

На правах рукописи

ЖАВНЕР МИЛАНА ВИКТОРОВНА

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ НА БАЗЕ ПРУЖИННЫХ МЕХАНИЗМОВ**

05.02.05 – Роботы, мехатроника и
робототехнические системы

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2003

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете
низкотемпературных и пищевых технологий

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Пронин Владимир Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
Челпанов Игорь Борисович
кандидат технических наук, доцент
Ермаков Сергей Симонович

Ведущая организация: ТОО «Рекупер», Москва.

Защита состоится 24 июня 2003 г. в 16 часов на заседании
диссертационного Совета Д212.229.12 в Санкт-Петербургском государственном
политехническом университете по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул.
Политехническая, 29, 1-й учебный корпус, ауд.41.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке
СПбГПУ.

Автореферат разослан 23 мая 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета,
кандидат технических наук

Евграфов А.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В современных робототехнических комплексах и системах чаще всего используются роботы с цикловым программным управлением в режимах пошагового выполнения отдельных движений и управляемого выстоя. Такие режимы работы характеризуются высокими пиками потребляемой мощности, большими энергозатратами, вызванными необходимостью разгона и торможения инерционных масс звеньев, рабочих органов и объектов обработки, причем с увеличением производительности происходит резкое повышение энергозатрат. В цикловых промышленных роботах задача снижения энергозатрат в принципе решается с помощью рекуперативных приводов возвратно-качательного и возвратно-поступательного движений. Однако в робототехнических системах всегда требуется применение другого различного технологического оборудования. Часто в них исполнительные устройства работают в шаговом режиме, например, транспортно-накопительные системы, поворотные столы и т.д., причем движение осуществляется только в одном направлении. Иногда возможна замена возвратно-качательных движений на шаговое круговое движение, что в свою очередь повышает производительность за счет исключения возвратного движения. Во всех случаях проблема снижения энергозатрат остается актуальной. В частности, в робототехнических комплексах по грузопереработке абсолютно неоправданной является диссипация энергии в приводах грузоподъемных платформ.

Развитие мехатроники показывает, что при синтезе новейших достижений микропроцессорной техники и механики можно получить интересные и оригинальные решения, в частности по энергосбережению.

Материал данной диссертации объединен идеей значительного снижения мощностей и энергозатрат в исполнительных механизмах робототехнических систем на базе использования линейных и нелинейных пружинных аккумуляторов при обеспечении всех традиционных технологических требований. В силу всего сказанного выше тема данной диссертации представляется актуальной.

Цель работы. Целью диссертации является разработка научных основ методик расчета и проектирования новых исполнительных устройств робототехнических систем на базе пружинных аккумуляторов механической энергии.

Для достижения указанной цели в диссертации поставлены следующие **основные задачи исследования:**

- исследование и анализ рабочих операций технологическом оборудовании и средствах грузопереработки, с целью определения областей применения пружинных механизмов;

- исследование свойств рекуперативных пружинных приводов, выполненных по различным схемам и обеспечивающих шаговый режим;

- построение обобщенной математической модели и теоретическое исследование шагового привода на основе пружинных аккумуляторов для поворотных столов;

- исследование влияния конструктивных элементов пружинных аккумуляторов на законы движения и эксплуатационные характеристики исполнительных устройств;

- разработка методик расчета параметров шаговых рекуперативных приводов по заданным исходным данным;

- разработка и исследование энергосберегающего автоматического оборудования в средствах грузопереработки;

- построение математической модели и теоретическое исследование стабилизатора расхода жидкости с использованием пружинных элементов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- технологические требования к исполнительным механизмам робототехнических комплексов по ограничению мощности могут быть реализованы с помощью рекуперативных пружинных механизмов;

- в различных средствах грузопереработки снижение энергозатрат может быть достигнуто с помощью использования нелинейных пружинных аккумуляторов.

Научная новизна.

