

1544712

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н.Э. БАУМАНА.

---

На правах рукописи

Цибизов Александр Николаевич

УДК 62-82.001.5

Разработка следящих пневмоприводов с гидравлическими  
устройствами управления для машин с многократным  
изменением приведенных масс на рабочем органе.

специальность 05.02.03 - "Системы приводов"

АВТОРЕФЕРАТ  
ДИССЕРТАЦИИ на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва - 1964



1544712

Цибизов А.Н. Разработка сл

Работа выполнена в Ставропольском

и Новочеркасском государственном техническом университете.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
Водяников Г.Н.  
НГТУ.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Дровиников А.Н.  
МТИБС.

кандидат технических наук, доцент  
Паршин Н.Д.  
РИСИ

Ведущее предприятие - НПО "Гос-

Защита диссертации  
на заседании специализированной комиссии  
государственного технического университета  
адресу: 107105, г. Москва

Ваши отзывы  
высылать по адресу:

С диссертацией  
им. Н.Э. Баумана.

Автореферат

Ученый совет

1544712

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ.** В последнее время выделился тип технологических машин требующий особого подхода при проектировании и эксплуатации. Это технологические машины с многократным изменением приведенной массы на рабочем органе, определяемом особенностями технологического процесса. Для компенсации многократного изменения приведенной массы применяют различные меры: введение систем пассивного управления, специальных тормозных устройств. Однако эти меры не всегда обеспечивают безударную работу машин.

Для решения проблемы предложено контролировать не только производную скорости, но и производную ускорения для изменения параметров управляющих устройств. Использование информации о производной третьего порядка обобщенной координаты позволяет обеспечить плавную и безударную работу привода и повысить производительность технологических машин.

Разработка специальных систем приводов с использованием информации о производной ускорения в качестве параметра обратной связи невозможна без проведения научных исследований.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ.** Разработка следящих пневмоприводов с гидравлическими устройствами управления для машин с многократным изменением приведенной массы на рабочем органе.

#### ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ:

- изучение истории и анализ современного состояния вопроса и опубликованных работ в этой области;
- выявление особенностей динамики пневмоприводов с гидравлическими устройствами управления, технологических машин с многократным изменением приведенной массы на рабочем органе машин;
- разработка теории пневмоприводов рассматриваемого класса машин с использованием информации о производной ускорения;
- применение разработанной теории и методики расчета следящего пневмопривода с гидравлическим управлением, для конкретной технологической машины.

#### НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ НОВИЗНА:

- предложен критерий оценки динамики пневмоприводов в виде скорости изменения ускорения рабочего органа машины, отличающийся тем, что численно определять его предложено как отношение изменения работы совершенной внешними силами над телом к массе этого



1544742

тела, а также времени и пути в течении которых это изменение произошло. Обратная величина этого критерия характеризует плавность хода;

-предложена методика проектировочного расчета пневмопривода машин с многократным изменением приведенной массы на рабочем органе, отличающаяся тем, что в качестве расчетного параметра и критерия оценки результатов используется критерий плавности хода;

-предложена методика управления движением следящего пневмопривода, отличающаяся тем, что управление основано на реализации обратной связи по плавности хода, а длины участков разгона, торможения и равномерного движения выбираются из условия максимальной производительности машины при заданной плавности хода;

-предложена методика управления движением следящего пневмопривода с механической обратной связью по положению, отличающаяся тем, что коэффициент усиления обратной связи дискретно меняется при каждом дискретном изменении приведенной массы рабочего органа по закону, полученному на математической модели при заданном изменении во времени производной ускорения.

В процессе исследований направленных на решение основной задачи, получен ряд промежуточных результатов, имеющих практическое значение:

-разработан и исследован (экспериментально и теоретически) датчик для измерения плавности хода. Построена и исследована его математическая модель;

-предложена классификация датчиков высших производных;

-разработана и исследована математическая модель пневмопривода с гидравлическим устройством управления для машин с многократным изменением приведенной массы на рабочем органе, отличающаяся тем, что в ней использован критерий плавности хода;

-определены аналитические зависимости, связывающие характеристики исполнительных устройств, параметры переходного процесса величины производной третьего порядка обобщенной координаты.

ПОЛОЖЕНИЯ ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ:

-динамика пневмоприводов машин с многократным изменением приведенной массы к рабочему органу.

-результаты экспериментальных исследований на специальном стенде динамических характеристик приводов.

-рабочая гипотеза введения критерия плавности хода.

-методика проектирования пневмоприводов с гидравлическим

устройством управления, на основании критерия плавности хода.

-методика управления следящим пневмоприводом машин с гидравлическим устройством управления.

-математическая модель и программы расчета динамики пневмопривода рассматриваемого класса машин.

-схемы и конструкции приводов по А.С. 1455063, 1521935, 1605043 и пневмопривода с механическим устройством управления.

-результаты машинного эксперимента динамики привода машины многоточечной контактной сварки МТК 100/3.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ:** Результаты научных исследований доведены до уровня инженерной методики расчета. Методика включает в себя все элементы для решения задачи оптимизации параметров гидравлических устройств управления пневмопривода рассматриваемого класса машин. В качестве целевой функции выступает минимальное значений третьей производной обобщенной координаты в момент трогания и остановки рабочего органа при заданном быстродействии. Предложенная методика позволяет выполнить точный проектировочный расчет привода, повысить качество разработок при сокращении затрат на проектирование и доводку разрабатываемых приводов.

Разработана методика управления следящим пневмоприводом с использованием обратной связи по производной третьей порядка обобщенной координаты, как наиболее динамично изменяющейся величине. Показана необходимость и достаточность использования в системе управления приводом информации о третьей производной обобщенной координаты для решения проблемы плавной и безударной работы пневмоприводов при многократном изменении приведенной массы.

**ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ:**

-корректным использованием фундаментальных положений теоретической механики, теории гидро-пневмоприводов, теории управления;

-широким применением математического моделирования физических процессов и машинного эксперимента для анализа и синтеза пневмоприводов с гидравлическими управляющими устройствами.

-результатами экспериментальных исследований на специально созданном полноразмерном стенде, оснащенном приборами класса точности 0,5, прошедшими госповерку.

**ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.** Результаты диссертационной работы внедрены на Межзональном конвейере железобетонных изделий "Ставропольский" в виде проекта модернизации привода продольного

перемещения каретки машины многоточечной контактной сварки МТК 100/3.

Математическая модель пневмоприводов с гидравлическим устройством управления а также программный продукт переданы СП "Логос" для практической реализации.

Результаты работы использованы в учебном процессе Ставропольского политехнического института на кафедре "Технологии машиностроения и роботизированного производства" в лекционном курсе "Динамика промышленных роботов, а также в лабораторном курсе по дисциплине "Основы автоматизации производства".

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные результаты и положения проведенных исследований докладывались и обсуждались на 3-й Всесоюзной научно-технической конференции "Динамика станочных систем гибких автоматизированных производств", а также научно-технических конференций в Ставропольском и Новочеркасском институтах.

ПУБЛИКАЦИИ. По теме научных исследований опубликовано 28 печатных работ в том числе 9 авторских свидетельства.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертационная работа изложена на 158 страницах машинописного текста, иллюстрируется 35 рисунками, содержит 8 таблиц, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 64 наименований и пяти приложений.

ВО ВВЕДЕНИИ формулируется тезис о возможном решении проблемы плавной, безударной работы и позиционирования привода технологической машины (ТМ), при многократном изменении приведенной массы, с использованием информации о производной третьего порядка обобщенной координаты (ПТПОК).

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ выделен класс технологических машин для которого проводятся исследования, выявлены особенности работы машин рассматриваемого класса.

Предлагается использовать при проектировании, управлении и контроле ТМ информацию о ПТПОК. Изучалась история вопроса по использованию третьей производной обобщенной координаты в трудах С. Абеля Трансона и Резаля, И.И. Сонова и Н.Е. Хуковского, а также в опубликованных работах Субботина М.И., Раевского Н.П., К.Фу, Р. Гонсалес, К.Ли, М. Вукобратович, Д. Стокич и др. Анализ приведенной информации позволяет утверждать, что не все динамические параметры, необходимые для управления работой привода рассматриваемого класса технологических машин однозначно определяются. Причиной, сдерживающей применение информации об ускорениях высших порядков, яв-

яется отсутствие:

- способов и средств непосредственного измерения третьей производной обобщенной координаты во время работы привода;

- данных о пределах допустимого изменения численных значений ПТПОК, при которых обеспечивается требуемое качество управления.

- методики расчета и расчетных зависимостей, позволяющих управлять приводом на основании информации о ПТПОК.

Анализ научно-технической литературы по данной проблеме одновременно показал перспективность этого направления.

Цель диссертационной работы определила и задачи исследований:

- разработать практически применимые методы и средства для получения информации о численных значениях скорости изменения ускорения непосредственно в процессе работы привода;

- экспериментально исследовать различные режимы работы привода ТМ с использованием информации о численных значениях ПТПОК;

- определить численные значения и диапазон изменения ПТПОК, при которых обеспечивается требуемое качество управления;

- на основании экспериментальных исследований разработать математическую модель пневмопривода машин с использованием информации о ПТПОК для расширения области исследований;

- обосновать критерий оценки ПТПОК, как динамический критерий привода. Показать его связь с другими динамическими критериями;

- разработать методику проектировочного расчета пневмопривода технологических машин с гидравлическим устройством управления с использованием критерия плавности хода;

- внедрить результаты исследования на реальных машинах с пневматическими приводами, работающих в условиях многократного изменения приведенных масс на рабочем органе, обусловленного технологическим процессом.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований датчика ПТПОК. Определены основные метрологические требования к такому датчику и предложены способы их реализации в конструкции изготовленного датчика. Определены пределы допустимого изменения и численные значения третьей производной обобщенной координаты, при которой движение остается плавным и безударным, построены математические модели датчика и пневмопривода с использованием экспериментальной информации. Рассмотр-

рены основные способы получения информации о ПТПОК: 1)последовательное математическое дифференцирование функции ускорения, скорости или пути; 2)последовательное аппаратное дифференцирование сигнала ускорения, скорости или пути; 3)непосредственное измерение специальными датчиками.

В соответствии с целью работы проведено детальное изучение третьего способа получения информации о ПТПОК. Установлено, что существует три способа непосредственного измерения скорости ускорения:

- измерение скорости малых перемещений инерционной массы;
- измерение скорости значительных перемещений инерционной массы;
- вычисление производных по времени от обобщенных координат по формулам конечных разностей.

Одновременно установлено, что классификатор МКИ не содержит раздела, посвященного таким датчикам, соответственно не разработана классификация датчиков. Информация о немногочисленных конструкциях датчиков скорости изменения ускорения и "ускорения ускорения" размещается по всему разделу датчиков динамических параметров движения G01P 15/01-15/08.

Предложена классификация датчиков ускорений высших порядков, на основании которой для нашей цели выбрано два датчика: 1)маятниковый датчик на основе измерения скорости значительного перемещения инерционной массы; 2)датчик на основе вычисления производных по времени от обобщенных координат по формулам конечных разностей.

В работе предложена (Рис.1.) конструкция сдвоенного маятникового датчика, исключающая колебания инерционной массы возле положения равновесия.

Значение третьей производной обобщенной координаты для этого датчика равно произведению земного ускорения на угловую скорость маятника [20].

