

На правах рукописи

МАЦКО Ольга Николаевна

**МЕХАТРОННЫЕ РЕКУПЕРАТИВНЫЕ ПРИВОДЫ ДЛЯ
ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Специальность: 05.02.05 – Роботы, мехатроника
и робототехнические системы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2011

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Жавнер Виктор Леонидович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Уваров Виктор Павлович

кандидат технических наук
Смирнов Карим Асенович

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г.Москва

Защита состоится «01» ноября 2011 г в 16 часов на заседании диссертационного Совета Д 212.229.12 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29, 1-учебный корпус, ауд. 41.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан «30» сентября 2011г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.229.12
кандидат технических наук, профессор

А.Н.Евграфов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В современном технологическом оборудовании широкое применение находит пневматический привод, позволяющий сократить кинематические цепи, приблизить пневматический двигатель к рабочему органу, а в некоторых случаях соединить их напрямую, что позволяет уменьшить металлоемкость оборудования, снизить динамические нагрузки и уменьшить акустические нагрузки на операторов.

В конструкции пневмоприводов для возвратно-поступательного движения основную роль играют пневматические цилиндры различного конструктивного исполнения, из которых наилучшие энергетические характеристики имеют классические стандартные цилиндры. Существенным недостатком рассматриваемых штоковых цилиндров является то, что максимальный размер пневмоцилиндра в два с лишним раза превышает его максимальный рабочий ход. В большинстве случаев это приводит к увеличению габаритных размеров технологического оборудования. Для устранения этого недостатка разработаны разнообразные конструкции бесштоковых пневмоцилиндров, у которых максимальный установочный габаритный размер незначительно превышает максимальный ход поршня. Однако потери на трение в них значительно увеличились.

В связи с этим задача разработки мехатронных пневматических рекуперативных приводов для возвратно-поступательных перемещений, обеспечивающих одновременное снижение энергопотребления и габаритов в направлении рабочего хода, является достаточно актуальной. Не менее актуальной остается эта задача в цикловых промышленных роботах и манипуляционных системах, построенных на базе поступательных пар.

Целью работы является разработка и исследование мехатронных рекуперативных приводов для возвратно-поступательного движения, определения областей их применения и выработка рекомендаций по их применению.

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

1. Разработка мехатронных рекуперативных приводов с нелинейными пружинными аккумуляторами, обеспечивающими уменьшение габаритных размеров в направлении технологических перемещений с одновременным снижением энергозатрат.

2. Исследование характеристик нелинейных пружинных аккумуляторов с выходным звеном в виде поступательной пары и разработка рекомендаций по выбору их конструктивных параметров и информационно-измерительных систем.

3. Исследование характеристик нелинейных пружинных аккумуляторов с выходным поворотным звеном и выработка рекомендаций по схемным решениям и выбору передаточных механизмов.

4. Разработка систем компенсации диссипативных сил для данного класса приводов с использованием пневматических цилиндров.

5. Разработка математических моделей нелинейных пружинных аккумуляторов и математических моделей мехатронных приводов на базе НПА с системой компенсации диссипативных потерь.

6. Разработка методики для расчета конструктивных параметров мехатронных рекуперативных приводов.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задачи использованы методы теоретической механики, теории колебаний, дифференциальных уравнений, теории механизмов, робототехнических систем и математического моделирования динамических систем.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Принципы построения мехатронных пневматических рекуперативных приводов для возвратно- поступательных перемещений с использованием пружинных аккумуляторов, имеющих нелинейные моментные или силовые характеристики в функции от параметра перемещения.

2. Математические модели в виде уравнений движения мехатронных рекуперативных приводов для возвратно-поступательных перемещений, на основании которых разработаны алгоритмы проектирования и выбора конструктивных параметров рассматриваемого класса приводов.

3. Основные зависимости для определения диссипативных характеристик мехатронных рекуперативных приводов на базе нелинейных пружинных аккумуляторов, даны рекомендации по снижению диссипативных потерь в рассматриваемых приводах.

4. Способы построения систем компенсации диссипативных потерь для мехатронных рекуперативных приводов и показаны примеры их реализации.

Практическая ценность работы. Предложены новые схемы мехатронных рекуперативных приводов для возвратно-поступательных перемещений на базе нелинейных пружинных аккумуляторов, которые позволили уменьшить габаритные размеры привода в направлении рабочего хода при одновременном снижении энергозатрат. Для пружинных аккумуляторов с выходным поворотным звеном, имеющим два положения неустойчивого равновесия, предложены технические решения, позволяющие обойтись без фиксаторов в крайних положениях и не изменяющие текущую конфигурацию привода при падении, например, давления в пневмосети. Предложены варианты систем компенсации диссипативных потерь в мехатронных рекуперативных приводах. Результаты работы могут являться основой конструкторских разработок.

Апробация работы. Результаты работы докладывались в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете на кафедре «Автоматы», а также на XXXIX международной научно-практической конференции «Неделя науки СПбГПУ». Действующий образец мехатронного модуля с рекуперативным приводом на базе нелинейного пружинного аккумулятора демонстрировался на выставке «Российский промышленник - 2008».

Публикации. По материалу диссертации опубликованы 5 печатных работ, одна из которых опубликована в издании, входящем в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опублико-

ваны основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 130 страниц текста, включая 62 иллюстрации, 2 таблицы, приложения на 13 страницах и список литературы из 90 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, основные научные положения, выносимые на защиту, дан краткий обзор диссертации по главам.

В первой главе выполнен анализ текущего состояния вопроса по рекуперативным приводам. Показана история их разработки и выявлены основные области применения. Приведен обзор работ по существующим конструкциям рекуперативных приводов с оценкой их преимуществ и недостатков. Составлена классификация пневматических цилиндров, которые широко используются в качестве приводов рабочих органов технологического оборудования.

В результате анализа было выявлено, что с целью решения актуальной задачи энергосбережения рекуперативный привод должен быть построен на базе пружинного аккумулятора и иметь в своем составе систему компенсации диссипативных сил, причем, для сокращения габаритных размеров этого привода в направлении рабочего хода в качестве пружинного аккумулятора необходимо использовать нелинейный пружинный аккумулятор.

Во второй главе представлены результаты разработки технической идеологии создания мехатронных пневматических рекуперативных приводов для возвратно-поступательных перемещений с использованием пружинных аккумуляторов с поступательной парой, имеющих нелинейные силовые характеристики в функции от величины перемещения.

