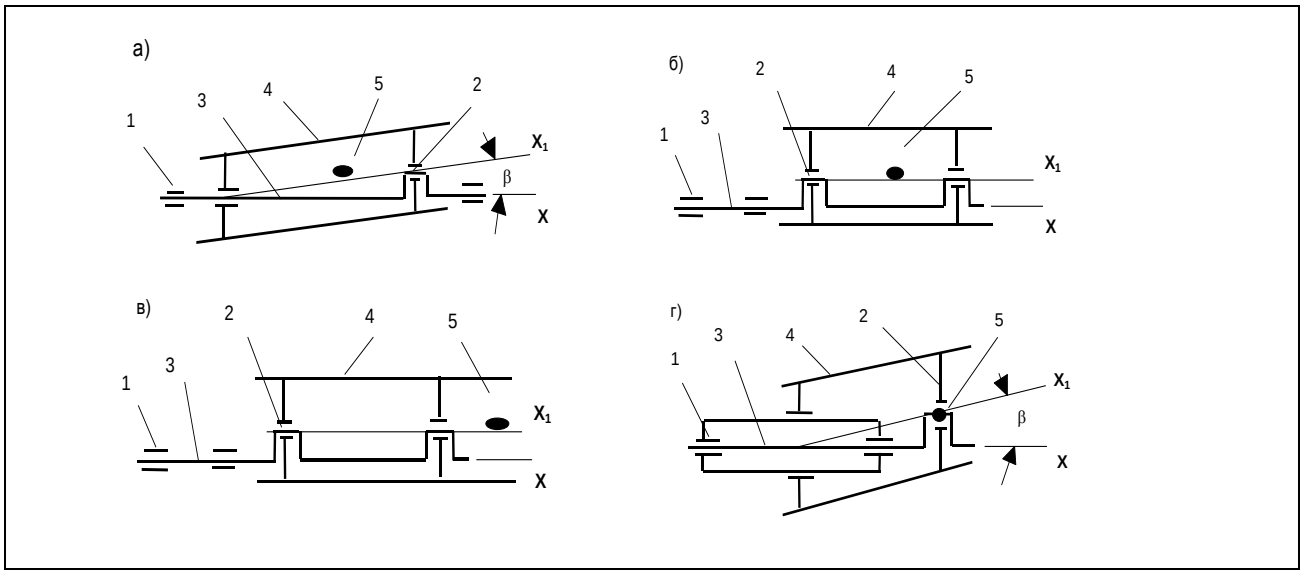


Рис. 1. Схемы типовых виброактиваторов:
а) межопорный, прецессирующий, четырехопорный;
б, в) консольный, плоскопараллельный, четырехопорный;
г) консольный, прецессирующий, трехопорный.
1–коренные подшипники *2*–шатунные подшипники; *3*–приводной вал;
4–корпус виброактиватора; *5*–центр тяжести колеблющихся масс.
X – ось вращения виброактиватора; X_1 – главная центральная ось инерции корпуса.

В реальных конструкциях невозможно полностью устранить неуравновешенность. Поэтому с достаточной степенью точностью для практики можно полагать, что коэффициент неуравновешенности, равный отношению максимальной центробежной нагрузки в коренном *1* подшипнике к ее величине в шатунном *2* подшипнике, должен составлять 0,01...0,02. Однако определить коэффициент неуравновешенности при проектировании с учетом погрешностей геометрических размеров при изготовлении элементов конструкции виброактиватора и плотности материала весьма трудно.

Поэтому допустимая неуравновешенность может определяться наибольшей амплитудой колебаний корпуса (рамы) вибрационной машины. Система классов точности балансировки технологического оборудования (ГОСТ 22061-76), рекомендует наибольшую допустимую величину амплитуды колебаний определять из условия $A\omega^2 \le 0{,}5g$, где ω, A - соответственно частота и амплитуда колебаний корпуса (рамы) смесителя.

Разработаны методы расчеты виброактиваторов, обеспечивающие на стадии проектирования динамическую балансировку механизма.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вибрация в технике. Справочник в 6 томах. Том 4.-М: Машиностроение, 1981.-510с.
2. Ефремов, И.М., Новые роторные смесители с различными системами вибровозбуждения / И.М. Ефремов, Д.В. Лобанов. – Строительные и дорожные машины. – 2008. – №9. – с. 7-9.
3. Кузьмичев В.А. Основы проектирования вибрационного оборудования. Учебное пособие.- СПб: Издательство «Лань»,2014.-208с.
4. Кузьмичев В.А. Основы проектирования вибромиксеров.- Verlag/Издатель:LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.-136с.