- построена обобщенная математическая модель рекуперативного шагового привода на основе пружинных аккумуляторов;
- исследованы свойства рекуперативного шагового привода на основе пружинных аккумуляторов, разработана методика его расчета с учетом допустимых ускорений и скоростей соударений;
- обосновано использование пружинных аккумуляторов на основе линейных пружин растяжения с целью снижения энергозатрат и получения заданных силовых характеристик в средствах грузопереработки;
- построены математические модели пружинных механизмов с характеристиками различных типов;
- построена математическая модель стабилизатора расхода жидкости с использованием пружинных элементов.

Методы исследования. При разработке математических моделей и проведении расчетов исполнительных устройств робототехнических систем использовались методы теоретической механики, теории колебаний, теории механизмов и вычислительной математики.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

Предложены новые конструкции исполнительных механизмов на основе пружинных аккумуляторов, использование которых позволит значительно снизить энергозатраты исполнительных устройств робототехнических систем.

Для транспортных систем, работающих в шаговом режиме, предложены рекуперативные приводы с использованием пневмодвигателей для компенсации диссипативных сил без применения стопорных устройств, что позволяет не только упростить конструкции и повысить надежность, но и расширить область применения подобных технических устройств.

Для пищевой промышленности предложены новые конструкции поворотных столов на базе пружинных аккумуляторов, в частности, для расфасовки и укупорки жидких и вязких продуктов, например, йогурта, сметаны, майонеза и т.д., использование которых позволяет предотвратить

выплескивание продукта и повреждения упаковки на различных этапах технологического процесса. Предложены новые конструкции грузоподъемных платформ, обеспечивающих автоматическую стабилизацию горизонтальной плоскости укладки грузов за счет применения специальных моментных загрузателей, в частности, для пакетирования тарно-штучных грузов.

Разработана методика расчета, предложенной конструкции стабилизатора расхода жидкости в автоматизированных системах розлива с использованием пружинных элементов. Результаты работы переданы для реализации в ТОО «Рекупер» и машиностроительному заводу «Таурас-Феникс».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной научно-практической конференции «Техническое переоснащение пищевой и мясоперерабатывающей промышленности Северо-Западного региона Российской Федерации. Межрегиональные связи» 26–27 апреля 2000 года, Санкт-Петербург, на научно-технических конференциях в СПбГУНиПТ (2002-2003гг.)

Публикации. По теме диссертации имеется 3 публикации.

Объем и структура работы. Материалы диссертации изложены на 132 страницах, включая 68 рисунков и 2 таблицы, и состоят из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы, включающего 85 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, приведен перечень научных задач, требующих решения для достижения поставленных целей, дан краткий обзор диссертации по главам.

В первой главе исследованы рабочие процессы в различном технологическом оборудовании и средствах грузопереработки, с целью определения областей применения пружинных механизмов и исследования целесообразности их использования.

Необходимо отметить, что при разработке технологического оборудования наряду с выполнением основных технологических функций с

заданными характеристиками качества на первое место выдвигаются задачи снижения энергоемкости и не только в процессе эксплуатации, но и в процессе изготовления, что обеспечивается низкой металлоемкостью и во многих случаях простой технологией изготовления.

Поэтому, одним из перспективных путей реализации этих задач является использование пружинных механизмов. Применение пружин обусловлено тремя важными обстоятельствами:

- способностью аккумулировать потенциальную энергию
- высокой надежностью и долговечностью пружин
- отработанной технологией изготовления.

Наибольшее применение пружинные механизмы получили в робототехнических системах, в рекуперативных приводах и в системах уравнивания, а также некоторые попытки были сделаны и при разработке механизмов поворотов упаковочных машин для пищевой промышленности.

Работы, посвященные рекуперативным приводам, были проведены в конце 90-х годов XX столетия, и их развитие и продвижение затормозилось в силу ряда объективных причин не технического характера. В последние годы идет ускоренное развитие отечественного машиностроения на базе новых конструктивных решений с использованием принципов мехатроники: синтеза механики и современных микропроцессорных систем.

Из анализа литературы по рекуперативным приводам можно сделать вывод о том, что рекуперативные приводы получили распространение в цикловых промышленных роботах, но рекуперативный шаговый привод не применяется ни в технологическом оборудовании, ни в транспортных системах, несмотря на то, что область применения классического шагового привода с использованием традиционных решений (электрические шаговые двигатели, мальтийские механизмы, храповые механизмы и т.д.) постоянно расширяется.