Исследованы характеристики нелинейного пружинного аккумулятора (НПА) с поступательной парой для мехатронных приводов, обеспечивающих возвратно-поступательные перемещения и позволяющие уменьшить их габаритные размеры в направлении перемещения выходного звена при одновременном снижении энергопотребления. Предложено несколько конструктивных исполнений НПА с поступательной парой на базе пружин растяжения (рис.1 а,б) и сжатия (рис.1 в,г).

Для корректного сравнения различных конструктивных решений и исследования основных характеристик НПА за базовую модель принят рекуперативный привод на базе линейного пружинного аккумулятора (рис.2).

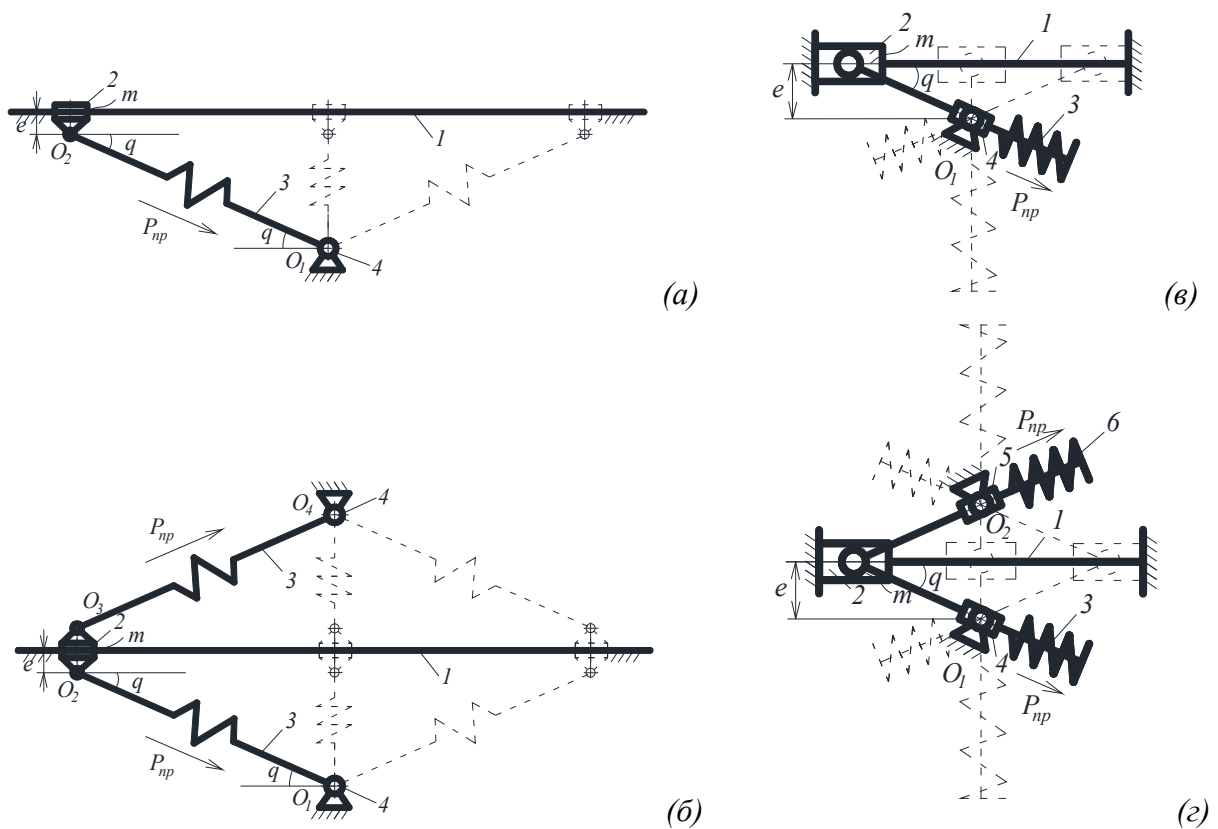


Рис. 1. Варианты исполнения нелинейного пружинного аккумулятора с поступательной парой на базе: (а) одной пружины растяжения; (б) двух симметричных пружин растяжения; (в) одной пружины сжатия; (г) двух симметричных пружин сжатия

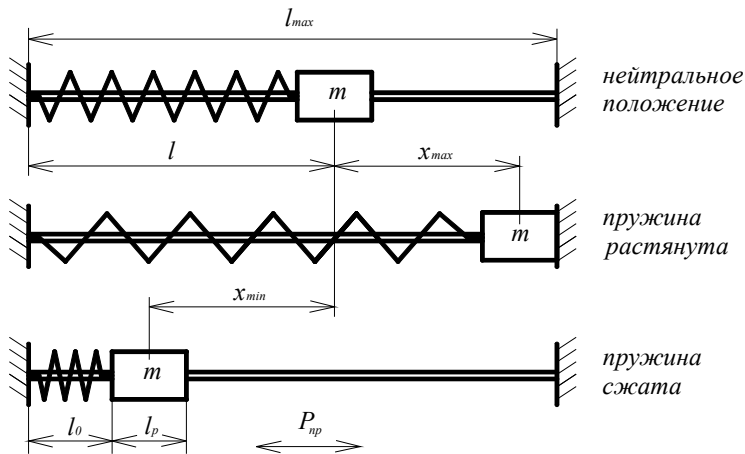


Рис.2. Схема линейного пружинного аккумулятора, принятого за базовую модель

К параметрам линейного пружинного аккумулятора (ЛПА) относятся:
 m – приведенная масса ползуна и рабочего органа или груза;
 t – время перемещения ползуна из одного крайнего положения в другое; равно полупериоду колебаний системы
 l – длина пружины в состоянии устойчивого равновесия (в нейтральном положении).

При исследовании было принято допущение: максимальная потенциальная энергия для любой конфигурации НПА равна максимальной энергии базового линейного аккумулятора, что обеспечивает одинаковую максимальную скорость в среднем положении.

Для простоты НПА представлен конфигурацией прямоугольного треугольника (рис.3), один из катетов которого образован пружиной в состоянии устойчивого равновесия, а гипотенуза – пружиной в максимально растянутом состоянии.