УДК 621.86; 69.07

М.И. Федотова, С.А. Соколов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Актуальность. Данная проблема связана с расширением области применения современных высокопрочных сталей в металлических конструкциях машин, кранов, экскаваторов, судопогрузчиков и пр. При этом критическим условием для выбора конфигурации и параметров сечений во многих случаях оказывается не условие прочности, в котором фигурирует предел текучести стали, а условие жесткости или устойчивости, которые в основном зависят от модуля упругости материала. В настоящее время в научно-технической литературе, а также в отечественных и зарубежных стандартах существует целый ряд методик расчета пластин на устойчивость. Известны также отдельные работы по численному или экспериментальному анализу устойчивости пластин при отдельных видах нагружения (см. список литературы). Однако неизвестно ни одной комплексной работы по проверке этих методик с помощью современных методов численного анализа при комбинации различных видов нагружения. Нет также исследований по упруго-пластической устойчивости пластин.

Целью работы является проверка существующих аналитических методик расчета элементов тонкостенных конструкций на устойчивость с помощью методов численного анализа (метода конечных элементов), а также разработка рекомендаций по их совершенствованию.

Задачи. Объектом данного исследования являются пластинчатые элементы тонкостенных конструкций. Модели этих элементов представляют собой прямоугольные пластины, опертые по кромкам и загруженные распределенными силами, действующими в срединной плоскости. В перечень задач данного исследования входит выполнение следующих работ:

1. Обзор и анализ существующих аналитических методик расчета пластинчатых элементов тонкостенных конструкций на устойчивость. Анализ областей применения этих методик. Разработка программ расчета по этим методикам в среде Mathcad.
2. Разработка плана численного исследования устойчивости пластин, охватывающего область их практического применения, включающего:
   a. геометрические и физико-механические параметры моделей;
   b. условия их закрепления;
   c. условия нагружения, в том числе частные виды нагружения и комбинации нагрузок.
3. Конечно-элементный анализ упругой устойчивости пластин при всех заданных условиях нагружения с целью определения критических напряжений.
4. Конечно-элементный анализ упругопластической устойчивости пластин при простых и комбинированных вариантах нагружения.
5. Выполнение расчетов всех моделей по аналитическим методикам с использованием программных алгоритмов, разработанных в п.1.
6. Сравнение и анализ результатов расчетов по п. 3, 4 и 5, составление заключения по адекватности существующих методик.
7. Разработка рекомендаций по совершенствованию инженерной методики расчета пластинчатых элементов тонкостенных конструкций на устойчивость.

Основным методом исследования устойчивости пластин в данной работе является метод конечных элементов. Расчеты моделей выполняются как в упругой постановке, так и в упруго-пластической. При этом второй вариант является наименее исследованным и наиболее сложным.

В настоящее время выполнен анализ научно-технической литературы и выбраны методики для дальнейшего анализа (см. [1–4, 10]). Разработан план численных и аналитических расчетов, который включает 9 вариантов геометрических параметров моделей, 4 варианта простых нагружений и 3 варианта комбинированных. Таким образом, предполагается выполнить 108 конечно-элементных расчетов упругой устойчивости пластин. Программа анализа упругопластической устойчивости будет сформирована в зависимости от получаемых результатов.

Выполнены работы по п. 1, 2 и 3 в рамках упругой постановки задачи. При этом установлено, что при частных (простых) вариантах нагружения для моделей из идеально упругого материала современные аналитические методики [1, 10] дают удовлетворительные результаты. Отклонение результатов аналитических и численных расчетов по разным методикам при различных условиях нагружения составляет от 10% до 15%. Существенные расхождения получаются при сложных комбинированных вариантах нагружения, когда пластина одновременно нагружается нормальными и касательными силами. В этом случае расхождения с некоторыми методиками получаются весьма значительные.

Для выявления причин этих расхождений на следующем этапе работ будут проведены расчеты моделей из упругопластического материала. При этом будут рассчитаны модели с геометрическими параметрами, обеспечивающими критические напряжения, близкие к пределу текучести.