При проведении анализа различных шаговых приводов, применяемых в различных робототехнических системах, выявлены следующие технические характеристики, необходимые для выбора или расчета шагового привода:

- угол поворота;
- время поворота;
- допускаемые ускорение и максимальная скорость для поворотных столов;
- допускаемая максимальная скорость при остановке;
- наличие или отсутствие управляемого выстоя.

Из вышеизложенного вытекают следующие научно-практические задачи:

- поиск новых технических решений по созданию рекуперативного шагового привода
- исследование свойств нелинейных пружинных аккумуляторов с целью использования их в рекуперативных шаговых приводах.

Во второй главе рассматривается разработанная автором математическая модель шагового рекуперативного привода (ШРП), нереверсивного и реверсивного на базе нелинейных пружинных аккумуляторов, с углом поворота 180 и 360 градусов для поворотных столов. Использование реверсивного привода позволяет осуществлять поворот, как по часовой, так и против часовой стрелки в любой последовательности, если это необходимо, в зависимости от технологического процесса.

ШРП состоят из пружинных аккумуляторов, пневмо- или гидродвигателя, обеспечивающих компенсацию диссипативных сил, передачу, обеспечивающую требуемый угол поворота выходного звена и систему управления, которая управляет работой двигателя и синхронизирует ее с работой технологического оборудования. Управление работой пневмо- или гидроцилиндра осуществляется с помощью распределителя.

В таких приводах могут использоваться пружинные аккумуляторы, как с одной точкой неустойчивого равновесия, так и с двумя точками неустойчивого равновесия, в зависимости от того, на какой угол необходим поворот данного привода, либо 360 градусов, либо 180 градусов, соответственно. Применение пружинных аккумуляторов с большим числом точек неустойчивого равновесия нецелесообразно из-за конструктивных сложностей.

При построении ШРП, на базе пружинных аккумуляторов с неустойчивыми положениями, ставятся задачи стопорения в точке позиционирования и получение начального импульса – вывод из точки позиционирования.

Для нереверсивного шагового привода точка позиционирования должна быть сдвинута на некоторый угол в направлении вращения, который определен из условия $M_{ПА} > M_{тр}$. Гидроцилиндр в данном приводе выполняет функции стопорения и компенсации диссипативных сил. В реверсивном приводе необходимо установить два пневмо- или гидроцилиндра, в котором один цилиндр определяет направление движения и обеспечивает компенсацию диссипативных сил, а второй выполняет функции стопорения и компенсации диссипативных сил.

Такие приводы реализуются в варианте с управлением от свободно программируемых контроллеров (СПК). Для обратной связи с СПК привод оснащается датчиком положения, необходимым для получения информационного сигнала об окончании поворота.

На рис.1 представлена схема рекуперативного шагового привода для поворотного стола, входящего в робототехнический комплекс, на котором могут выполняться различные технологические процессы. Данный привод состоит из пневмо- или гидродвигателя, рекуперативного шагового привода с двумя точками неустойчивого равновесия, поворотного стола и ременной передачи, у которой передаточное число подбирается в зависимости от необходимого угла поворота поворотного стола и определяется как отношением угла поворота ПА к заданному углу поворота, поворотного стола.

Для элементов ШРП построены моментные характеристики, необходимые для определения его быстродействия, такие как перестановочный момент пружинного аккумулятора, перестановочный момент от пневмо- или гидродвигателя и приведенный момент трения в шарнирах. При анализе конфигураций этих зависимостей можно сделать вывод о том, что в

дальнейшем в первом приближении можно применять синусные характеристики. Показано, что для пружинного аккумулятора с двумя точками неустойчивого равновесия можно использовать синусную зависимость двойного угла.

