

На правах рукописи



ПЕЛУПЕССИ Данни Самуел

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРУЖИННЫХ ШАГОВЫХ  
ПРИВОДОВ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ**

Специальность: 05.02.02 - Машиноведение, системы приводов и детали машин

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» на кафедре «Машиноведение и основы конструирования»

Научный руководитель:

**Жавнер Милана Викторовна**  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Машиноведение и основы  
конструирования»

Официальные оппоненты:

**Мусалимов Виктор Михайлович**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
национальный исследовательский  
университет информационных  
технологий, механики и оптики»,  
профессор кафедры «Мехатроника»

**Алексеева Любовь Борисовна**  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный  
университет, доцент кафедры  
«Машиностроение»

Ведущая организация:

ООО фирма «Рекупер», Москва.

Защита состоится 10 октября 2017 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.12 в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке и на сайте [http://www.spbstu.ru/defences\\_files/06bc-thesis.pdf](http://www.spbstu.ru/defences_files/06bc-thesis.pdf) ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Автореферат разослан

17 мая 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А. Н. Евграфов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования** определяется необходимостью повышения производительности машин циклического действия, снижения энергопотребления и уменьшения массогабаритных параметров приводов.

Уменьшение затрат энергии при функционировании машин в различных отраслях промышленности является важнейшей экономической и экологической задачей. Технологическое оборудование является одним из основных потребителей энергии на производстве. Автоматизация производств в различных отраслях промышленности и на конкретных производственных участках часто имеет существенную специфику, и это требуется учитывать, как при проектировании основного оборудования, так и при использовании вспомогательных устройств. Нередко особую важность приобретают ограничения по мощности двигателей приводов при сохранении высоких требований к быстродействию. Традиционные механизмы с электромеханическими приводами, обеспечивающие высокое быстродействие при необходимости сокращения интервалов времени перемещения, требуют больших пиковых мощностей при разгоне подвижных частей механизмов. В условиях жесткой ограниченности потребляемой мощности высокую эффективность могут проявлять встроенные в приводные механизмы средства рекуперации энергии, в первую очередь, пружинные аккумуляторы потенциальной энергии. Общая идеология и основные пути реализации устройств рекуперации были определены трудами отечественных ученых в первую очередь А.И.Корендясева, Б.Л.Саламандры, Л.И.Тывеса, В.С.Семеноженкова, С.Н.Сысоева, В.И.Бабицкого и др. Существует большое количество патентов, связанных с пружинными приводами с рекуперацией энергии, но несмотря на это, практически применение пружинных приводов не нашло отражения в реальных конструкторских разработках. Это связано с тем, что работ, посвященных шаговому приводу, в которых используются пружинные аккумуляторы, практически нет. В литературе отсутствует информация о реализации пружинных приводов с рекуперацией энергии для шаговых перемещений. Это объясняется отсутствием научного подхода к проектированию таких систем. Методология их проектирования применительно к различным прикладным задачам также проработана недостаточно, чем и определяется актуальность данной работы.

Общая идея реализации принципа рекуперации с накоплением потенциальной энергии деформированных пружин в данной работе заключается в использовании пружинных аккумуляторов с цилиндрическими пружинами растяжения или сжатия, на базе которых создаются пружинные приводы для поворотных столов различного технологического оборудования. Такой шаговый привод строится, как единая система приводов, состоящая из пружинного аккумулятора, выполняющего функцию основного двигателя, дополнительных приводов с двигателями для зарядки и компенсации диссипативных потерь и электромагнитных приводов распределителей, объединенной единой автоматической системой управления. В пружинных приводах с рекуперацией энергии при разгоне осуществляется преобразование накопленной в пружинах потенциальной энергии в кинетическую, при торможении происходит накопление потенциальной энергии в пружинах, а роль двигателя сводится к восполнению неизбежных диссипативных потерь. В циклических режимах работы реализуются периодические режимы, а указанный прием позволяет значительно снижать не только пиковые, но также и средние мощности.

Основное внимание обращено на пружинные аккумуляторы с выходным поворотным звеном, характеристики которых являются основополагающими для шаговых приводов с рекуперацией энергии, определяющие как динамические характеристики, так и массогабаритные. В данной работе рассмотрены и на математических моделях исследованы нереверсивные и реверсивные шаговые приводы с рекуперацией энергии на базе пружинных аккумуляторов с выходным поворотным звеном, которые можно использовать в качестве основных приводов поворотных столов технологического оборудования.