По окончании работы должны быть получены следующие результаты:

1. Значения критических напряжений для пластин с отношением меньшей стороны пластины к ее толщине от 40 до 200 при простых видах нагружения нормальными напряжениями с различными видами распределения и касательными напряжениями. Графики изменения критических напряжений в зависимости от гибкости пластины вплоть до предела текучести. Анализ сравнения конечно-элементных расчетов с результатами расчета по известным методикам.

2. Значения критических напряжений для пластин, загруженных комбинациями нормальных (продольных и поперечных) напряжений с различными видами распределения, а также касательных напряжений. Графики зависимости критических напряжений от соотношения компонентов напряженного состояния для пластин различной гибкости. Анализ сравнения конечно-элементных расчетов с результаты расчета по известным методикам.

3. Рекомендации по применению существующих методик расчета в инженерной практике, касающиеся области их использования, введения дополнительных коэффициентов запаса, учета конструктивно-технологических факторов и пр.

4. Рекомендации по использованию проектных 3D моделей металлических конструкций для конечно-элементных расчетов на устойчивость в инженерной практике. Область применения упругих расчетов и указания по выполнению упругопластического анализа.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 33169-2014 «Металлические конструкции грузоподъемных машин»
2. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. 1976
3. СП 53-102-2004 Общие правила проектирования стальных конструкций. – СПб.: Изд. ДЕАН. – 2007.

4. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. В 2-х книгах. Кн.2. Под ред. А.А.Уманского. Изд.2-е. –М.: Стройиздат, 1973, 416 с.
5. Строительная механика и металлические конструкции машин: учебник/С.А. Соколов. – СПб.: Политехника, –2011.- 450с.:ил.
6. Clarin, M.: Plate Buckling Resistance. Path Loading of Longituadinally Stiffened Webs and Local Buckling. Doctoral thesis 2007:31, Luleá University of Technology, 2007, ISRN-LTU-DT-07Ú31-SE.
7. Eurocode 3 Design of steel structures. Part 1-5 Plate structures, EN 1993-1-5:2009.
8. Gozzi, J.: Patch loading resistance of plated girders – Ultimate and serviceability limit state. Doctoral Thesis 2007:30, Luleá University of Technology, 2007, ISRN: LTU-DT-07/30-SE/
9. Höglund, T.: Strenth of Steel and Aluminium Plate Girders – Shear Buckling and Overall Web Buckling of Plane and Trapezoidal webs. Comparisons with Tests. Royal Institute of Technology, Dept of Structural Engineering, technical report 1995:4, Steel structures.
10. ISO 20332 «Cranes. Proof of competence of steel structures».
11. Samuelsson, L., Eggwertz, S. (Eds.): Shell Stability Handbook, London: Elsevier Applied Science, 1992.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ОТДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ 3

Секция «Автоматы, мехатроника и робототехника» 3
Попов А.Н., Полищук М.Н., Васильев А.К. Выбор формирователя для получения ударного импульса требуемой длительности 3
Кочанжи Ф.И., Волков Е.А., Мацко О.Н. Повышение энергоэффективности нефтетобычи штанговыми глубинными насосами 6
Никитина К.В. Робот параллельной структуры с пружинным аккумулятором 8
Воронин С.А., Ваганов В.В. Оптимизация работы и увеличение эффективности гидравлических систем при использовании сервонасоса 11
Жавнер В.Л., Герасимов Д.Г. Разработка системы для проверки герметичности тепловыделяющих элементов 13
Ларин М.Ю., Мацко О.Н., Емельянов А.И. Способы повышения энергоэффективности при добыче нефти штанговыми насосами 17
Балташов И.С., Демидов Д.А. Сравнительное исследование реализованных в ROS алгоритмов SLAM 19
Ши Менди, Смирнов А.Б. Пьезоэлектрический актюатор предметного столика микроскопа 22
Борисова О.В., Борисов И.И., Резников С.С. Разработка конструкции лучезапястного сустава для протеза руки человека 25
Миничев А.В. Повышение надёжности линейного пружинного привода 27
Латкин Д.Д. К вопросу о применимости пакетов LSD-SLAM и ORB-SLAM на базе ROS в режиме реального времени на борту автономного мобильного робота 30
Подлесный В.С. Проведение практических занятий по программированию микроконтроллеров в области мехатроники и робототехники 33
Абросимов Э.А., Киракосян Д.В., Титовец С.А. Робототехническая платформа с элементами телеприсутствия 36
Ваганов В.В., Лесник Ф.М. Исследование применения нанопигментов на основе монтмориллононита в печатных красках 39
Жуков А.М., Макарычев В.П. Сравнительный анализ алгоритмов управления подводным аппаратом 42
Гончаревский О.С., Дьяченко В.А. Конструкторские и дизайнерские задачи установки флага у стадиона "ЗЕНИТ-АРЕНА" 45