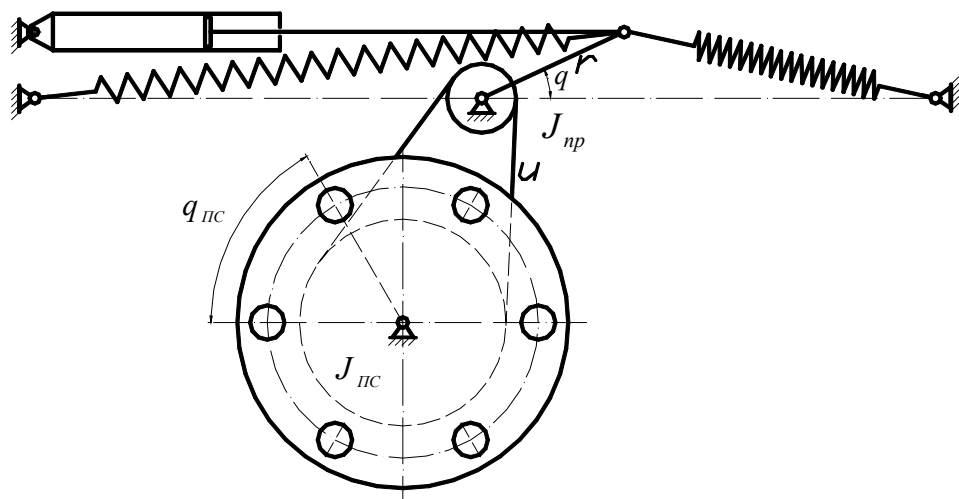


Рис.1.

Суммарный момент трения в шарнирах обусловлен тремя составляющими:

- силы трения от силового воздействия пружинного аккумулятора.
- силы трения от центробежных сил (вообще они должны учитывать суммарный момент сил трения).
- силы трения от силового воздействия пневмо- или гидроцилиндра.

Компенсация диссипативных сил в идеальном случае обеспечивается тем, что работа сил компенсирующего привода $A_{пр}$ равна работе сил трения $A_{тр}$.

Для надежной работы привода и обеспечения точности позиционирования целесообразно обеспечить условие: $A_{пр} > A_{тр}$.

Тогда, если имеется система фиксации, например, жесткий упор, можно найти скорость соударения, которая в частном случае, для упаковочного оборудования также ограничивается возможностью выплескивания продукции.

При использовании стопорных устройств можно найти скорость

соударения при остановке $\dot{q}_{\text{сод}} = \sqrt{\frac{2\Delta A}{J_{np}}}$.

Регулирование скорости соударения или работы компенсирующего цилиндра может обеспечиваться (настраиваться) или временем переключения, или изменением установки датчиков переключения, или изменением подводимого давления к цилиндрам.

Если принять, что значение максимального момента пружинного аккумулятора определяет максимальное ускорение, то при наличии допустимого ускорения $[\ddot{q}]$ $M_{\text{max}} = J_{np} [\ddot{q}]$. Значение $[\ddot{q}]$ определяется для упаковочного оборудования из условия обеспечения отсутствия выплескивания продукта и зависит от вида продукции, потребительской тары и коэффициента (степени) ее заполнения.

Для вышепредставленных рекуперативных шаговых приводов определено время поворота при ограничении ускорения.

Определены требуемые жесткости пружины для однопружинного нелинейного аккумулятора при заданном времени поворота и для пружинного аккумулятора с углом поворота шагового двигателя $q_{\text{пов}} = \pi$, которые,

соответственно, равны: $c = \frac{\pi^4}{4} \frac{J_{np}}{t_{\text{пов}}^2 r^2}$ и $c = \frac{\pi^4}{16k_{ar}} \frac{J_{np}}{t_{\text{пов}}^2 r^2}$.

Разработана методика определения максимальных допустимых ускорения и скорости соударения, в частности для ряда жидких и вязких продуктов, что позволило определить требования к механизмам перемещения упаковочных машин, обеспечивающих отсутствие выплескивание продукта.

Автором проведен сравнительный анализ энергозатрат ШРП с синусной моментной характеристикой, двигателя, работающего в режиме постоянного ускорения и двигателя, работающего с законом движения $\ddot{q} = a \sin q$, и показано, что энергозатраты можно снизить более чем на порядок. Для сравнительной оценки энергозатрат принималось, что в двух последних случаях КПД=1, а потери на трение в шарнирах и на опорах отсутствуют, в то же самое время в

ШРП энергия компенсационного двигателя затрачивается на преодоление момента трения в шарнирах ПА. Сделав допущение в сторону увеличения работы сил трения, приняв момент трения постоянным на всем угле поворота, получаем, что работа ШРП в 30 раз меньше.