**Цель работы** заключается в разработке новых, научно обоснованных методик расчета и проектирования новых конструкций пружинных приводов с рекуперацией энергии для технологического оборудования с шаговыми перемещениями.

Для достижения поставленной цели в диссертации поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Провести анализ алгоритмов, структуры и условий функционирования приводов класса машин циклического действия с целью выявления

возможности повышения их эксплуатационных характеристик и совершенствования конструкции приводов.

2. Разработать структурные схемы приводов с пружинным аккумулятором, в том числе при дополнительном использовании гибкого элемента, связывающего выходное поворотное звено и пружину.
3. Разработать методику оптимизации конструктивных параметров рекуперативных приводов и провести анализ влияния геометрических параметров пружинных аккумуляторов с выходным поворотным звеном на базе пружин растяжения и сжатия на их силовые и динамические характеристики.
4. Исследовать свойства пружинных приводов с рекуперацией энергии и пневматических приводов для компенсации диссипативных потерь.
5. Решить вопросы фиксации приводов в позиции технологического выстоя и автоматического накопления потенциальной энергии в пружинных аккумуляторах после первичной сборки.
6. Разработать экспериментальные образцы нереверсивного и реверсивного пружинных приводов с рекуперацией энергии и пневматических систем для компенсации диссипативных потерь.

**Объект исследования** – шаговые приводы машин на базе цилиндрических пружин растяжения и сжатия для приводов с устройствами рекуперации энергии.

**Предмет исследования** – геометрические, силовые и динамические характеристики пружинных аккумуляторов для шаговых пружинных приводов с рекуперацией энергии.

**Методы исследования.** При решении поставленных задач использованы методы теоретической механики, теории колебаний, дифференциальных уравнений, теории механизмов, роботов и мехатронных систем и математического компьютерного моделирования динамических систем с использованием Mathcad.

**Научная новизна.**

1. В соответствии с общей концепцией рекуперации предложены новые структурные схемы пружинных приводов с гибким элементом, обеспечивающих как нереверсивное, так и реверсивное движение и фиксацию в заданных неустойчивых положениях;

2. Разработаны математические модели и научно обоснованные методики определения параметров пружинных приводов с рекуперацией энергии, в которых для компенсации диссипативных потерь используется пневматический двигатель;
3. Исследовано влияние характеристик и параметров пружинных аккумуляторов с цилиндрическими пружинами растяжения и сжатия на динамику шаговых поворотных устройств.

**Практическая ценность.**

Предложены новые схемы пружинных приводов с рекуперацией энергии для шаговых перемещений на базе пружинных аккумуляторов с выходными поворотными звеньями технологического и вспомогательного оборудования машиностроительных предприятий. Результаты работы могут являться основой для конструкторских разработок.

**Достоверность результатов исследования** в части методик расчетов подтверждена правильным и корректным применением положений теоретической механики, теории механизмов и машин.

**Научные положения, выносимые на защиту.**

1. Обоснование и разработка принципа построения для различного оборудования шаговых приводов с подсистемой рекуперации энергии, обеспечивающей снижение энергопотребления, как единой системы, включающей пружинный аккумулятор, приводы для компенсации потерь и распределители с единой системой автоматического управления;
2. Математические модели указанных подсистем, использование которых позволит решать задачи параметрической оптимизации систем указанного типа при ограничениях на энергопотребление.

**Апробация работы.** Результаты работы докладывались в СПбПУ на кафедре «Машиноведение и основы конструирования» и на кафедре «Автоматы», на международной конференции «V Междунар. науч.-практ. конференция «Современное машиностроение. Наука и образование», на международном конгрессе XIII<sup>th</sup> International Congress «Machines. Technologies. Materials'16» (Болгария), а также на XLV международной научно-практической конференции «Неделя науки СПбПУ».

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 9 работ, из них 2 статьи в изданиях из перечня ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Ее содержание изложено на 99 страницах, включает 53 рисунка и 5 таблиц. Список литературы включает 91 наименование, приложения даны на 3 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** изложена актуальность темы диссертационной работы.