Для экспериментального исследования датчика разработан специальный стенд и методика испытаний. Вид полученной осциллограммы показан на Рис.2. Проведенные эксперименты, позволяет сделать следующие выводы:

- третья производная обобщенной координаты может быть измерена и измерение может выполняться непрерывно в процессе движения;
- используемый датчик регистрирует плавно-затухающий ход с погрешнос-

ты не более 5 процентов;

-нижний предел измерения составляет 10 м/с<sup>3</sup>;

-верхний предел измерения составляет 490-500 м/с<sup>3</sup>;

-с увеличением массы маятника развивается явление, выражающееся в фазовом сдвиге между изменением скорости ускорения и сигналом с датчика.

В ходе исследований установлено, что при измерении процессов с численным значением третьей производной, превышающим 800-900 м/с<sup>3</sup> наблюдается отскок маятника от центрального упора.

По отсутствию резких скачков ускорения (более 50%) на осциллограммах можно сделать вывод, что до значений 250-380 м/с<sup>3</sup> движение является плавным для большинства технологических машин. При значениях 400-450 м/с<sup>3</sup> видны значительные рывки и толчки в приводе платформы стенда, не позволяющие говорить о плавном движении.

Исследовался также датчик на основе прямого дифференцирования сигнала пути. Датчик лишен недостатков, связанных с измерением перемещения инерционной массы. Он принципиально может измерять производную обобщенной координаты любого порядка и в любой плоскости измерения.

Для исследования работы приводов с требуемой плавностью перемещения рабочий орган был разработан и изготовлен полнокаштаный испытательный стенд и ряд гидравлических устройств управления. В качестве рабочего образца была выбрана конструкция дискового управляемого устройства, как одна из возможных конструкций, ставящая задачу плавного перемещения рабочего органа машины.

В ходе эксперимента определялись и регистрировались следующие параметры движения: 1) скорость, посредством датчика скорости (тахогенератор ДПР-20); 2) путь, посредством датчика пути (многооборотный резистор); 3) ускорение, посредством разработанного датчика; 4) плавность, посредством разработанного датчика; 5) давление в гидросистеме - датчик давления ПД-400-040. Схема испытательного стенда приведена на Рис. 3.

При моделировании динамических процессов принимаются следующие допущения: 1) процессы заполнения и опорожнения полостей, а также течение воздуха через управляющие клапаны - адиабатическое; 2) сжатый воздух - идеальный газ, подчиняющийся уравнению состояния; 3) потери в трубопроводах отсутствуют, а объем труб пренебрежимо мал; 4) утечки через закрытые клапаны, а также через управ-

ляющий клапан без подачи на него сигнала управления отсутствуют;  
5) модуль упругости рабочей жидкости  $E = \text{const}$ ; 6) кинематические звенья, связывающие привод с инерционной нагрузкой, являются абсолютно жесткими.

Движущая сила пневмопривода:

$$F_d = (P_1 - P_2) f_{nw1} \cdot 10^6 \eta_{m1} - m_n \cdot g \cdot \text{sign}(V_n), \quad (1)$$

где  $P_1$  - давление в полости 1 пневмоцилиндра;  $P_2$  - давление в полости 2 пневмоцилиндра;  $f_{nw1}$  - рабочая площадь пневмопоршня;  $\eta_{m1}$  - механический КПД пневмоцилиндра;  $m_n$  - приведенная масса.

Статическое усилие на пневмоцилиндре:

$$F_c = (P_3 - P_4) f_{nw2} \cdot 10^6 \eta_{m2} + F_{ххп} \cdot \text{sign}(V_n) + F_{y1} + F_{y2} + V \cdot V_n, \quad (2)$$

где  $P_3, P_4$  - давление в 3 и 4 полостях гидроцилиндра;  $\eta_{m2}$  - механический КПД гидроцилиндра;  $F_{ххп}$  - усилие холостого хода в приводе;  $V$  - коэффициент вязкого трения. Процесс открытия клапанов описывается выражением:

$$F_i = F_{i0} (1 - e^{-\epsilon t}),$$

где  $t$  - текущее время, с;  $F_{i0}$  - максимальная проходная площадь отверстия клапана;  $\epsilon$  - показатель степени экспоненты.

Расчет расходных характеристик полостей привода производится для рабочего и холостого хода с учетом режима истечения и отношения давлений в полостях к атмосферному давлению или давлению питания пневмосети. Для рабочего хода:

$$G_1 = \mu_1 F_1 P_n \sqrt{\frac{2}{RT} \cdot \frac{P_1}{P_n} \left| 1 - \frac{P_1}{P_n} \right|} \cdot 10^6 \cdot \text{sign}(1 - P_1/P_n), \quad (3)$$

где  $\mu_1$  - коэффициент истечения;  $T$  - абсолютная температура.

При холостом ходе массовый расход определяется из выражения:

$$G_2 = \mu_2 F_2 P_2 \sqrt{\frac{2}{RT} \cdot \frac{P_2}{P_2} \left| 1 - \frac{P_2}{P_2} \right|} \cdot 10^6 \cdot \text{sign}(1 - P_2/P_2), \quad (4)$$

где  $P_{at}$  - атмосферное давление;  $\mu_2$  - коэффициент истечения для случая  $V_n > 0$ .

Текущие утечки через уплотнения поршня определяются из выра-

жения:

$$\Delta Q_n = (1 - \eta_{on}) Q_{nH} (P_3 - P_4) / P_{nH}, \quad (5)$$

где  $\eta_{on}$  - объемный КПД поршня при номинальном давлении;  
 $Q_{nH}$  - номинальный расход поршня;  $P_{nH}$  - номинальное давление гидропоршня.

Текущий расход дросселя и утечки через дроссель при текущем давлении определяются следующим образом:

$$Q_{dr} = \mu F_{dr} \cdot 1000 \cdot \sqrt{2(P_3 - P_4) / \rho_{ж}} \cdot \sin \alpha (P_3 - P_4); \quad (6)$$

$$\Delta Q_{dr} = \Delta Q_{dr}(0) \cdot P_3 / P_{onH}, \quad (7)$$

где  $F_{dr}$  - текущее значение площади проходного отверстия дросселя;  $\rho_{ж}$  - плотность рабочей жидкости;  $P_{onH}$  - номинальное давление дросселя;  $\Delta Q_{dr}(0)$  - утечка через дроссель при номинальном давлении.