Секция «Компьютерные технологии и инновации в машиностроении» 49
Локшина Д.Э., Седлер М.Х. Разработка проекта организации производства комплектующих системы дентальной имплантации 49
Курчавина В.Г., Седлер М.Х. Разработка метода прогнозирования состояния участков трубопровода 52

Скрябнев А.Ю., Мосалова А.В., Кондратьева Е.В. Макет преобразователя выкуумметрического комбинированного 55
Боровова О.К., Седлер М.Х. Организация серийного производства новой продукции на предприятии АО "ДИАКОНТ" 57
Давыдова Д.М., Седлер М.И. Повышение эффективности серийного производства за счет стандартизации операций 59
Ошуев А.М., Шабров Н.Н. Анализ влияния качества сборки лопаточного аппарата судовой паровой турбины на его частотные характеристики 62
Колесенков А.Н., Бабаев С.И., Слинкин В.А. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделий электронной промышленности в условиях неопределенности 65

Секция «Трибоматериаловедение, конструирование и компьютерное моделирование деталей машин и механизмов» 69
Комаров А.С., Елисеев В.В. Оценка прочности зубчатых зацеплений по критерию начала пластических деформаций 69
Андрющенко Е.А., Елисеев В.В. Моделирование вибраций ветроэлектрических установок 71
Анисимов А.Ю., Скотникова М.А., Иванова Г.В. Исследование динамики изменения угла смачивания стеклянной поверхности, обработанной гидрофобизирующим составом при интенсивном механическом воздействии 74
Бахрами М.Р., Абейгунавардана В.Б., Иванова Г.В. Новый сканер для анализа шероховатости поверхности 77
Титов Ф.Л. Оптимизация формы резинового покрытия шкивов грузоподъемного оборудования 80
Валиулина А.А., Кузьмин М.И., Стукач А.В. Установка для исследования триботехнических характеристик модифицированных антифрикционных материалов 83
Суворов В.А., Елисеев В.В. Деформация и прочность корпуса корабля на продольной волне 85
Ван Юйин., Тирская М.О., Скотникова М.А. Структурные фазовые превращения в сплаве титана при скоростной механической обработке 87
Мальцев О.А., Медведева В.В., Залещанский Р.Л. Модернизация ЧШМ-3,2 для испытаний упорного подшипника 90
Титов Ф.Л., Заборский Е.В. Лабораторная установка для исследования реверсивного трения 93
Смельчакова Ю.С., Тарасенко Е.А. Повышение технического уровня оборудования для струйного измельчения 96
Данковцев В.В., Иванов Е.К., Скотникова М.А. Исследование жидких смазочных материалов для компрессорной техники высокого давления 98
Пелупесси Д.С., Жавнер М.В. Пружинные аккумуляторы для приводов с рекуперацией энергии 101
Залещанский Р.Л., Медведева В.В., Мальцев О.А. Сравнительное исследование свойств дисперсных добавок к пластичным смазочным материалам 104
Баданин В.М., Сахно Н.Ю., Сурикова М.Н., Цветкова Г.В. Влияние структурно-фазового состояния многослойных наплавок на их износостойкие свойства 106

Ефремов Л.В., Тикалов А.В. Применение виброакустических измерений при исследовании стальных образцов на машине трения 109
Башилова Д.В., Тарасенко Е.А. Лабораторный практикум "Сварка трением с перемешиванием" 112