**Первая глава** посвящена анализу научно-технической, патентной литературы по шаговым приводам, в том числе по шаговым пружинным приводам. Хотя известны работы, посвящённые этим приводам, последние почти не находят реального воплощения в конструкторских разработках. В тоже время на рынке комплектующих элементов присутствует большое количество изделий, которые могут быть использованы при создании пружинных приводов для шаговых перемещений. В технической литературе отсутствует информация о характеристиках пружинных аккумуляторов и методиках их расчёта. Применение электрических приводов для компенсации диссипативных потерь ограничивает быстродействие, что связано с недостаточным быстродействием по сравнению с пружинным приводом. Не проработаны способы и средства фиксации в точках позиционирования. Не решены задачи по зарядке пружинных аккумуляторов в автоматическом режиме.

Из перечисленного вытекает необходимость исследований по направлениям:

- поиск новых, более эффективных технических решений по созданию пружинных приводов с рекуперацией энергии для шаговых перемещений;
- исследование свойств пружинных аккумуляторов с выходным поворотным звеном для пружинных приводов с рекуперацией энергии для шаговых перемещений;
- поиск конструктивных решений по фиксации выходного звена в положении выстоя;
- автоматическая зарядка пружинных аккумуляторов (после аварийной остановки или при первоначальной сборке).

**Во второй главе** проведен анализ характеристик пружинных аккумуляторов и рассмотрены диссипативные свойства пружинных аккумуляторов. Пружинный аккумулятор с выходным поворотным звеном на

базе пружин растяжения и сжатия с углом поворота  $2\pi$ , можно использовать в качестве основного двигателя поворотных столов технологического оборудования.

На рисунке 1 представлена схема пружинного аккумулятора с выходным поворотным звеном 1, шарнирно соединённым с цилиндрической пружиной растяжения 2. Второй конец пружины соединен с основанием. При вращении вокруг оси  $O$ , точка  $O_1$  проходит угол  $q = 2\pi$ . Такой пружинный аккумулятор может быть также создан на базе пружины сжатия. Точка  $A$  соответствует положению неустойчивого равновесия, а точка  $B$  положению устойчивого равновесия.

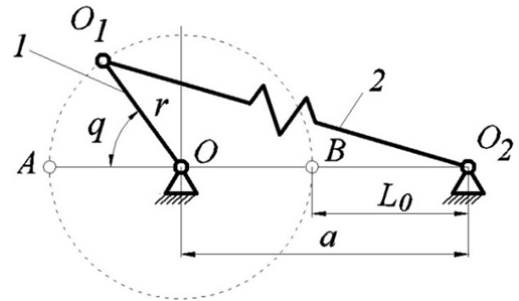


Рисунок 1

На рисунке 2 представлена схема пружинного аккумулятора, в котором поворотное звено соединено с пружиной через гибкий элемент, например, через трос или стальную ленту.

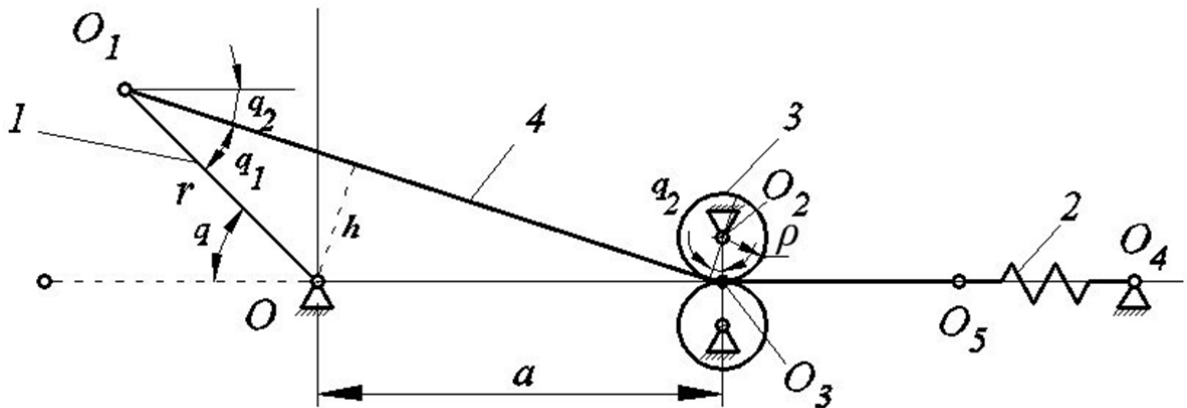


Рисунок 2

Основными геометрическими характеристиками пружинного аккумулятора с выходным поворотным звеном являются:  $r$  – радиус выходного звена,  $L_0$  – минимальная длина пружины;  $L_{max}$  – максимальная длина пружины;  $a$  – межосевое расстояние.