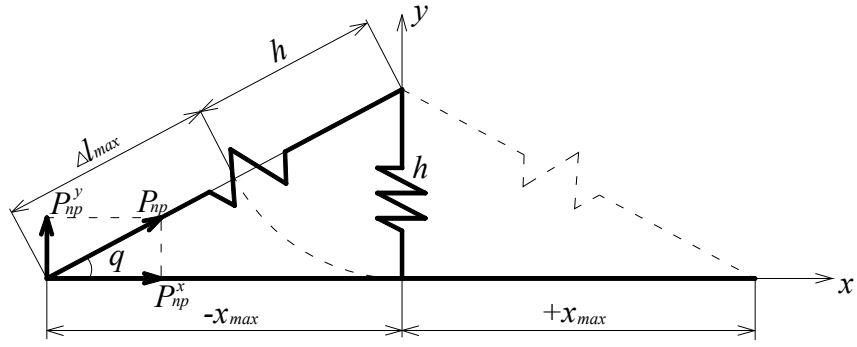


Рис.3. Упрощенная схема нелинейного пружинного аккумулятора

При этом жесткость пружины НПА c_{HA} равна:

$$c_{HA} = c \cdot \frac{x_{max}^2}{(\sqrt{x_{max}^2 + h^2} - h)^2} \quad (1)$$

где c – жесткость базового линейного пружинного аккумулятора; h – длина пружины в состоянии устойчивого равновесия, в данном случае, перпендикулярно направляющей; x_{max} – максимальное удлинение пружины, когда ползун находится в одном из крайних положений (для базового ЛПА $x_{max} = \Delta l_{max}$).

Найдена зависимость максимального усилия пружины НПА при принятом допущении:

$$P_{np}^{max} = c \cdot \frac{x_{max}^2}{\sqrt{x_{max}^2 + h^2} - h} \quad (2)$$

Получена зависимость скорости движения ползуна нелинейного пружинного аккумулятора от значения координаты x через уравнение полной энергии системы без учета диссипативных сил:

$$\dot{x} = \sqrt{\frac{c}{m}} \cdot x_{max} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sqrt{x^2 + h^2} - h}{\sqrt{x_{max}^2 + h^2} - h} \right)^2} \quad (3)$$

где x – текущее положение ползуна по оси x .

Найдена линейная скорость укорочения пружины в функции от x :

$$\dot{x}_{ук} = \sqrt{\frac{c}{m}} \cdot x_{max} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sqrt{x^2 + h^2} - h}{\sqrt{x_{max}^2 + h^2} - h} \right)^2}$$

На рис.3 показаны графики изменения линейной скорости укорочения пружины, совмещенные с графиком скорости ползуна по формуле (3) при $\frac{c}{m} = 1$. По графику видно, что период колебаний пружины в два раза больше периода колебаний ползуна.

Время движения ползуна определяется выражением (4); графически эта зависимость показана на рис.5.

$$t = \int_{-x_{max}}^{+x_{max}} \frac{dx}{\sqrt{\frac{c}{m}} \cdot x_{max} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sqrt{x^2 + h^2} - h}{\sqrt{x_{max}^2 + h^2} - h} \right)^2}} \quad (4)$$

Определены зависимости для нахождения осевой и радиальной нагрузок на ползун, причем осевая нагрузка является законом ускорения:

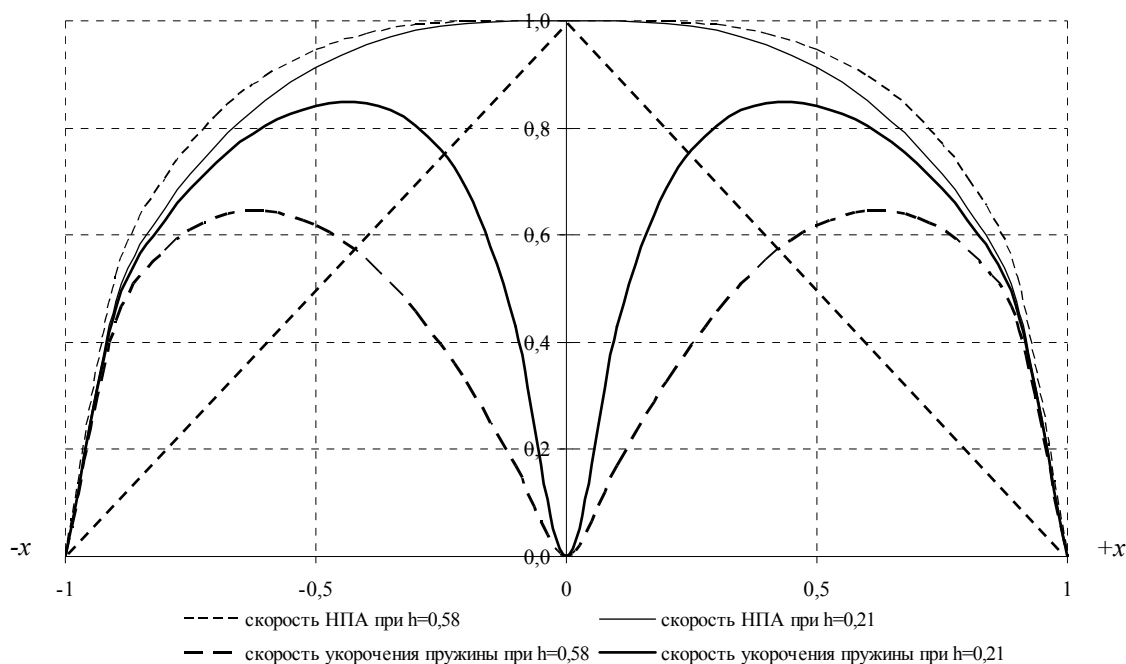


Рис.4. Зависимости $\dot{x} = f(x)$ и $\dot{x}_{ук} = f(x)$ при $\frac{c}{m} = 1$ и $x_{max} = 1$