Жесткость пневмосистемы и гидросистемы привода определялись по известным формулам.

Система дифференциальных уравнений при рабочем ходе привода имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{V}_n = (F_d - F_c) / m_n; \\ \dot{X}_n = V_n; \\ \dot{P}_1 = R \cdot T \cdot G_1 \cdot 10^{-6} f_{nH1} / (X_0 + X_n) - P_1 V_n / (X_0 + X_n); \\ \dot{P}_2 = P_2 V_n / (L_n + X_0 - X_n) - R T G_2 \cdot 10^{-6} f_{nH2} / (L_n + X_0 - X_n); \\ \dot{P}_3 = C_3 (V_n \cdot f_{nH2} - Q_{dr} - \Delta Q_{dr} - \Delta Q_n); \\ \dot{P}_4 = C_4 (Q_{dr} + \Delta Q_n - V_n \cdot f_{nH2}), \end{cases} \quad (8)$$

где  $V_n, \dot{V}_n$  - соответственно скорость поршня и производная скорости;  
 $P_1, P_2, P_3, P_4$  - давления в соответствующих полостях пневмо и гидроцилиндров и их производные;  $R$  - газовая постоянная;  $T$  - абсолютная температура по Кельвину;  $G_1, G_2$  - массовый расход первой и второй полости пневмоцилиндра;  $X_0$  - параметр мертвого пространства;  $X_n$  - перемещение поршня;  $f_{nH1}, f_{nH2}$  - рабочая площадь первого и второго пневмопоршня;  $L_n$  - рабочий ход поршня пневмоцилиндра;  $\Delta Q_{dr}$  - утечки через дроссель при текущем давлении;  $\Delta Q_n$  - утечки через уплотнения поршня.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ рассматривается работа пневмоприводов технологическими машинами с многократным изменением приведенной массы на

рабочем органе. Вводится критерий плавности хода и обосновывается численное выражение для его определения, как отношения работы, совершенной внешними силами, отнесенными к массе, величине перемещения и времени такого перемещения тела.

Понятие "плавности хода" может использоваться, как величина, обратная скорости ускорения. Бесконечная плавность движения относится к неподвижному телу. Приводится методика численного определения критерия плавности хода и примеры исследования различных законов движения. Предложены методики проектирования и управления приводами технологических машин на основании критерия плавности хода. Приведены схемы разработанных приводов.

Рассмотрено применение критерия плавности хода для организации работы привода со специальным тормозным гидравлическим устройством, для обеспечения заданного закона изменения третьей производной обобщенной координаты. Регулирование тормозного усилия обеспечивается изменением проходного сечения дросселя, за счет перекрытия его отверстия круглого сечения профилированным диском, вращающимся от шестерни, находящейся в зацеплении с рейкой-штоком силового пневмоцилиндра. Покажем на примере алгоритм расчета текущего значения проходного сечения дросселя при заданном законе движения, заданном значении скорости ускорения  $\ddot{a} = 80 \text{ м/с}^3$  и общем перемещении рабочего органа  $L_p = 0.4 \text{ м}$ . Очевидно, что

$$x_n = 0.5 \cdot V_{\max} (t - \frac{t_1}{\pi} \sin(\pi t / t_1)); \quad (9)$$

$$\dot{x}_n = V_n; \quad (10)$$

$$\ddot{x}_n = 0.5 \cdot V_{\max} \cdot \frac{\pi}{t_1} \sin(\pi t / t_1); \quad (11)$$

$$\ddot{\ddot{x}}_n = 0.5 \cdot V_{\max} \cdot \frac{\pi^2}{t_1^2} \cos(\pi t / t_1). \quad (12)$$

Тормозное усилие на гидравлическом устройстве

$$F_r = \Delta P_{dr} \cdot f_{nwz} \cdot 10^6; \quad (13)$$

$$\text{где } \Delta P_{dr} = (V_n f_{nwz} - \Delta Q_n - \delta Q_{dr})^2 \rho_x / (2 \mu^2 F_{dr} \cdot 1000); \quad (14)$$

$$\rho_x = 850; \quad \mu = 0.65$$

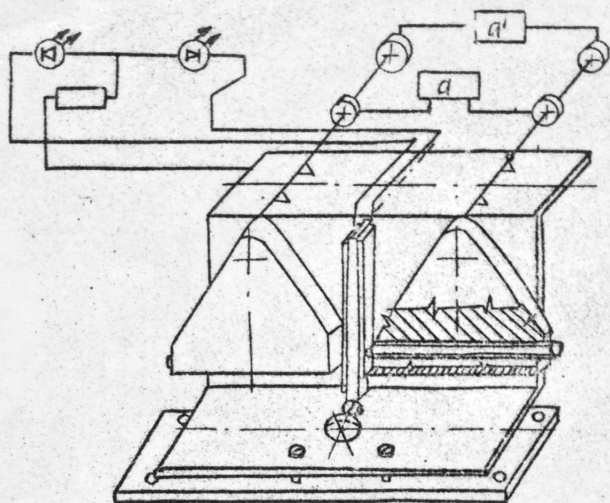


Рис.1. Конструкции двойного магнитного датчика ускорения и его первой производной.