Поскольку пружинный аккумулятор с выходным поворотным звеном можно применять в приводах с рекуперацией энергии для шаговых перемещений, то рассмотрены характеристики пружинного аккумулятора в пределах поворота выходного звена на угол  $2\pi$ .



Межосевое расстояние пружинного аккумулятора с выходным поворотным звеном, приведенного на рисунке 1, определяется по формуле

$$a = r + L_0$$

Максимальное удлинение пружины в рассматриваемом пружинном аккумуляторе  $\Delta L_{\text{пр}}^{\text{max}} = 2r$ , поэтому минимальная длина пружины  $L_0 = \frac{2r}{K_y}$ ,

где  $K_y$  – коэффициент удлинения пружины.

Максимальная длина пружины  $L_{\text{max}} = a + r$ .

Для определения областей изменения межосевого расстояния введен безразмерный коэффициент  $a' = \frac{a}{r}$ .

Подлежащими определению по результатам расчетов основными характеристиками пружинного аккумулятора с выходным поворотным звеном являются: закон изменения потенциальной энергии в зависимости от угла поворота; зависимость усилия пружины от угла поворота выходного звена; жесткость пружины; максимальное усилие пружины; закон изменения движущего момента; зависимость скорости выходного звена от угла поворота; время поворота на заданный угол при заданном моменте инерции поворотного стола, приведенном к оси поворотного звена пружинного аккумулятора, и при определенной жесткости пружины; величина диссипативных потерь, определяющая выбор типа и параметров привода для их компенсации.

Определены законы изменения потенциальной энергии для пружинного аккумулятора с выходным поворотным звеном. При одинаковой жесткости пружин  $c$  и при радиусе поворотного звена  $r = OO_1$  (см. рис. 1) максимальная потенциальная энергия в положении неустойчивого равновесия в случае отсутствия предварительного натяжения пружины имеет вид  $V_{\text{max}} = 2cr^2$ , текущее значение потенциальной энергии пружинного аккумулятора с выходным поворотным звеном определяется выражением  $V_T = \frac{1}{2}c\Delta L_{\text{пр}}^2$ ,

где  $\Delta L_{\text{пр}}$  – текущее удлинение пружины,

$$\Delta L_{\text{пр}} = \sqrt{r^2 + a^2 + 2ar \cos q} - L_0$$

С учетом вышеприведенного уравнения выражение для потенциальной энергии примет вид

$$V_T = \frac{1}{2}c(\sqrt{r^2 + a^2 + 2ar \cos q} - L_0)^2$$

$$\text{или } V_T = \frac{1}{2}cr^2V_T'$$

где  $V_T' = \left[ \sqrt{1 + (a')^2 + 2a' \cos q} - (a' - 1) \right]^2$  – уравнение, определяющее значение потенциальной энергии в безразмерном виде.

Графики, определяющие потенциальную энергию в зависимости от угла поворота пружинного аккумулятора с выходным поворотным звеном при различных значениях коэффициента  $a'$ , приведены на рисунке 3.

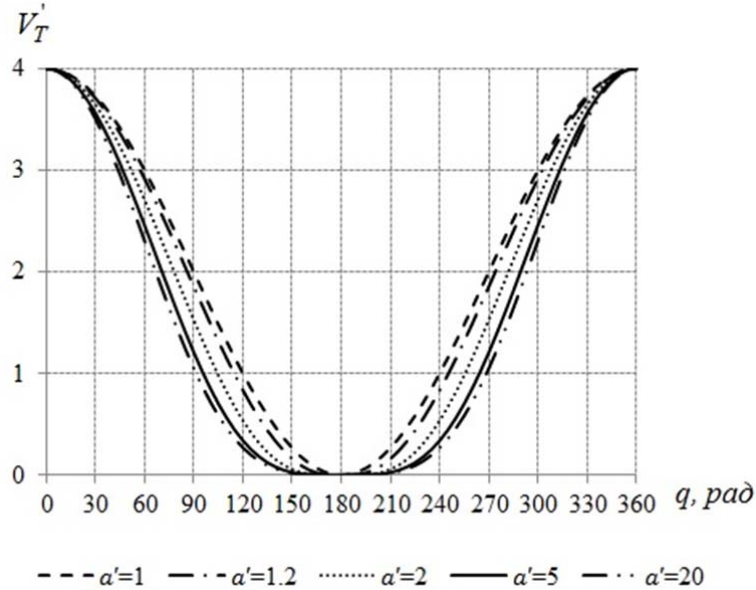


Рисунок 3

Момент, действующий на выходное звено, определяется выражением:

$$M = c\Delta L_{\text{пр}}h,$$

где  $h$  – плечо вращающего момента.