Секция «Инженерная графика и дизайн» 115
Щемелинин Д.А. Создание графического интерфейса мониторинга облачной инфраструктуры с алгоритмом группировки событий 115
Кучерова К.Н., Ефимов В.В. Повышение эффективности мониторинга облачной инфраструктуры на основе прогностического моделирования 117
Михайлова А.Л. Использование методик выделения областей изображения со схожими характеристиками для разработки технологий конвертации двухмерного изображения в трехмерную сцену 119
Гололобов В.В., Орлов П.А., Лаптев В.В. Проблемы масштабирования топографических карт 122
Кольцова А.Н., Стрелков С.В. Анализ кельтского орнамента для создания алгоритма его автоматической генерации в трехмерном пространстве 124
Ильин А.И. Дизайн визуальных знаковых систем пользовательских интерфейсов 127
Гайсин Р.Р., Гуков М.А., Колодько И.А., Красильникова Г.А., Маркова Т.В. Оптимизация процесса выполнения олимпиадной работы по инженерной и компьютерной графике 130
Мищук А.В., Филиппов Н.А., Маркова Т.В., Красильникова Г.А. Проблемы разработки конструкторской документации средствами современных CAD-систем 133
Ешич М., Милич Й., Фоломкин А.И. Компьютерное моделирование процесса построения ортогональных проекций 135
Клюсова И.А., Диодорова Т.И. Проблемы реконструкции архитектурных рисунков Я.Г. Чернихова 138
Гоняева И.В., Зубов А.Г. Роль промышленного дизайна в преобразовании пешеходных пространств в городе Санкт-Петербурге 140
Колоницкая А.И., Хрузин Ю.Т., Деникин Э.И. Ветрогенератор 143
Сименко Е.В., Бевз А.А. Современные компьютерные технологии в обучении 146
Текушина М.В., Лаптев В.В. Вопросы влияния флагового набора на удобочитаемость текста 148
Драгунова О.В., Лаптев В.В., Орлов П.А. Актуальные проблемы визуализации данных в ВЕБ-аналитике..... 151
Жаринова Е.К., Аслямом А.А. Экологическая безопасность современной упаковки..... 154
Сосновских А.М., Трифанов М.А., Волошинов Д.В., Кокорин М.С. 3D - сканирование и дополненная реальность 157

Секция «Технология конструкционных материалов и материаловедение» 160
Зарубин Д.А., Горобей Н.Н. Зона термического влияния при электролитно-плазменной полировке металлов 160

Захаров С.В., Коротких М.Т. Совершенствование технологии электролитно-плазменного полирования алюминиевого сплава Д16 162
Зарубин Д.А., Ушомирская Л.А. Исследование возможностей струйного электролитно-плазменного полирования применительно к деталям, полученным аддитивными технологиями 165
Кузьмичёв И.С., Ушомирская Л.А. Исследование особенностей технологии электролитно-плазменного полирования при обработке протяженных, сквозных отверстий в металлических изделиях 168
Левашова Е.Л., Кудрявцев В.Н. Оптимизация режимов электроконтактно-абразивной обработки 171
Ледовский С.О., Коротких М.Т. Новые перспективы применения методов пластической отделочной обработки поверхностей деталей машин 174
Иванов Ю.Г., Жукова М.А., Крупкина Е.Н., Яковицкая М.В. Влияние легирующих элементов на упрочнение феррита в строительных сталях 176
Кириллов Б.М., Коротких М.Т. Восстановление размеров. Повышение износостойкости 179
Журавлев Д.С., Варгасов Н.Р. Использование эффекта сверхпластичностититанового сплава при разработке технологии изготовления деталей типа "Днище"..... 181
Щербаков С.Р., Коротких М.Т. Повышение износостойкости алюминиевых деталей методом электроискрового легирования электролитно-плазменной полировки 184
Коротких М.Т., Полубок К.А. Структура поверхности зубчатых колес при обработке электроэрозионным вырезанием..... 186
Арсентьева К.С. Импульс давления при электрогидроимпульсной тонколистовой вытяжке 189
Блажевич В.В., Аксенов Л.Б. Технология изготовления переходной втулки для модернизации ступичного узла автомобиля LADA-2107 192
Арсентьева К.С., Насс С.Е., Мамутов В.С. Расчет деформирования тонколистовой заготовки при электрогидроимпульсной вытяжке..... 195
Карачевцев И.Д., Кузнецов П.А. Процесс многократной интенсивной гидростатической штамповки трубчатой заготовки 198
Бельчак Н.В., Жданова А.М., Мамутов В.С. Особенности конечно-элементного моделирования процессов обработки металлов давлением с небольшим очагом пластического деформирования..... 200
Кошурин А.Н., Кедо Д.Л., Гоциридзе А.В., Мартынов К.В. Управление свойствами полуфабрикатов полученных горячим прессованием из алюминиевых бронз 203
Потапов Н.М., Кункин С.Н. Разработка технологии и моделирование процесса холодной листовой последовательной штамповки детали "Зажим" 206
Зарубин Д.А., Горобей Н.Н. Зона термического влияния при электролитно-плазменной полировке металлов 208
Мухамадуллина А.Р., Мельников А.А., Кузнецов П.А. Анализ технологических вариантов холодного выдавливания детали "Солнечная шестерня" на основе компьютерного моделирования 211
Чехомов Д.В., Мамутов В.С. Магнитно-импульсная клепка листовых деталей 213
Кононов И.Ю., Аксенов Л.Б. Формовка гофрированных мембран в пластиковых штампах, изготовленных 3-D печатью 215