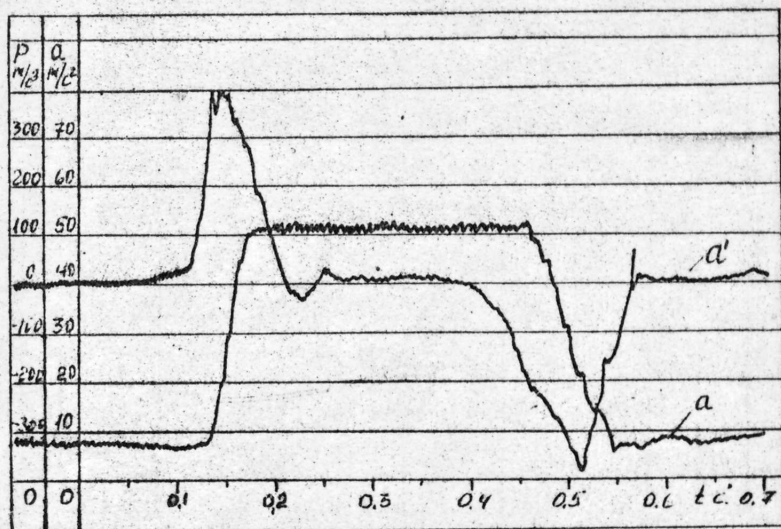


Рис.2. Вид осциллограммы, получаемой при работе датчика.



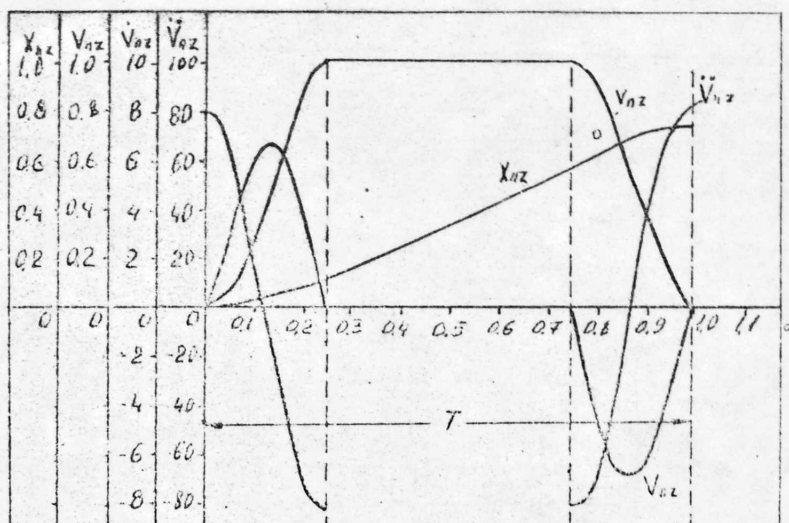


Рис. 5. Заданные параметры тахограмм для следящего пневмопривода с гидравлическим тормозом при прогибировании ракордирующих дисков.

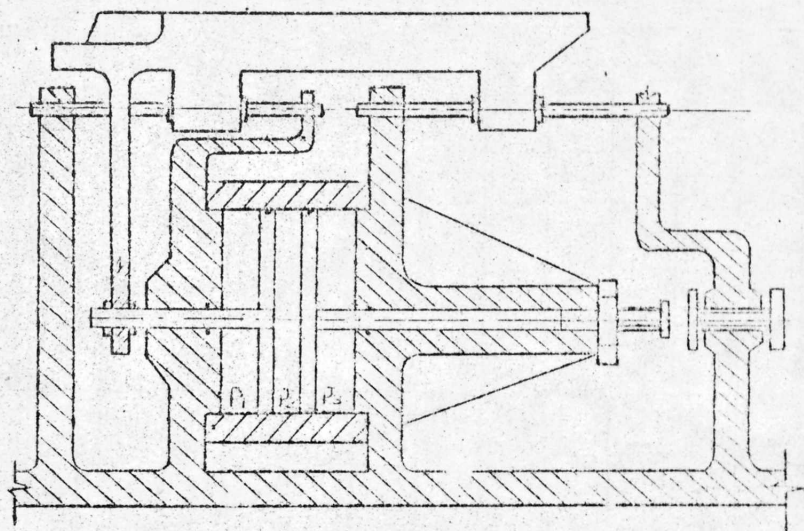


Рис. 6. Схема пневмопривода каретки машины ИТК-100/3

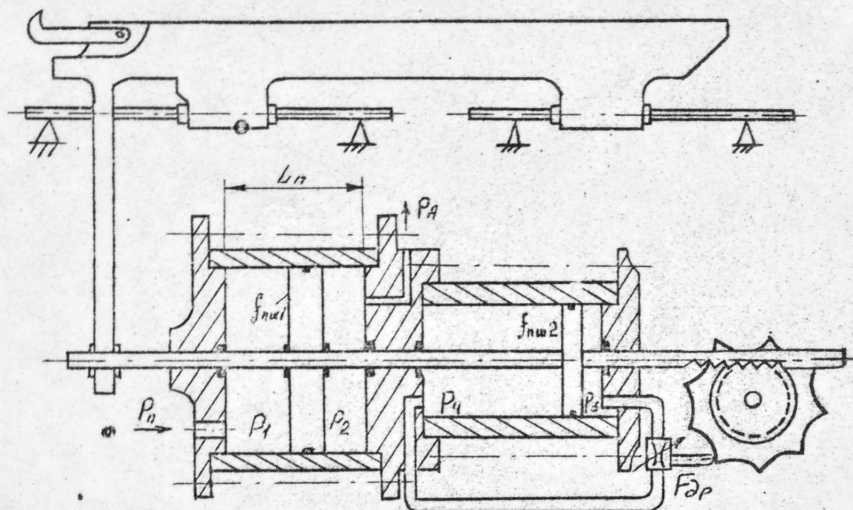


Рис.7. Схема модернизированного привода каретки.