Для пружинного аккумулятора моментная характеристика определяется следующим выражением:

$$M = a \cdot c \cdot r \left( 1 - \frac{a-r}{\sqrt{r^2 + a^2 + 2ar \cos q}} \right) \cdot \sin q$$

или  $M = cr^2 M'$ ,

где  $M' = a' \left( 1 - \frac{a'-1}{\sqrt{1+a'^2 + 2a' \cos q}} \right) \sin q$  – уравнение, определяющее

значение момента в безразмерном виде.

На рисунке 4 в общем виде показаны моментные характеристики пружинного аккумулятора с выходным поворотным звеном. При изменении геометрических параметров, в частности при увеличении межосевого расстояния, максимальное значение момента повышается и смещается к положению неустойчивого равновесия.

Текущая угловая скорость определяется из совместного решения уравнений для полной механической энергии

$$\dot{q} = \sqrt{\frac{2(V_{max} - V_T)}{J}},$$

где  $J$  – приведенный момент инерции звеньев привода поворотного стола к выходному звену.

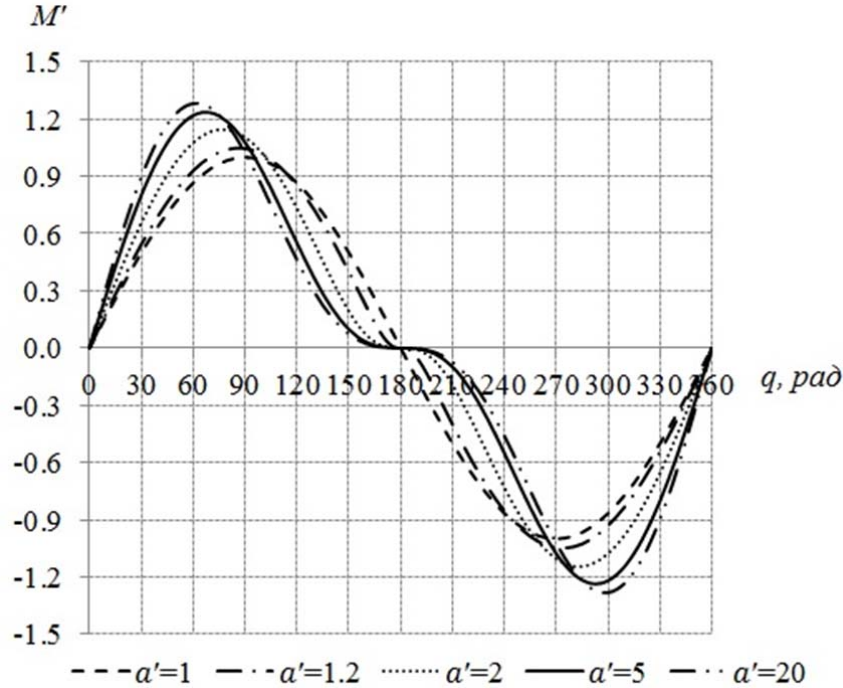


Рисунок 4

$$\dot{q} = \sqrt{\frac{2(2cr^2 - 0,5c(\sqrt{r^2 + a^2 + 2ar \cos q} - L_0)^2)}{J}}$$

или  $\dot{q} = 4r \sqrt{\frac{c}{J}} \cdot \dot{q}'$ ,

где  $\dot{q}' = \sqrt{4 - (\sqrt{1 + a'^2 + 2a' \cos q} - (a' - 1))^2}$  – уравнение,

определяющее значение угловой скорости в безразмерном виде.

Для пружинного аккумулятора скорость и ускорение меняются непрерывно, а свои изменения начинают и оканчивают нулевыми значениями, что определяет благоприятный динамический режим.

Расчетное время поворота при заданном приведенном моменте инерции  $J$  определяется жесткостью пружины  $c$  и конструктивными параметрами пружинного аккумулятора: размерами  $a$  и  $r$ .