Таким образом, применение таких приводов позволяет существенно уменьшить энергозатраты, а выбором моментных характеристик аккумуляторов управлять законами движения, как в режиме разгона, так и торможения, а также позволяет осуществлять плавную остановку и иметь управляемый выстой.

В третьей главе проанализирована возможность применения пружинных аккумуляторов в средствах грузопереработки. Необходимо отметить, что перевозка различной продукции в большинстве случаев осуществляется в пакетах, сформированных на поддонах. При этом возможны два варианта формирования пакета на поддоне. В первом случае поддон неподвижен, место подачи транспортной тары (коробов, ящиков, групповых упаковок) постоянно и перемещение ее в пространстве осуществляется, как правило, по прямым горизонтальным и вертикальным линиям. Этот вариант имеет два существенных недостатка: высокие скорости перемещения грузов и большие энергозатраты. Тем более затраты энергии промышленным роботом зависят от геометрических параметров рабочей операции и от программы ее реализации. Особенно резко увеличиваются затраты при использовании роботов с базовой кинематической схемой ВВВ. Во втором случае создается робототехническая система, состоящая из промышленного робота и грузоподъемной платформы с позиционным приводом и общей системой управления. В этом случае в начальный момент времени рабочая плоскость платформы и рабочая плоскость устройства, подающего транспортную тару, приблизительно установлены на одной высоте и перемещение грузов по вертикали минимально, и даже привод подъема и опускания груза целесообразно располагать непосредственно в захватном устройстве. Энергозатраты в приводах промышленных роботов в этом случае минимальны. Однако затраты, связанные с опусканием платформы

с грузом последовательно на высоту транспортной тары после укладки одного ряда остаются.

В данной главе автором определены и проанализированы направления в средствах грузопереработки, где целесообразно применение пружинных аккумуляторов. Также произведен расчет основных параметров подъемных столов и пружинных приводов применяемых в них. Рассмотрены технические средства для грузопереработки, связанные с загрузкой и разгрузкой технологического оборудования, укладкой грузов на поддоны или их

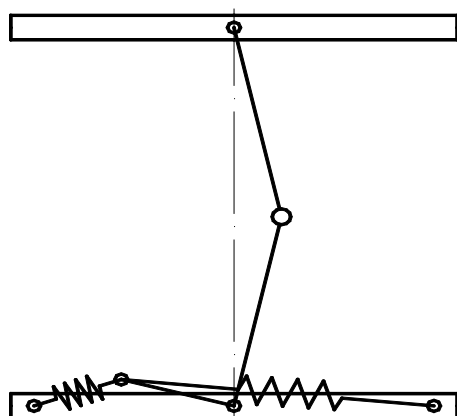


Рис.2.

разборкой, и предложены схемы рычажных грузоподъемных платформ, обеспечивающих автоматическую стабилизацию горизонтальной плоскости укладки грузов за счет применения специальных моментных загрузителей (рис.2).

Для определения момента пружинного аккумулятора составляется уравнение

мгновенных мощностей $P \cdot \dot{x} = M_{np} \cdot \dot{q}$

$$2l \cdot \cos q = x_p$$

$$2l \cdot \sin q \cdot \dot{q} = \dot{x}_p$$

При его решении получаем значение момента пружинного аккумулятора

$$M_{np} = P \cdot 2l \cdot \sin q .$$

Частота колебаний системы равна частоте свободных колебаний $k = \sqrt{\frac{c}{M}}$

где $c = \frac{mg}{h}$ – жесткость пружины

Масса перемещаемого груза складывается из массы платформы и произведения массы одного слоя груза на количество слоев: $M = mn + m_0$

Частота собственных колебаний системы определяется уравнением:

$$k = \sqrt{\frac{mg}{h(mn + m_0)}}$$

Если пренебречь массой платформы, а она уравнивается пружиной, получим уравнение для определения частоты собственных колебаний нашей системы: $k = \sqrt{\frac{g}{hn}}$

Из уравнения следует, что частота собственных колебаний зависит только от условной плотности ρ груза (высота слоя для каждого отдельного груза h разная) и количества слоев.