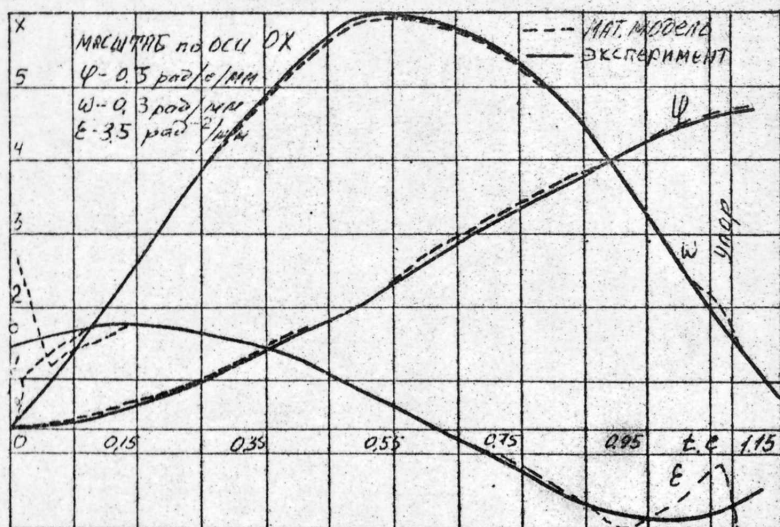


Рис.8. Проверка адекватности математической и физической моделей модернизированного привода каретки.

Из дифференциального уравнения находим:

$$F_T = F_A - (m \dot{V}_n + F_{xnp} \sin(V_n) + V \dot{V}_n), \quad (15)$$

где  $F_A$  — движущее усилие на пневмоприводе,  $F_{xnp}$  — усилие холостого хода исполнительного органа, при перемещении каретки с арматурной сеткой.

Тогда

$$F_{dr} = V_n f_{nw2} \sqrt{P_x f_{nw2} / 2 \cdot 1000 \mu^2 F_T}, \quad (16)$$

$$\tau_1 = \pi \sqrt{0.5 V_{max} / V_n}. \quad (17)$$

При трехпериодной тахограмме, полагая  $V_{max} = 1$  м/с находим:  $\tau_1 = 0.25$  с;  $X_{\tau 1} = 0.125$  м. Осуществляя замедление по такому же закону, находим, что перемещение с максимальной скоростью будет равно  $= 0.15$  м. При  $V_n = 1$  м/с,  $f_{nw2} = 0.01257$  м<sup>2</sup>,  $F_T = 1000$  Н;  $F_{dr} = 11.4$  мН. Максимальное ускорение  $\dot{V}_{max} = 6.283$  м/с<sup>2</sup>.

Передаточное число вращателя при  $L_n = 0.4$  м, угле рабочего сектора диска тормозного устройства  $\varphi = 0.8\pi$  и радиусе вестерли  $R_w = 0.05$  м будет равно:  $L_p = L_n / \varphi \cdot R_w = 2.546$ .

В диссертационной работе дан обобщенный алгоритм расчета и проектирования гидравлического тормозного (управляющего) устройства и профилирования диска в функции угла поворота для обеспечения заданной скорости изменения ускорения при многократном изменении массы изготавливаемых изделий. Примеры выбора квазиоптимального режима и кинематических параметров показаны на Рис. 4 и Рис. 5.

В тормозном (управляющем) устройстве предусмотрено приспособление для изменения боковых зазоров между диском и дроссельными отверстиями при дискретной переналадке станка на новое изделие. Коррекция управления на каждом рабочем цикле (например, на каждом шаге сварки арматурной сетки) может осуществляться многосекторным профилированным диском в тормозном устройстве. Недостатком такой конструкции тормозного устройства является большая площадь боковых стенок корпуса, находящихся под давлением рабочей жидкости и большие требования к жесткости и прочности профилированного диска. Переналадка управления станка требует достаточно больших затрат времени и определенного опыта.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ полученные научные результаты использованы при модернизации машины многоточечная машина контактной сварки МТК-100/3.

Основным элементом, обеспечивающим динамические характеристики машины, является привод продольного перемещения каретки. Согласно технологическому циклу машина изготавливает арматурные каркасы нескольких типоразмеров в зависимости от диаметра прутков. Масса каркаса, изготовленного из прутков малого диаметра составляет 6,55 кг, а масса каркаса изготовленного из прутков большого диаметра составляет 148 кг. Причем масса каркаса нарастает на конечную величину после каждого шага сварки. Масса каркасов различается почти в 22 раза. Каретка массой 53 кг. не может компенсировать различия в массах изготавливаемых каркасов. Одноратная настройка машины не обеспечивает ее работы во всем диапазоне приведенной массы. Переналадка является трудоемкой операцией и снижает производительность машины.

Расстояние от края каркаса до первого поперечного стержня определяет величину выпуска продольных стержней. По технологии предусмотрен выпуск продольных стержней на 100 мм. Смещение арматурного каркаса вследствие ударов приводит к изменению шага поперечных прутков и изменению выпуска, который выходит за допустимые пределы.

Полученные научные результаты позволили предложить проект модернизации машины МТК 100/3. В проекте активная система управления заменена пассивной, модернизирован силовой пневмоцилиндр и введен управляющий гидроцилиндр с устройством управления. На Рис. 6. и Рис. 7. показан привод каретки до модернизации и после модернизации. Были разработаны математическая модель и программное обеспечение модернизированной машины МТК 100/3 в двух вариантах. Первый вариант со следящей системой управления тормозным устройством и коррекцией проходного сечения дросселирующего золотника по рассогласованию заданных значений перемещения, скорости и скорости ускорения, и реализуемых значений этих параметров на адекватной математической модели. Второй вариант с жесткой механической связью ретордирующего диска со штоком-рейкой пневмопривода станка. Профиль многосекторного ретордирующего диска, через подпружиненный шток дросселирующего золотника, обеспечивает изменение проходного сечения для обеспечения заданного закона движения на каждом шаге перестановки арматурной сетки. При смене типа изделия устанавливается новый многосекторный профильный диск.

Профилирование дисков проводится по данным машинного эксперимента на математической модели со следящей системой управления.