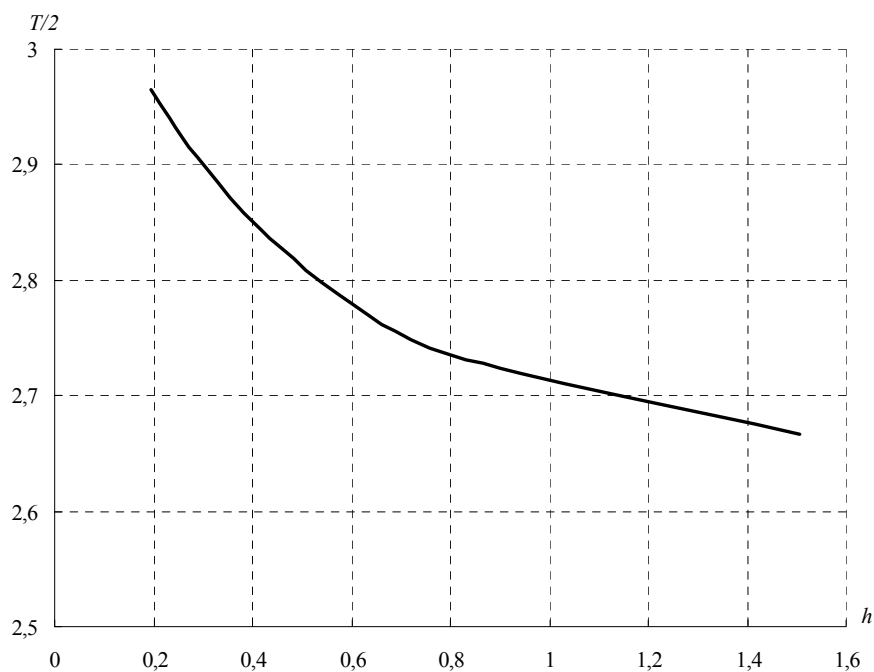


Рис.5. Зависимость $T / 2 = f(h)$ при $\frac{c}{m} = 1$ и $x_{max} = 1$

$$P_{np}^x = \frac{c \cdot x_{max}^2}{\left(\sqrt{x_{max}^2 + h^2} - h\right)^2} \cdot x \cdot \left(1 - \frac{h}{\sqrt{h^2 + x^2}}\right) \quad (5)$$

$$P_{np}^y = \frac{c \cdot x_{max}^2}{\left(\sqrt{x_{max}^2 + h^2} - h\right)^2} \cdot h \cdot \left(1 - \frac{h}{\sqrt{h^2 + x^2}}\right) \quad (6)$$

Графически эти зависимости представлены на рис.6 и 7.

Диссипативные свойства предлагаемого нелинейного пружинного аккумулятора определяются потерями на внутреннее трение в пружине и потерями на трение в зацепах и направляющих.

Потери на внутреннее трение определяются силой сопротивления пружины:

$$R = -b \cdot \dot{x} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}}$$

где b - коэффициент пропорциональности: $b = \frac{\psi \cdot c}{2\pi \cdot \omega}$; ψ - коэффициент рассеяния; ω - собственная частота колебаний пружины, которая в два раза превышает собственную частоту колебаний ползуна $\omega = 2\omega_{полз}$.