Время поворота пружинного аккумулятора на угол  $2\pi$ , без учета диссипативных потерь определяется из решения интегрального уравнения:

$$t = \int_0^{2\pi} \frac{dq}{\dot{q}(q)} = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{J}{c}} \cdot K_{tq},$$

$$K_{tq} = \int_0^{2\pi} \frac{dq}{\sqrt{4 - (\sqrt{1+a'^2+2a' \cos q} - (a'-1))^2}},$$

где  $K_{tq}$  – безразмерный коэффициент, получаемый при решении интегрального уравнения и определяющий время поворота без учета массогабаритных характеристик.

Расчетные значения коэффициента  $K_{tq}$  при различных значениях конструктивного параметра  $a'$  приведены в таблице 1.

Таблица 1

$a'$	1	2	3	4	5	6	10	20
$K_{tq}$	24,5	21,6	20,5	20,0	19,6	19,4	19,0	18,6

Следует отметить, что изменение геометрических параметров, в частности увеличение  $a'$ , приводит к повышению быстродействия и уменьшению времени поворота. При  $a' > 5$  время поворота снижается незначительно, что позволяет сделать вывод о нецелесообразности увеличения габаритных размеров привода.

Преобразование выражения для определения времени поворота позволяет получить выражения для определения жесткости пружины  $c = \frac{JK_{tq}^2}{r^2 t^2}$  максимальной потенциальной энергии пружинного аккумулятора  $V_{max} = \frac{2JK_{tq}^2}{t^2}$  и максимального усилия пружины  $P_{max} = \frac{2JK_{tq}^2}{rt^2}$ .

При проектировании поворотных столов фасовочно-упаковочного оборудования без ограничения ускорения для повышения быстродействия можно использовать значения параметра  $a' > 3$ . При ограничении ускорения следует применять пружинный аккумулятор с выходным поворотным звеном, имеющий характеристики, близкие к таковым для синусного аккумулятора.

Пружинный аккумулятор с выходным поворотным звеном, созданный на базе гибкого элемента, позволяет получать наилучшее приближение к синусной моментной характеристике, а также осуществлять различные компоновочные решения.

**В третьей главе** предложены и исследованы нереверсивные шаговые

пружинные приводы с рекуперацией энергии. На рисунке 5 представлена кинематическая схема неререверсивного пружинного шагового привода в исходном положении для обеспечения дискретного угла поворота поворотного стола. Пружинный привод состоит из пружинного аккумулятора, пневматического цилиндра, обеспечивающего компенсацию диссипативных сил, передачи, обеспечивающей требуемый угол поворота поворотного стола и систему управления, которая управляет работой всего привода. Управление работой пневматического цилиндра осуществляется с помощью распределителя. На пневматическом цилиндре установлены клапаны быстрого выхлопа, уменьшающие аэродинамические потери, что позволяет также снизить энергетические затраты.