Число контрольных точек на одном секторе диска принималось равным 20. Профиль между двумя контрольными точками во втором варианте моделировался прямой. По данным машинного эксперимента на втором варианте математической модели машины МТК 100/3 переходные процессы (см. Рис. 8.) были достаточно схожи с переходными процессами при машинном эксперименте на математической модели со следящей системой управления. Погрешность позиционирования не превышает 2...6%. Величина третьей производной перемещения отличалась от заданного значения в 1.25 раза. Переход от дисковых гидравлических дросселирующих устройств в системе торможения к дросселирующим золотникам позволил повысить точность регулирования, снизить стоимость системы управления, облегчить переналадку машины на другое изделие.

При создании следящей системы управления потребуются разработанные датчики ПТПОК, как наиболее чувствительные элементы к динамическим возмущениям.

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ рассмотрены вопросы практического применения результатов работы.

Инженерная методика расчета и проектирования пневмоприводов с гидравлическим устройством управления, величиной скорости изменения ускорения для плавного разгона и торможения исполнительного органа машины с непрерывно изменяющейся инерционной массой в процессе изготовления изделия, использована на Мехзональном комбинате железобетонных изделий "Ставропольский" для модернизации машины МТК 100/3. Методика включает в себя адекватную математическую модель пневмопривода с системой управления перемещением арматурной сетки по столу машины для приварки поперечных стержней, пакет прикладных программ, применительно к персональным компьютерам типа IBM PC/AT для расчета и оптимизации параметров тахограммы при заданных быстродействии и перемещении, для профилирования ретордирующих дисков системы управления, для исследования динамики привода.

Инженерная методика разрабатывалась с учетом возможности использования ее для решения аналогичных задач, применительно к пневмоприводам машин другого технологического назначения.

Математическая модель пневмоприводов с гидравлическими устройствами управления, а так же программное обеспечение переданы СП "Логос" для практической реализации.

Результаты работы работы внедрены в учебный процесс в Став-

Вопольской политехнической институте на кафедре "Технологии машин-  
ностроения и роботизированного производства" в курсе лекций "Ди-  
намика промышленных роботов" а также при проведении лаборатор-  
ных работ по системам приводов технологических машин.

Новизна и полезность разработок защищена 9 А.С. СССР, из ко-  
торых 6 А.С. выданы на позиционный пневмопривод.

В приложениях приведены акты внедрения, распечатки программ,  
примеры расчетов, осциллограммы экспериментов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом исследований явилось дальнейшее развитие теории  
и практики следящих пневмоприводов с гидравлическими устройства-  
ми управления для машин с многократным изменением приведенных  
масс на рабочем органе. Приведенный анализ позволил выявить глав-  
ные направления исследований и наметить пути решения поставлен-  
ных задач при помощи использования информации о плавности движе-  
ния.

### Основные результаты работы.

-разработан практически применимый метод получения информа-  
ции о численных значениях третьей производной обобщенной координ-  
аты непосредственно в процессе движения привода.

-разработан и экспериментально исследован датчик ПТПОК, ме-  
тодика и оборудование для его исследования и тарировки;

-разработана классификация датчиков производных высших по-  
рядков обобщенной координаты, определены основные способы их не-  
посредственного измерения;

-разработана и исследована математическая модель датчика  
производной высшего порядка обобщенной координаты;

-экспериментально исследованы различные режимы работы приво-  
да и получена информации о численных значениях ПТПОК;

-на основании экспериментальных исследований разработана и  
исследована математическая модель пневмопривода ТМ с использова-  
нием информации о третьей производной обобщенной координаты;

-обоснованно введение и определен критерий плавности хода,  
как обратная величина отношения совершенной внешними силами рабо-  
ты над телом к массе этого тела, а также величине пути и времени  
на котором это изменение происходит.

-разработана теория работы пневмоприводов технологических

машины с многократным изменением приведенной массы на рабочем органе и гидравлическим устройством управления на основании критерия плавности хода. Выполнены теоретические исследования различных режимов движения и остановки приводов. Обоснованы оптимальные законы движения рабочих органов машины на основании критерия плавности хода.

-разработана методика проектировочного расчета пневмопривода ТМ с гидравлическим устройством управления с использованием критерия плавности хода;

-разработан метод профилирования ретордирующих многосекторных дисков гидравлической системы управления;

-разработаны конструкции следящих пневмоприводов машин на основании разработанной теории движения. Разработки выполнены на уровне изобретений, проведена правовая защита конструкций. Получены авторские свидетельства 1455063, 1521935, 1605043.

-разработана методика управления приводом реализующая обратную связь по третьей производной обобщенной координаты;

-исследована математическая модель пневмопривода ТМ с датчиком и гидравлическим устройством управления в режиме реализации обратной связи по ПТПОК. Обоснована необходимость и достаточность использования в качестве параметра обратной связи в приводе ТМ информации о третьей производной обобщенной координаты;

-на основании разработанной теории движения и методики проектирования выполнен проектировочный расчет для модернизации пневмопривода машины многоточечной контактной сварки МТК 100/3.

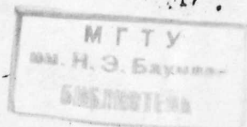
-выработаны рекомендации по практическому использованию информации о скорости ускорения в системах управления.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. А.С. 1455063 СССР, МКИ F15B 11/12. Позиционный пневмогидропривод/Сидоренко С.А., Цибизов А.Н. (СССР). 4242846/25-29; заявлено 04.03.87; опубликовано 30.01.89. Бюл. N 3. 2с.: ил.