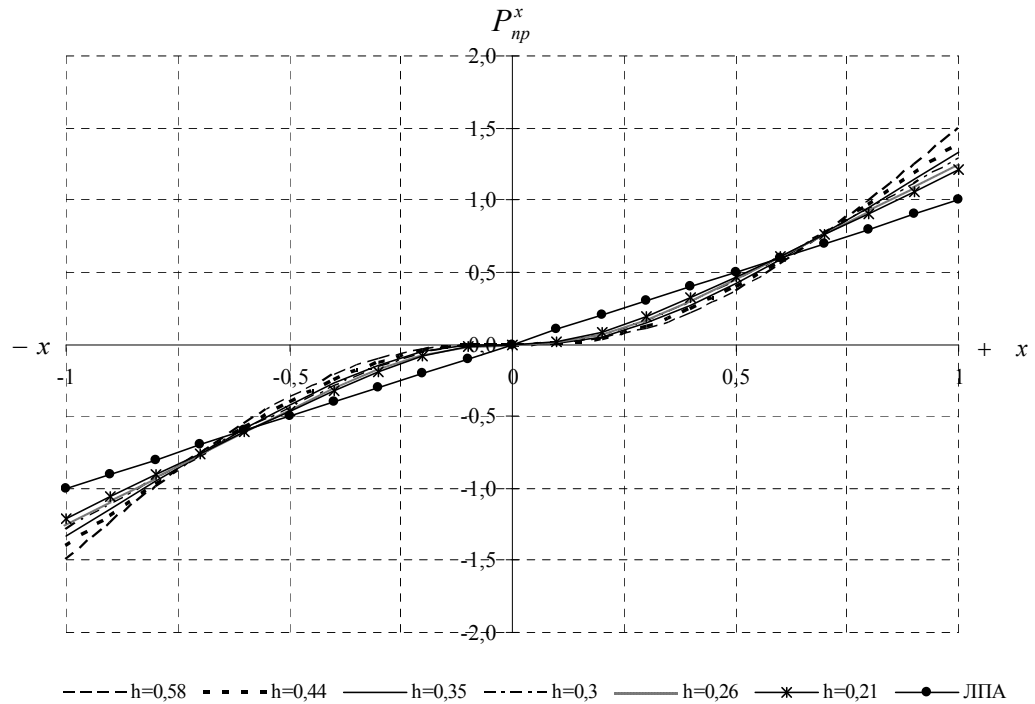


Рис.6. Зависимость $P_{np}^x = f(x)$ при $\frac{c}{m} = 1$ и $x_{max} = 1$

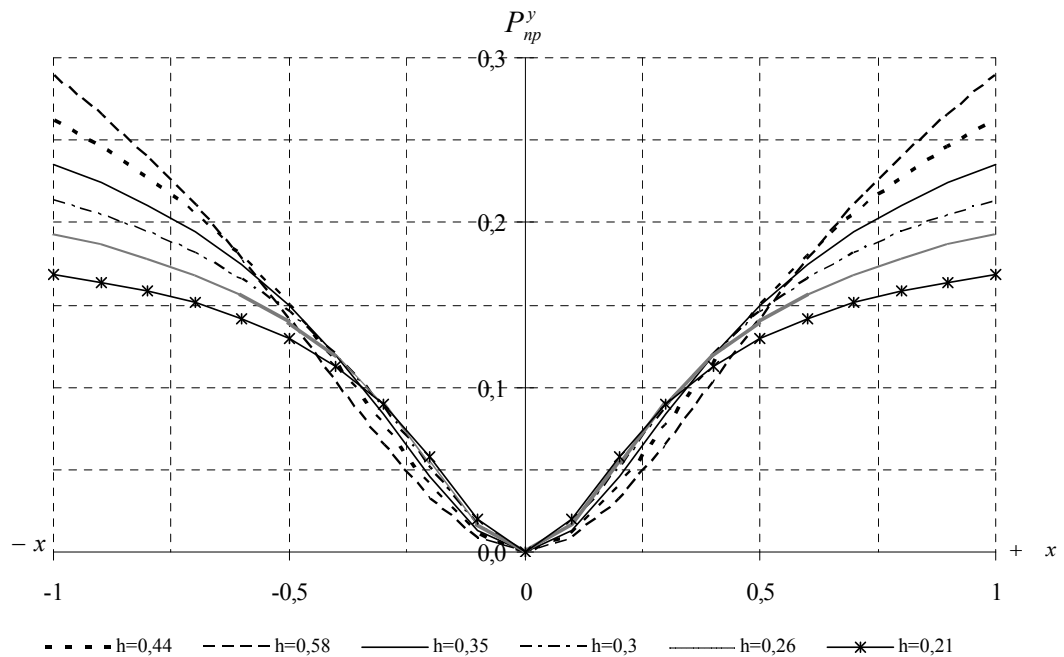


Рис.7. Зависимость $P_{np}^y = f(x)$ при $\frac{c}{m} = 1$ и $x_{max} = 1$

Работа сил внутреннего трения: $A_I = 0,5 \cdot \psi \cdot c_{HA} \cdot (\sqrt{x_{max}^2 + h^2} - h)$ (7)

Сила трения в шарнирных соединения НПА, приведенная к ползуну, определена через уравнение их мгновенных мощностей:

$$F_{mp}^{np} = c_{НА} \cdot f \cdot d \cdot h \cdot \left(\frac{l}{\sqrt{x^2 + h^2}} - \frac{h}{x^2 + h^2} \right) \quad (8)$$

где f - коэффициент трения в шарнирных соединениях пружины; d - диаметр оси шарнирного соединения.

Графики изменения приведенной силы трения F_{mp}^{np} при различных значениях параметра h представлены на рис.8.

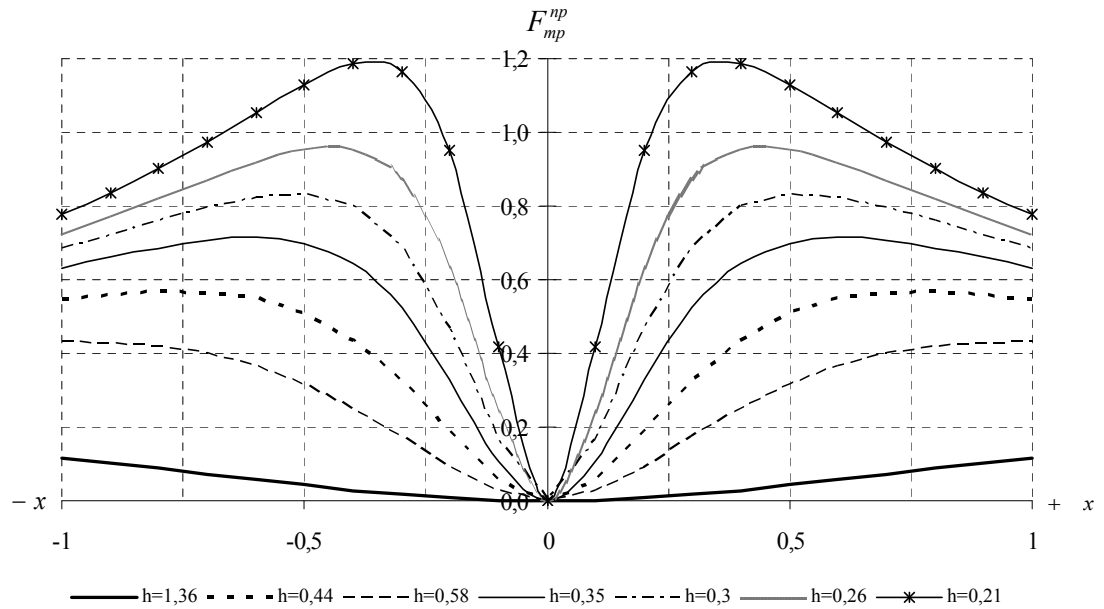


Рис.8. Зависимость $F_{mp}^{np} = f(x)$ при $\frac{c}{m} = 1$ и $x_{max} = 1$

Найдены координаты ползуна, в которых существует максимальное значение приведенной к ползуну силы трения в шарнирных соединениях НПА:

$$x_{ОПТ1,2} = \pm \sqrt{3} \cdot h$$

Максимальная сила трения в шарнирных соединениях НПА, приведенная к ползуну, при полученном значении $x_{ОПТ}$ определяется выражением (9).

$$F_{mp\text{ ОПТ}}^{np} = \pm \frac{l}{4} \cdot f \cdot d \cdot \frac{c \cdot x_{max}^2}{(\sqrt{x_{max}^2 + h^2} - h)^2} \quad (9)$$

Вне зависимости от конструктивного исполнения рекуперативного привода работа сил трения в шарнирных соединениях НПА равна:

$$A_2 = \int_{-x_{max}}^{x_{max}} F_{mp}^{np}(x) dx = 2c \cdot f \cdot d \cdot h \cdot (\ln(x_{max} + \sqrt{x_{max}^2 + h^2}) - \arctg \frac{x_{max}}{h} - \ln h) \quad (10)$$

Работа сил трения в направляющих НПА зависит от компоновки НПА относительно вертикальной плоскости:

1. Пружина растяжения относительно горизонтальной плоскости расположена под ползунком:

$$A_3 = A'_3 + m \cdot g \cdot f \cdot 2x_{max}$$

где A'_3 - работа на преодоление сил трения от силового воздействия пружины: $A'_3 = 2f \cdot c \cdot h \cdot (x_{max} - h \ln(x_{max} + \sqrt{x_{max}^2 + h^2}) + h \ln h)$; m - масса ползуна; g -

ускорение свободного падения.

$$A_3 = 2f \cdot \left[c \cdot h \cdot (x_{max} - h \ln(x_{max} + \sqrt{x_{max}^2 + h^2}) + h \ln h) + m \cdot g \cdot x_{max} \right] \quad (11)$$

2. В пружинном аккумуляторе установлено две пружины:

$$\text{В этом случае: } A'_3 = 0 \text{ и } A_3 = m \cdot g \cdot f \cdot 2x_{max} \quad (12)$$

3. Сверху или снизу от ползуна расположено по одной пружине растяжения или сжатия:

$$A_3 = \left| 2f \cdot \left[m \cdot g \cdot x_{max} - c \cdot h \cdot (x_{max} - h \ln(x_{max} + \sqrt{x_{max}^2 + h^2}) + h \ln h) \right] \right| \quad (13)$$

В третьей главе представлены результаты разработки технической идеологии создания мехатронных пневматических рекуперативных приводов для возвратно-поступательных перемещений на базе нелинейных пружинных аккумуляторов с выходным поворотным звеном, совершающим угол поворота $q_{max} > 2\pi$. Предложено несколько конструктивных исполнений НПА с выходным поворотным звеном на базе пружин растяжения (рис.9,а) и сжатия (рис.9,б).