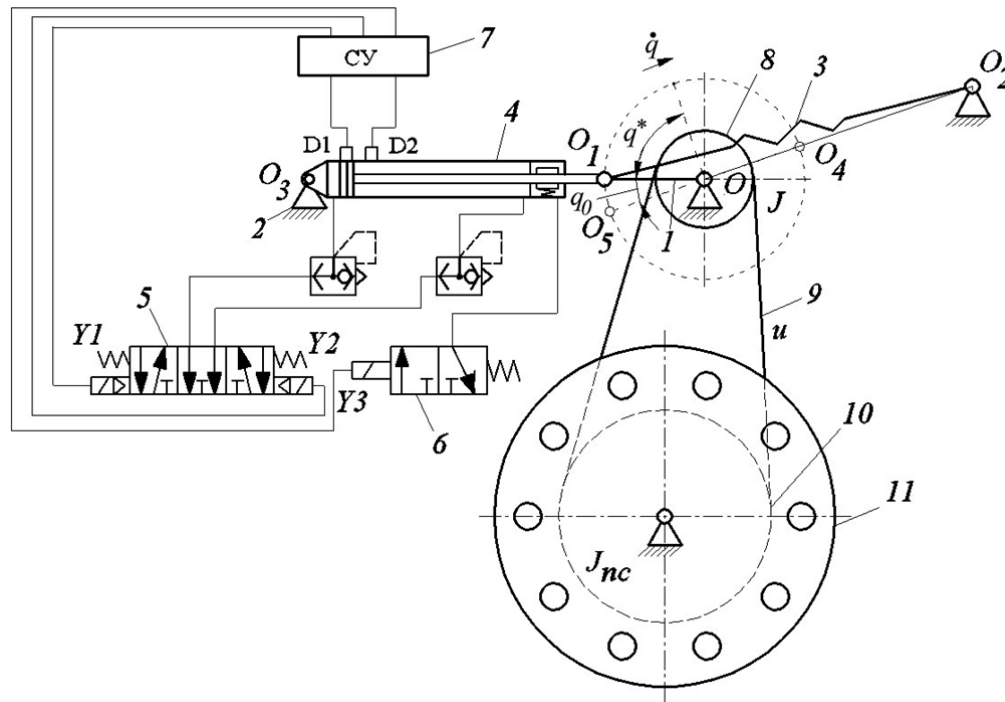


Рисунок 5

Для неререверсивного шагового привода используется пневматический цилиндр с пневмоприводным фиксатором штока. Угол поворота рычага равен  $2\pi$ , но его начальное положение смещено относительно положения неустойчивого равновесия на угол  $q_0$  в сторону направления движения, что обеспечивает начальный движущий момент и заданное направление поворота.

Для определения величины угла  $q^*$  получено следующее уравнение:

$$\frac{l_{ш}}{a_1 r \sqrt{2ar}} \sqrt{\frac{J}{c}} = \sqrt{\frac{\cos q_0 - \cos(q_0 + q^*)}{a_1^2 + r^2 - 2a_1 r \cos q^*}} \sin q^*,$$

где  $a_1 = OO_3$ .

Решение данного уравнения позволило выявить границы использования пневматического цилиндра для компенсации диссипативных потерь с учётом ограничения максимальной скорости штока  $\dot{L}_{ш}$  пневматического цилиндра. При повороте на угол  $q^*$  шток пневматического цилиндра достигает максимальной скорости, и цилиндр должен быть отключён.

**В четвёртой главе** представлены результаты разработки и предварительного исследования конструкции реверсивного пружинного привода с рекуперацией энергии. На рисунке 6 представлена кинематическая схема реверсивного пружинного привода с рекуперацией энергии для поворотного стола и двумя пневматическими цилиндрами.

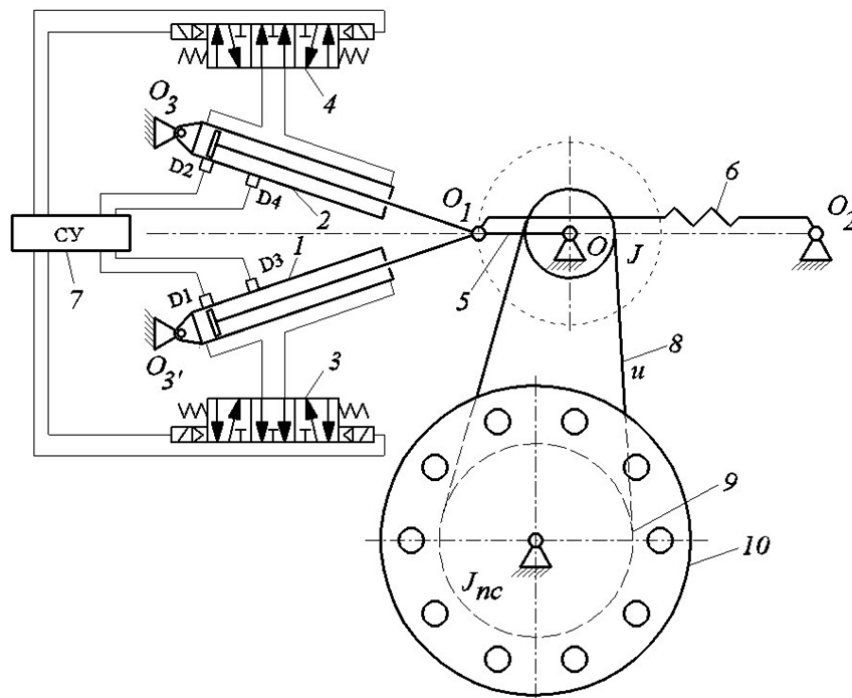


Рисунок 6

Пружинный аккумулятор образован поворотным рычагом 5 и пружиной растяжения 6. На ось шарнирного соединения пружины и поворотного рычага установлены шарниры штоков пневматических цилиндров 1 и 2. Цилиндр 1 снабжён датчиком D3, а цилиндр 2 датчиком D4. На корпусе цилиндров установлены датчики D1 и D2, которые срабатывает при конфигурации, соответствующей нахождению пружинного аккумулятора в неустойчивом положении. Для реверсивного пружинного привода пневматические цилиндры обеспечивают: компенсацию диссипативных потерь; возможность реверсивного движения; фиксацию привода в положении неустойчивого равновесия на время технологического выстоя; первичную зарядку пружинного аккумулятора.