Трифонов М.Ю., Яковлев С.Н. Экспериментальное определение износостойкости конструкционных полиуретанов 218
Гусаков И.П., Фомичев А.Ф. Компьютерный анализ технологических параметров штамповки поковок из стали 08Х17Т 221
Ганзуленко О.Ю., Петкова А.П. Особенности маркировки импульсным лазером изделий из полимерных материалов 223
Герасимова В.М., Зубова Н.Г. Сравнительный анализ свойств композитов на основе гидратцеллюлозных и полиакрилнитрильных нитей модифицированных органосиланами 226
Курятников А.А., Мамутов В.С. Предельное деформирование листовой автомобильной стали ВН210 при статическом и импульсном нагружении 228

Секция «Технология машиностроения» 231
Тарасов С.Б., Петров А.В., Мухин А.М. Анализ взможностей создания компаратора для калибровки концевых мер 2-го разряда на базе установки УКМ-100 231
Инякина Н.В., Жуков Э.Л., Козарь И.И. Размерный анализ технологического процесса 234
Матвеев В.А., Дегтярев В.В. Разработка и исследование испытательного стенда для сертификации электромеханических приводов серии DA 236
Савельев И.С., Слатин В.И. Методика расчетов формы цилиндрических рентгеновских зеркал, получаемых изгибом 239
Степанов С.С., Степанов С.Н., Видинеева Н.Ю. Расчет неопределенности измерений на эталонном приборе М 1000 для поверки ручного инструмента 241
Пелевин Н.А., Бундур М.С., Прокопенко В.А. Определение параметров коррекции гидростатического подшипника по асимптотическим частотным характеристикам 245
Мадалиев А.А., Степанов С.Н. Контроль несоосности валов индикаторами часового типа 247
Тарасов С.Б., Петров А.В., Лядов А.Б. Исследование влияния "Несоосности" на неопределенность калибровки прибора ППГ-4 250
Савельев И.С., Слатин В.И. Решение технологических проблем финишной обработки мастер-шаблонов рентгеновской оптики 253
Пелевин Н.А., Прокопенко В.А., Бундур М.С. Особенности конструктивного исполнения управляющих устройств опор гидростатического подшипника 255
Миловзоров О.В., Михайлин П.О. К вопросу о разработке общих технологических процессов в системе T-FLEX ТЕХНОЛОГИЯ для обработки деталей на токарно-обрабатывающих центрах 257
Хрусталёва И.Н., Любомудров С.А. Разработка имитационной модели для определения оптимального варианта производственного процесса обработки заданной номенклатуры деталей 260
Петков П.П., Поротиков Г.В. Определение параметров привода штангового насоса с зубчато-реечной передачей 263
Пелевин Н.А., Прокопенко В.А. Оценка динамического качества гидростатического подшипника на основе показателя колебательности 265
Трунин А.М., Панкратов Ю.М. Исследование точности профилирования червячных фрез для нарезания шлицевых валов 268

Пелевин Н.А., Прокопенко А.А. Расчет и исследование гидростатических подшипников при учете цилиндрической формы их поверхностей 270
Адмакин М.А., Глухов А.С. Методика выбора оптимальной конструкции металлорежущего инструмента 273
Хлопков Е.А., Макарова Т.А., Волков Г.А., Вьюненко Ю.Н. Исследование влияния химического состава материала силовых элементов из никелида титана на их деформационно-силовые свойства 275