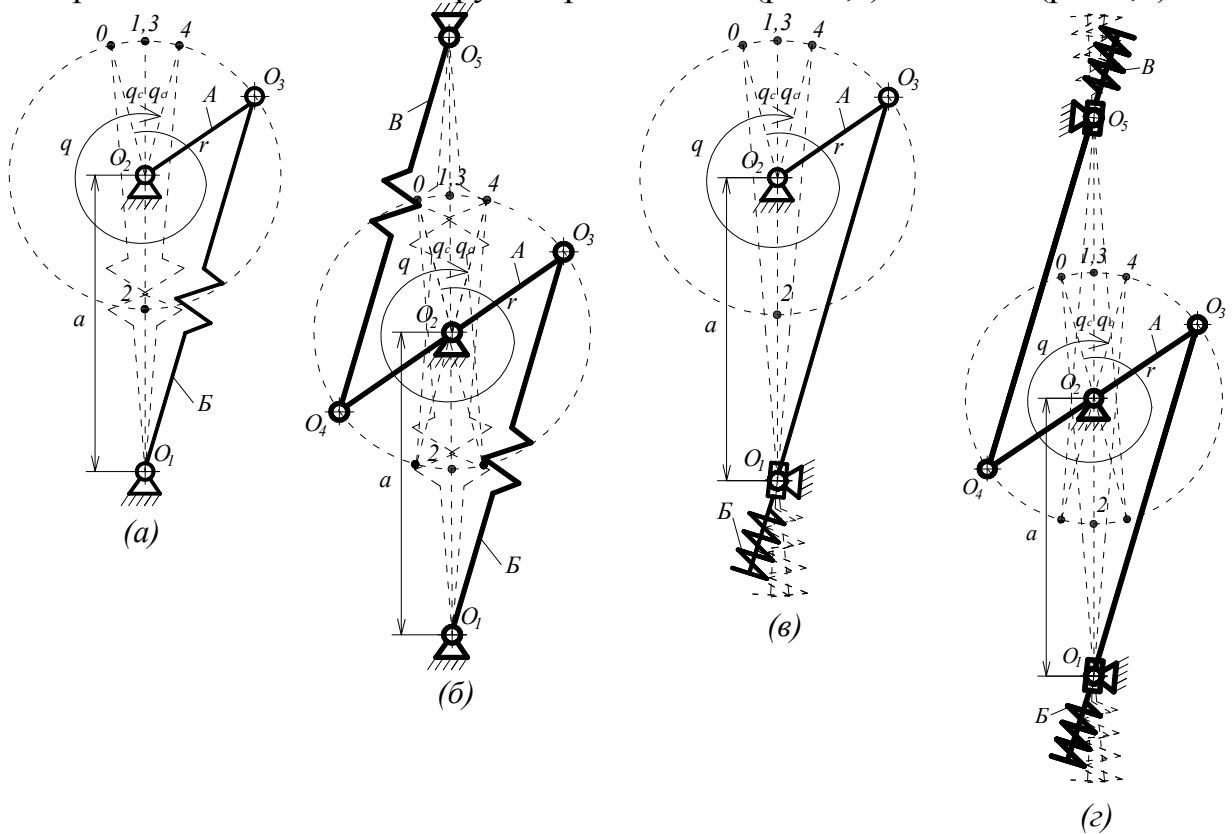


Рис. 9. Варианты исполнения НПА с выходным поворотным звеном на базе:
 (а) пружины растяжения; (б) двух симметричных пружин растяжения; (в) пружины сжатия; (г) двух симметричных пружин сжатия

Моментная характеристика этого НПА без учета предварительного натяжения пружины определяется выражением:

$$M = 2ar \cdot c \cdot \sin q \left(1 - \frac{S}{\sqrt{a^2 + r^2 + 2ar \cdot \cos q}} \right) \quad (14)$$

где $a = O_1O_2$ - расстояние между осями выходного звена и шарнирного соединения пружины с корпусом; $r = O_2O_3$ - радиус закрепления пружины на

выходном звене; q – текущий угол поворота выходного звена; c – жесткость пружины; S – длина пружины, соответствующая углу поворота.

График зависимости крутящего момента от угла поворота – см. рис.10.

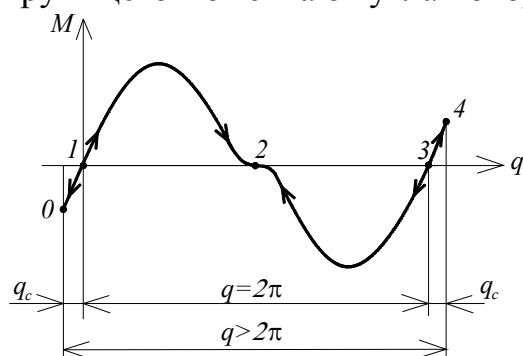


Рис.10. Моментная характеристика НПА с выходным поворотным звеном: $M = f(q)$

Частным случаем рассматриваемого НПА с выходным поворотным звеном является НПА, у которого $a = r$. Его моментная характеристика будет синусной (рис.11), а момент рассчитывается по формуле (без учета предварительного натяжения пружины):

$$M = 2c \cdot r^2 \cdot \sin q \quad (15)$$

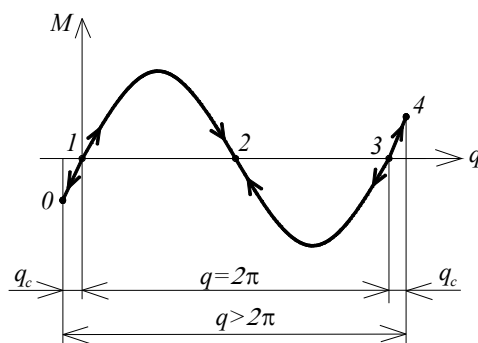


Рис. 11. Моментная характеристика НПА с выходным поворотным звеном при $a = r$

Найдена зависимость потенциальной энергии синусного НПА от угла поворота:

$$V = 2cr^2 \cdot \cos^2 \frac{q}{2} \quad (16)$$

Угловая скорость НПА определяется выражением:

$$\dot{q} = \sqrt{\frac{c}{J}} \cdot 2r \cdot \sin \frac{q}{2} \quad (17)$$

Полупериод колебаний системы определяется интегралом:

$$t = \frac{T}{2} = \int_{-q_c}^{+q_c} \frac{dq}{\dot{q}} = 2r \sqrt{\frac{c}{J}} \int_{-q_c}^{+q_c} \frac{dq}{\sin \frac{q}{2}} \quad (18)$$