Период колебаний системы равен: $T = \frac{2\pi}{k}$

Уменьшение амплитуды колебаний за промежуток времени $t = T = \frac{2\pi}{k}$ равно: $\Delta x = \frac{4Q_c}{c}$.

Величина $\frac{Q_c}{c}$ представляет собой статическое отклонение системы от равновесного положения под действием обобщенной силы кулонова трения.

Таким образом, амплитуда колебаний при наличии кулонова трения за все время движения убывает на одну и ту же величину, т.к. уменьшается по закону арифметической прогрессии.

В третьей главе также рассматривается построенная автором математическая модель пружинного механизма для получения нагрузочных устройств, с требуемыми силовыми характеристиками. Их применение целесообразно в следующих технологических устройствах:

1. Пресс для сыра
2. Пресс для формовки свинины
3. Поджим творага в фасовочном автомате

Также рассматривается математическая модель пружинного механизма, аналога пружины сжатия или растяжения с «обратной» характеристикой. Под «обратной» линейной характеристикой понимается такая характеристика, когда, например, пружинный механизм аналогичен пружине сжатия, но при деформации сжатия усилие пружины не увеличивается, а уменьшается.

В качестве примера, где можно использовать такой пружинный механизм, является тестоделительная машина, в которой при выдавливании теста нагрузка резко возрастает, а использование вышепредставленного пружинного механизма позволяет ее стабилизировать. Также возможно использование таких пружинных механизмов для различных устройств, где необходима стабилизация нагрузки.

В четвертой главе излагается разработанная методика расчета предложенных автором пружинных стабилизаторов расхода жидкости.

При исследовании механизмов подъема, применяемых в грузоподъемных столах, был предложен один из способов, который состоит в том, чтобы снабдить подъемный стол пружинами сжатия, расположенными вертикально, причем жесткость их подбирается таким образом, что при укладке одного слоя платформа опускается на высоту этого слоя.

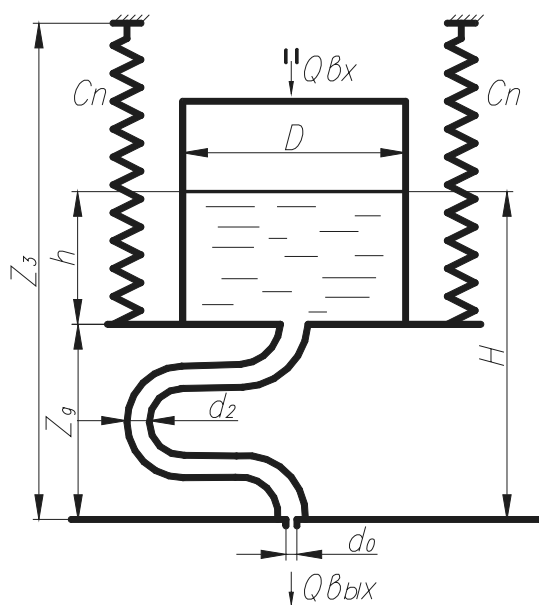


Рис.3.

Этот способ натолкнул на мысль о возможности использования этого решения при проектировании устройств для стабилизации расхода жидкости в автоматизированных системах розлива.

Для предложенной конструкции стабилизатора расхода жидкости (рис.3), с использованием пружинных элементов необходимо отметить, что она отличается простотой конструкции, при этом ее достоинством является непрерывность процесса и отсутствие требований к герметичности.

При проектировании стабилизатора диаметр сливной трубы принимается намного больше диаметра сливного отверстия ($d_2 \gg d$), суммарная жесткость пружин равна: $c = F\rho g$

где F – площадь поперечного сечения сосуда ($F=\text{const}$ по высоте) $F = \frac{\pi D^2}{4}$

ρ – плотность жидкости

g – ускорение свободного падения.