2. А.С. 1521935 СССР, МКИ F15B 11/12. Позиционный пневмогидро-привод/Сидоренко С.А., Цибилов А.Н. (СССР). 4371009/25-29; заявлено 01.02.88; опубликовано 15.11.89. Бюл. N 42. 2с.: ил.
3. А.С. 1605043 СССР, МКИ F15B 11/12. Позиционный пневмогидро-привод/Сидоренко С.А., Цибилов А.Н. (СССР). 4611785/25-29; заявлено 02.12.88; опубликовано 08.08.90. Бюл. N 12. 2с.: ил.
4. А.С. 1509568 СССР, МКИ F15B 11/12. Пневмомеханический упругий элемент/Сидоренко С.А., Цибилов А.Н. (СССР). 4233804/25-28; заявлено 23.04.87; опубликовано 23.09.89. Бюл. N 35. 2с.: ил.
5. А.С. 1550492 СССР, МКИ F 15 B 11/12. Регулятор давления/Сидоренко С.А., Цибилов А.Н. (СССР). 4392130/24-24; заявлено 07.01.90; опубликовано 15.03.90. Бюл. N 10. 2с.: ил.
6. А.С. 1555580 СССР, МКИ F 15 B 11/12. Отсечный клапан/Сидоренко С.А., Цибилов А.Н. (СССР). 4204874/25-28; заявлено 02.03.87; опубликовано 08.12.89. Бюл. N 36. 2с.: ил.
7. Цибилов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Поршневой дозатор. МКИ F 15 B 11/12. П.С. 93011361 от 2.03.93.
8. Цибилов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Регулируемая гидромашинна. МКИ F 15 B 11/12. П.С. 93011291 от 2.03.93.
9. Цибилов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Позиционный пневмогидравлический привод. МКИ F 15 B 11/12. П.С. 93007402. от 5.02.93.
10. Цибилов А.Н., Мартинов С.А., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Позиционный пневмогидравлический привод. МКИ F 15 B 11/12. П.С. 93033729 от 28.06.93.
11. Цибилов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. и др. Вопросы реализации информации о производных обобщенной координаты 4.5. и 6 порядка в системе управления промышленного робота. Ставропольск. политехн. ин-т. Ставрополь, 1993. 8 с. библиогр. 3 назв. Деп. в ВИНТИ 20.05.93 N 1350-B93.
12. Цибилов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Методика оптимизационного расчета пневмогидродвигателя привода промышленного робота. Ставропольск. политехн. ин-т. Ставрополь, 1993. 26 с. библиогр. 4 назв. Деп. в ВИНТИ 20.05.93 N 1351-B93.
13. Цибилов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Исследование режимов работы дискового устройства управления пневмогидравлического привода промышленного робота. Ставропольск. политехн. ин-т. Ставрополь, 1993. 25 с. библиогр. 3 назв. Деп. в ВИНТИ 20.05.93 N 1351-B93.

- 1344742
14. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Критерий плавности хода и методика его численного определения. Ставропольск. политехн. ин-т. Ставрополь, 1993. 12 с. библиогр. 4 назв. - Деп. в ВИНТИ 09.06.93 N 1573-B93.
  15. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Экспериментальное исследование датчика производной третьего порядка обобщенной координаты. Ставропольск. политехн. ин-т. Ставрополь, 1993. 13 с. библиогр. 6 назв. Деп. в ВИНТИ 18.06.93 N 1717-B93.
  16. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Теоретическое исследование датчика производной третьего порядка обобщенной координаты. Ставропольск. политехн. ин-т. Ставрополь, 1993. 7 с. библиогр. 6 назв. Деп. в ВИНТИ 20.05.93 N 1349-B93.
  17. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Анализ и исследование методов получения информации о производных высших порядков обобщенной координаты. Ставропольск. политехн. ин-т. Ставрополь, 1993. 16 с. библиогр. 14 назв. Деп. в ВИНТИ 20.05.93 N 1348-B93.
  18. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А., Левченко С.А. Основные способы непосредственного измерения производных высших порядков обобщенной координаты. Ставропольск. политехн. ин-т. Ставрополь, 1993. 4 с. библиогр. 8 назв. Деп. в ВИНТИ 20.05.93 N 1390-B93.
  19. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А. Оптимизация динамических характеристик промышленных роботов в условиях ГПМ. // Материалы 3-й Всесоюзной конференции "Динамика станочных систем ГАП". Тольятти. Типография ТолПИ, 1988. с. 10-11.
  20. Цибизов А.Н. Семенов А.А. Методика оптимизации пневмогидропривода // Тез. докл. студ. научн. технич. конф. СтПИ 22-26 ноября 1991г. Ставрополь. Типография СтПИ, 1991. с. 26-27.
  21. Цибизов А.Н., Кузьменко Н.И. Экспериментальное исследование маятникового датчика ускорения и его производной // Тез. докл. студ. научн. технич. конф. СтПИ 12-14 марта 1992г. Ставрополь. Типография СтПИ, 1992. с. 33-34.
  22. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А. Испытательный стенд. ИЛ о нтд. 88-26 Серия Р. 55.30.03. Ставропольский ЦНТИ. 1988г.
  23. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А. Регулятор пневмогидропривода. ИЛ. 49-90. Ставропольский ЦНТИ. 1989г.
  24. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А. Пневмомеханический демпфер. ИЛ о нтд. 91-36. серия Р. 55.03.47. Ставропольский ЦНТИ. 1991г.
  25. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А. Гидропневмоцилиндр с ограничителем ускорения. ИЛ. 162-91. Ставропольский ЦНТИ. 1990г.



26. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А. Регулятор давления. ИЛ о нтг. 91-25. Серия Р. 90.27.30. Ставропольский ЦНТИ. 1991г.
27. Цибизов А.Н., Сидоренко С.А. Программа оптимизационного расчета пневмогидродвигателя. ИЛ.449-91. Ставропольский ЦНТИ. 1991г.
28. Цибизов А.Н. Математическая модель привода перемещения каркеса многоэлектродной сварочной машины МТК-100/3 с гидравлическим управляющим устройством. // Теория и технология производства порошковых материалов и изделий. // сб. научн. трудов НГТУ. Новочеркасск. Типография НГТУ, 1993. с 103-111.



Подписано к печати 13.04.94  
Зак. 62 Объем 1.1 п.л. Тир. 100. Бесплатно.

---

Ротапринт СтПИ, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2