В данной главе исследуются также диссипативные свойства пружинного аккумулятора с выходным поворотным звеном и синусной моментной характеристикой, которые определяются потерями на внутреннее трение в пружине и потерями на трение в направляющих и шарнирных соединениях:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 \quad (19)$$

где A - суммарная работа привода на преодоление диссипативных сил; A_1 - работа привода на преодоление внутреннего трения в пружине (определяется аналогично НПА с поступательной парой); A_2 - работа привода на преодоление трения в шарнирных соединениях пружины; A_3 - работа привода на преодоление трения в направляющих ползуна.

Работа A_2 определяется через приведенный момент трения в шарнирных соединениях НПА: $M_{mp}^{np} = r \cdot c \cdot f(d_1 + d_2) \cdot \cos \frac{q}{2}$,

где f - коэффициент трения; d_1, d_2 - диаметры осей шарнирных соединений НПА.

$$\text{Тогда: } A_2 = 4 \cdot r \cdot c \cdot f(d_1 + d_2) \left(1 + \sin \frac{q_c}{2}\right) \quad (20)$$

Работа привода на преодоление трения в направляющих ползуна, пренебрегая КПД передаточного механизма, определяется выражением:

$$A_3 = 2r \cdot f \cdot m \cdot g \cdot \cos \frac{q}{2} \quad (21)$$

В четвертой главе предложены различные варианты систем компенсации затрат энергии на преодоление диссипативных сил в мехатронных рекуперативных приводах для возвратно-поступательного движения, а также показаны некоторые примеры реализации таких приводов. Непременным условием при построении таких систем является следующее: работа пневмоцилиндра, устанавливаемого для компенсации диссипативных сил НПА, должна быть равна или незначительно превышать работу, которую затрачивает НПА на преодоление диссипативных сил: $A_{nc} \geq A$.

На основании теоремы Эри предложены четыре варианта систем компенсации диссипативных сил для мехатронных рекуперативных приводов любого из двух исследуемых типов. Первый вариант (рис.12,а) предусматривает установку бесштокового пневмоцилиндра. На рис.12,б показана схема с двумя короткоходовыми пневмоцилиндрами, установленными на основание. На рис.12,в показан случай, когда двухштоковый пневматический цилиндр закреплен непосредственно на подвижной каретке. На рис.12,г пневмоцилиндр, используемый для компенсации диссипативных сил НПА, установлен таким образом, что он образует с поступательной парой кулисный механизм.

В пятой главе исследованы математические модели в виде уравнений движения мехатронных рекуперативных приводов для возвратно-поступательного движения на базе НПА для четырех вариантов системы компенсации диссипативных сил, предложенных в четвертой главе, а также показано несколько примеров их решения.

1. Уравнение движения НПА при подаче импульса в начале хода

1 этап - вынужденное движение

$$m\ddot{x} + R + P_{np} + mgf + F_{mp}^{np} = P_{nc}$$

Нач. условия:

$$x_0 = -x_{max}; \dot{x}_0 = 0$$

2 этап - свободное движение

$$m\ddot{x} + R + P_{np} + mgf + F_{mp}^{np} = 0$$

Нач. условия:

$$x_0 = x_{перекл}; \dot{x}_0 = \dot{x}_{перекл}$$

2. Уравнение движения НПА при подаче импульса на всем протяжении хода вынужденное движение $m\ddot{x} + R + P_{np} + mgf + F_{mp}^{np} = P_{nc}$	Нач. условия: $x_0 = -x_{max} ; \dot{x}_0 = 0$
3. Уравнение движения НПА при подаче импульса в конце хода 1 этап - свободное движение $m\ddot{x} + R + P_{np} + mgf + F_{mp}^{np} = 0$	Нач. условия: $x_0 = -x_{max} ; \dot{x}_0 = 0$
2 этап - вынужденное движение $m\ddot{x} + R + P_{np} + mgf + F_{mp}^{np} = P_{nc}$	Нач. условия: $x_0 = x_{перекл} ; \dot{x}_0 = \dot{x}_{перекл}$
4. Уравнение движения НПА при подаче импульса в начале и в конце хода 1 этап - вынужденное движение $m\ddot{x} + R + P_{np} + mgf + F_{mp}^{np} = P_{nc}$	Нач. условия: $x_0 = -x_{max} ; \dot{x}_0 = 0$
2 этап - свободное движение $m\ddot{x} + R + P_{np} + mgf + F_{mp}^{np} = 0$	Нач. условия: $x_0 = x_{перекл1} ; \dot{x}_0 = \dot{x}_{перекл1}$
3 этап - вынужденное движение $m\ddot{x} + R + P_{np} + mgf + F_{mp}^{np} = P_{nc}$	Нач. условия: $x_0 = x_{перекл2} ; \dot{x}_0 = \dot{x}_{перекл2}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в диссертации, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Предложена конструкция нелинейного пружинного аккумулятора с выходным звеном в виде поступательной пары. Показано, что наилучшие показатели с точки зрения уменьшения габаритных характеристик имеют нелинейные пружинные аккумуляторы с наибольшим коэффициентом удлинения, приближающимся к 5, к тому же, это приводит и к уменьшению работы на компенсацию диссипативных сил.

2. Показано, что использование нелинейного пружинного аккумулятора с двумя симметричными пружинами приводит к уменьшению сил трения в опорах.

3. Выполнено количественное сравнение различных вариантов конструктивных исполнений НПА по номинальной рабочей операции. Снижение энергозатрат по сравнению со стандартным приводом позволяет уменьшить затраты энергии более чем на порядок.

4. Установлено, что применение НПА с выходным поворотным звеном и углом поворота $q_{max} > 2\pi$ позволяет обойтись без фиксаторов.

5. Предложены схемные решения систем компенсации диссипативных сил для рекуперативных приводов с НПА.

6. Для задач позиционирования на несколько точек рекомендуется выбирать систему компенсации на базе пневмоцилиндра с тросовым штоком или на базе кулисного механизма с пневмоцилиндром.