**В заключении** перечислены основные результаты работы:

Разработанные методики анализа и синтеза технических устройств с рекуператорами энергии могут быть положены в основу САПР технологического оборудования, обеспечивающих значительное энергосбережение и снижение потребной мощности приводов. Проведенные испытания продемонстрировали работоспособность привода и правильность проектных решений.

1. В результате анализа структурных схем приводов машин циклического действия установлена возможность и целесообразность повышения их эксплуатационных характеристик и совершенствования конструкции включением гибкого элемента в схему привода;
2. Определены базовые структуры наиболее перспективных пружинных аккумуляторов с гибким элементом, позволяющие осуществлять различные компоновочные решения;
3. Проведен анализ влияния геометрических параметров пружинных аккумуляторов на его основные характеристики и даны и обоснованы рекомендации по проектированию пружинных приводов в зависимости от технологического назначения поворотных столов;
4. Разработаны научные основы проектирования исполнительных устройств в технологическом оборудовании на базе пружинных аккумуляторов, обеспечивающих энергосбережение и значительное снижение потребных мощностей двигателей;
5. Определены первые передаточные функции кривошипно-кулисных механизмов с пружинами и пневматическими цилиндрами, обеспечивающие целенаправленное проектирование пружинных приводов с рекуперацией энергии;
6. Показано, что наиболее эффективным средством для компенсации диссипативных потерь является пневматический привод, одновременно решающий задачи фиксации в положении неустойчивого равновесия, автоматической зарядки пружинных приводов в случае аварийной остановки, перед пуском или после первичной сборки;
7. Работоспособность пружинных приводов, сконструированных на основе разработанной методики, подтверждена испытанием экспериментальных образцов шаговых приводов нереверсивного и реверсивного движения.

### **Список публикаций по теме диссертации**

#### **в изданиях из перечня ВАК:**

1. Пелупесси Д.С., Жавнер М.В. Пружинные аккумуляторы с выходным поворотным звеном // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Том 18 № 1(2). – С.256–259.
2. Пелупесси Д.С., Жавнер М.В. Пружинные аккумуляторы с выходным поворотным звеном для шаговых перемещений // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 10 (679). – С.9–17.

#### **в других изданиях:**

1. Никитина К.А., Пелупесси Д.С., Жавнер М.В. Приводы для поворотных столов // Науч. форум «Неделя науки СПбПУ»: ИММиТ СПбПУ. Ч.1. Изд-во Политехн. ун-та. – 2015. – С.67–69.
2. Пелупесси Д.С., Петровская К.В., Жавнер М.В. Снижение энергозатрат с помощью использования шагового рекуперативного привода // Науч. форум «Неделя науки СПбПУ»: ИММиТ СПбПУ. Ч.1. Изд-во Политехн. ун-та. – 2015. – С.69–71.
3. Пелупесси Д.С., Жавнер М.В. Использование пружинных приводов в средствах грузопереработки // Национальная ассоциация ученых «Ежемесячный научный журнал» – 2015. – № 5(10). – С.65–68.
4. Пелупесси Д.С., Жавнер М.В. Пружинные аккумуляторы для шаговых приводов // Современное машиностроение. Наука и образование: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (30 июня–01 июля 2016 г.). – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2016. – С.499–509.
5. Петровская К.В., Пелупесси Д.С., Жавнер М.В. Применение пружинных механизмов в технологическом оборудовании // Науч. форум «Неделя науки СПбПУ»: ИММиТ СПбПУ. Ч.1. Изд-во Политехн. ун-та. – 2015. – С.64–66.
6. Пелупесси Д.С., Жавнер М.В. Пружинные аккумуляторы для приводов с рекуперацией энергии / Науч. форум «Неделя науки СПбПУ»: ИММиТ СПбПУ. Ч.2. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2016. – С.101–103.
7. Pelupessy D.S., Zhavner M. Spring actuator for cyclic movements. Machines.Technologies.Materials, International Journal for science, technics and innovations for the industry. – 2016. Issue 11, pp.7–11.