Секция «Транспортные и технологические системы» 279
Гомонова Е.Н., Башкарев А.Я. Долговечность адгезионных соединений битума 279
Васильев И.А., Бортяков Д.Е. Математическая модель системы изменения вылета стрелового устройства с заданным положением точки подвеса груза 282
Отиско С.В., Бортяков Д.Е. Исследование влияния расположения блоков на колонне стреловых кранов на нагруженность элементов стреловой системы 284
Коптева А.В., Проскуряков Р.М. Разработка системы измерения скорости транспортируемых нефтяных потоков на основе радиоизотопного излучения 287
Черемушкина М.С., Булдысько А.А. Математическая модель системы ленточного конвейера 290
Коптев В.Ю., Лебединов М.И. Обоснование критериев выбора транспортных машин для горнодобывающих предприятий 293
Жуков О.В. Возможные проблемы обеспечения безопасности дорожного движения и сохранности перевозимых грузов беспилотными автомобилями 295
Черёмушкина М.С., Иванов С.С. Алгоритм формирования сигналов задания системы управления электроприводом конвейера 298
Семенюк А.В., Коптева А.В. Совершенствование систем мониторинга отложения АСПО в магистральном нефтепроводе 301
Черёмушкина М.С., Склярук А.Б. Мониторинг как средство повышения надежности конвейерного транспорта 304
Коптев В.Ю., Веселов И.В. Выбор вида транспорта по показателям энергетической эффективности 306
Сиротин П.В., Черненко А.Б. Универсальный метод расчета систем вторичного подрессовывания транспортно-технологических машин. 308
Прокопьев А.П., Емельянов Р.Т., Перебейнос Д.И. Моделирование процесса уплотнения смеси асфальтовым вибрационным катком в среде SIMULINK 311
Прокопьев А.П., Иванчура В.И., Курманкаев Н.Е. Имитационная модель системы автоматического управления уплотняющим рабочим органом асфальтоукладчика 314
Прокопьев А.П., Иванчура В.И., Емельянов Р.Т., Колотвин С.И. Модель нечеткой системы управления процессом уплотнения смеси асфальтоукладчиком 317
Прокопьев А.П, Емельянов Р.Т., Шулбаева А.С. Моделирование нечеткой системы управления рабочим процессом распределения смеси асфальтоукладчиком 320

Прокопьев А.П., Иванчура В.И., Емельянов Р.Т., Баранова А.И. Модель системы управления процессом нивелирования дорожного покрытия асфальтоукладчиком 322
Андреев М.С., Иванчура В.И., Емельянов Р.Т. Моделирование нечеткой системы управления скоростью движения асфальтоукладчиком 325
Коптев В.Ю., Гамм А.С. Выбор транспортных машин для формирования транспортных систем горных предприятий 328
Войтюк И.Н. Математическое моделирование шахтного грузопотока для реализации метода автоматического измерения параметров угольного потока магистрального конвейерного транспорта..... 331
Ротару Л.Г., Войтюк И.Н. Обоснование метода автоматического измерения параметров угольного потока, транспортируемого ленточным конвейером 334
Шерстенникова И.А., Войтюк И.Н. Разработка системы автоматического измерения параметров угольного потока, транспортируемого ленточным конвейером 337
Епишков Е.С., Кузьмичев В.А. Обзор и анализ основных направлений совершенствования конструкций смесительного оборудования 341
Наумов А.В., Манжула К.П. Условие перехода местной устойчивости криволинейной стенки коробчатой балки к поясу 343
Муртазина А.А., Кузьмичев В.А. Виброактиваторы 346
Федотова М.И., Соколов С.А. Исследование местной устойчивости элементов тонкостенных конструкций 348

НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбПУ

Материалы научной конференции с международным участием

14–19 ноября 2016 года

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА

Часть 2

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 — научная и производственная литература

Подписано в печать 16.12.2016. Формат 60×84/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 22,5. Тираж 60. Заказ 15058b.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного редколлегией
Института металлургии, машиностроения и транспорта,
в Издательско-полиграфическом центре
Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.