7. Даны рекомендации по применению систем компенсации при наличии технологических ограничений на ускорение или на скорость штока пневмоцилиндра.

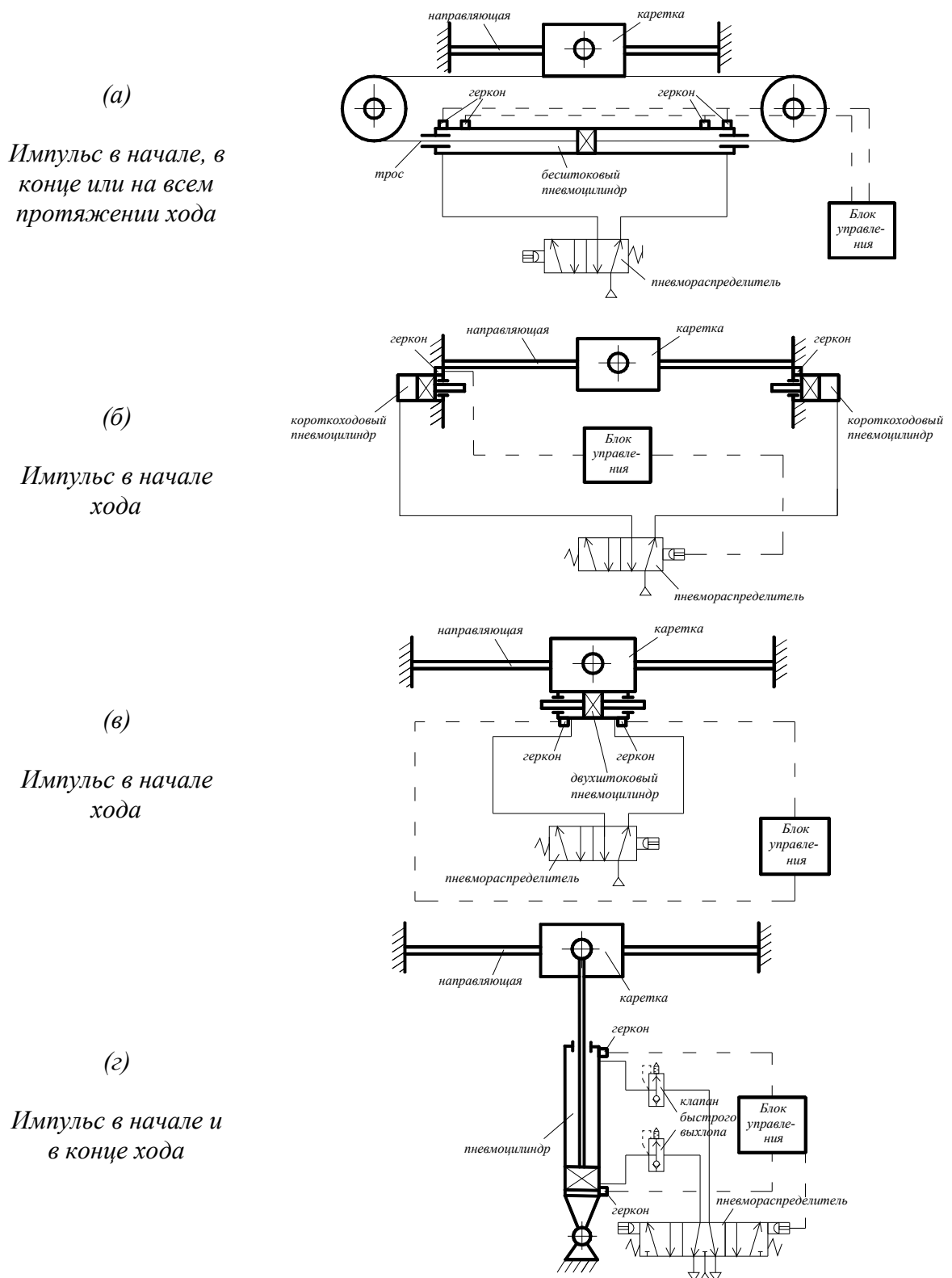


Рис. 12. (а) Система компенсации диссипативных сил с бесштоковым пневмоцилиндром; (б) Система компенсации диссипативных сил с двумя короткоходовыми пневмоцилиндрами; (в) Система компенсации диссипативных сил с двухштоковым пневмоцилиндром; (г) Система компенсации диссипативных сил с пневмоцилиндром, образующим кулисный механизм с поступательной парой

8. Показано, что быстродействие мехатронного рекуперативного привода на базе НПА выше, чем быстродействие мехатронного рекуперативного привода на базе ЛПА.

9. Построены математические модели, описывающие законы движения рассмотренных в работе мехатронных рекуперативных приводов с предложенными системами компенсации диссипативных сил. Разработаны алгоритмы и программа расчета рекуперативных приводов данного типа.

10. Получены аналитические зависимости, позволившие разработать и предложить методику построения мехатронных рекуперативных приводов для возвратно-поступательного движения на базе нелинейных пружинных аккумуляторов.

ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Мацко О.Н. Исследование характеристик нелинейного пружинного аккумулятора с поступательной парой.// Научно-технические ведомости СПбГПУ. – СПб: Изд-во СПбГПУ; №2. – 2011.

2. Мацко О.Н. Мехатронные рекуперативные приводы для возвратно-поступательного движения.// XXXIX неделя науки СПбГПУ: Материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. Ч.IV. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та. – 2010. – С.3.

3. Жавнер В.Л., Иванова О.В., Мацко О.Н. Мехатронные устройства технологических машин и оборудования. Мехатронные устройства в упаковочных линиях автоматизированных производств: Учеб.пособие. – СПб: Изд-во СПбГПУ. – 2008.

4. Жавнер В.Л., Жавнер М.В., Мацко О.Н. Разработка, исследование, оптимизация технологических процессов и машин. Рекуперативные приводы: Учеб.пособие. – СПб: Изд-во СПбГПУ. – 2011.

5. Жавнер В.Л., Мацко О.Н. Мехатронные рекуперативные приводы для возвратно-поступательных перемещений.// Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах: Материалы XV Всероссийской конференции. Санкт-Петербург. Т.2. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С.29.

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97

Подписано в печать «27» сентября 2011г. Формат 60x84/16
Усл.печ.л.1,0. Уч-изд.л.1,0. Тираж 100. Заказ ____

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного автором,
в типографии Издательства Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая, д.29