Очевидно, что рассматриваемый стабилизатор расхода жидкости

представляет колебательную систему с собственной частотой $\omega_c = \sqrt{\frac{c}{m_{жс} + m_0}}$

Максимальное значение собственной частоты системы имеет место при опорожненном сосуде $\omega_c^{\max} = \sqrt{\frac{c}{m_0}}$.

Минимальное значение собственной частоты равно: $\omega_c^{\min} = \sqrt{\frac{g}{h_c + \frac{m_{жс}}{F\rho}}}$.

Максимальный период колебаний равен $T_0^{\max} = 2\pi\sqrt{\frac{h + \frac{m_0}{F\rho}}{g}}$.

На основе теоретических исследований доказано, что средние расходы, обуславливающие наполнение и опорожнение сосуда стабилизатора расхода жидкости равны и наполнение и опорожнение будет происходить в одно и тоже время.

Определено соотношение объемов основной емкости W_6 и емкости стабилизатора $W_c = \left(1 - \frac{Q_p}{Q_{cp}}\right) W_6$. Показано, что средние расходы, обуславливающие наполнение и опорожнение сосуда стабилизатора расхода жидкости равны и наполнение и опорожнение будет происходить в одно и тоже время.

Расход стабилизатора должен быть равен расходу жидкости из основной емкости, когда уровень жидкости находится на уровне, соответствующему наполовину заполненной основной емкости.

На основе теоретических исследований получены обоснованные рекомендации о способах регулирования расхода. В тех случаях, когда информация о непостоянстве расхода отсутствует, стабилизатор расхода

снабжается датчиком, отключающим подачу при достижении корпуса стабилизатора нижнего положения, когда емкость стабилизатора наполняется полностью.

Основные результаты работы и выводы

1. Предложены и обоснованы новые принципиальные и схемные решения исполнительных устройств робототехнических систем, позволяющие осуществлять различные операции грузопереработки, в которых целесообразно использование пружинных механизмов со специально подобранными характеристиками.
2. Разработаны научные основы проектирования исполнительных устройств робототехнических систем на базе пружинных механизмов, обеспечивающих энергосбережение и значительное снижение потребных мощностей двигателей.
3. Исследовано влияние геометрических и динамических параметров на динамику исполнительных устройств робототехнических систем.
4. Построена математическая модель шагового механизма для дискретного поворота каруселей упаковочных машин и разработана методика ее расчета с учетом ограничений на ускорения и скорости соударений.
5. Разработана математическая модель грузоподъемной платформы, обеспечивающая автоматическую стабилизацию горизонтальной плоскости укладки грузов за счет применения специальных моментных загрузителей.
6. Сформулированы и решены некоторые задачи оптимизации механизмов рассматриваемого типа.
7. Построены математические модели пружинных механизмов с различными видами характеристик «момент–угол поворота», в частности с линейной, релейной, а также с «обратной» характеристикой, когда при сжатии или растяжении усилие уменьшается.
8. Исследованы характеристики разработанной математической модели стабилизатора расхода жидкости, с использованием пружинных элементов, рекомендованы области применения.

9. На основе проведенной серии компьютерных расчетов, при использовании построенных математических моделей показано, что применение пружинных аккумуляторов в различных робототехнических системах позволяет достигнуть снижения энергоемкости на порядок и более.

ПУБЛИКАЦИИ

1. Жавнер М.В. Применение энергосберегающих технических устройств в технологическом оборудовании пищевых производств//Техническое переоснащение пищевой и мясоперерабатывающей промышленности Северо-Западного региона Российской Федерации. Межрегиональные связи: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. 26–27 апреля 2000 г. – Санкт-Петербург, 2000. – С.25.
2. Жавнер М.В. Применение пружинных аккумуляторов в средствах грузопереработки//Сб. науч. трудов «Технологии и техника : Итоги и перспективы развития на рубеже XX и XXI веков».– СПб.: Изд. СПбГУНиПТ, 2003. – С. 235-239.
3. Жавнер М.В. Шаговый рекуперативный привод технологического оборудования//Известия СПбГУНиПТ. – СПб.: Изд. СПбГУНиПТ. – 2003. – №1 (5). – С. 47-52.