

05.13.07

Л146

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

Лагода Виктор Иванович

УДК 62-525

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ПО МЕХОЗАЩИЩЕННЫЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ

Специальность 05.13.07 -
"Автоматизация технологических процессов и производств"

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Челябинск
1988

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте им.
Ленинского комсомола.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Бургавиц А.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Петраков В.А.; кандидат технических наук, доцент Казаринов Л.С.

Ведущее предприятие - Институт проблем управления АН СССР,
г. Москва.

Защита состоится 2 "ноября 1988 г. на заседании специали-
зированного совета К.053.13.04 при Челябинском политехническом ин-
ституте имени Ленинского комсомола по адресу: 454044, г. Челябинск,
проспект им. В.И. Ленина, 76, аудитория 244.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧПИ им. Ленин-
ского комсомола.

Автореферат разослан " " 1988 г.

Вашi отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, за-
веренной печатью, просим направить по указанному адресу.

Ученый секретарь специализированного
совета, д.т.н., профессор

А.П. Сибрин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

30X

Актуальность темы. Принятый на ХХУП стези КИСС курс на ускорение научно-технического прогресса требует дальнейшего повышения качества, эффективности средств механизации и автоматизации производственных процессов.

Эффективность проектирования систем управления в значительной степени зависит от выбора оптимальных методов и средств автоматизации.

Значительную часть в автоматизации занимает пневматические средства и в частности струйно-мембранные системы "ЦИНГ". Разработанная в институте проблем управления методика проектирования систем управления циклическими технологическими процессами с использованием позиционной структурной организации существенно облегчает и ускоряет процесс проектирования систем управления.

Позиционная структурная организация наиболее полно представлена в работах С.А. Юдицкого, Т.К. Беренде, А.А. Тагаевской, Т.К. Ефремовой, выполненных под руководством А.А. Талия.

В известных источниках, посвященных исследованию позиционной структурной организации и аппаратуре системы "ЦИНГ", содержатся сведения о высокой надежности этих систем, применяемых в различных производствах. Наиболее эффективное применение получили системы управления в производствах с повышенной пожаро- и взрывоопасностью и использующих исполнительные устройства со сравнительно невысоким быстродействием.

При решении задач автоматизации технологических процессов загрузки форм оргстекла в печь полимеризации, набора ферритовых изделий в форму для загрузки в тунNELьную печь было отдано предпочтение позиционной структурной организации систем управления этими процессами с пневматической аппаратурной реализацией на базе системы "ЦИНГ".

Наличие быстропротекающих технологических операций в рассматриваемых процессах, а также ограничения в изменении технологической оснастки в условиях действующего производства не позволили решить задачу автоматизации без дополнительных исследований позиционной структурной организации с точки зрения быстродействия и элементной базы системы "ЦИНГ".

В номенклатуре системы "ЦИК" имеется циклический блок, состоящий из последовательно соединённых триггеров. Отсутствие исследования физических процессов, происходящих при переключении триггеров не позволяет уверенно применять циклический блок во всех случаях при проектировании систем управления, так как появление сооя в одном из триггеров приведёт к отказу всей системы. Циклический блок является неотъемлемой составляющей системы управления, построенной по позиционной структуре. В связи с этим возникает необходимость в дополнении сведений об элементах системы "ЦИК", реализующих циклический блок.

В процессе проектирования систем управления циклическими процессами в производствах с повышенной влажностью и пылевыделением возникает вопрос о датчиках, обладающих достаточной надёжностью работы в указанных условиях. Существующие пневматические бесконтактные датчики положения, показавшие себя недостаточно надёжными в условиях повышенной влажности и запылённости имеют низкий выходной сигнал, который располагается либо в вакууметрической, либо в манометрической зонах избыточного давления. Для повышения качества проектируемых систем управления необходимо разработать бесконтактный датчик положения с высоким быстродействием, выходной сигнал которого будет выше по уровню давления и будет изменяться от вакууметрического давления до манометрического.

Настоящая работа выполнялась в соответствии с координированным планом НИР АН СССР по комплексной проблеме "Автоматизация управления технологическими процессами, производством, станками и оборудованием с применением мини- и микро-ЭВМ",
Шифр О9.26.

Цель работы заключается в создании и исследовании быстродействующих помехозащищённых систем управления и разработке пневматического бесконтактного датчика положения с улучшенными характеристиками.

Для достижения поставленной цели осуществлено решение следующих основных задач:

- исследование позиционной структуры на функциональном уровне и разработка методов повышения быстродействия систем управления с этой структурой;
- исследование физических процессов в блоке индикации операций системы и разработка методов построения функциональной и

принципиальной схемы системы управления, свободных от помех;

- разработка и исследование системы управления позиционным двигателем, работающим в условиях ограниченного технологического пространства;

- разработка и исследование пневматического бесконтактного датчика положения с повышенным быстродействием и пониженной за-соряемостью.

Объект исследования. Системы управления операциями загрузки изделий с позиционной структурной организацией на пневматической элементной базе.

Методы исследования: методы теории логических схем, теории пневматических линий, теории математического моделирования динамической системы, теории математической статистики.

Научная новизна работы заключается в:

- разработке математических моделей и структур системы управления с повышенным быстродействием;

- разработке и исследовании системы управления приводом с ограничением инициации его конечного состояния;

- доказательстве наличия состязаний сигналов в последовательно соединенных триггерах системы "ЦИП"; разработке методов исключения отказов, вызванных состязаниями сигналов;

- разработке и исследовании математической модели бесконтактного датчика положения.

Практическая ценность проведённых исследований состоит в:

- разработке методики проектирования системы управления с режимами опережения включения и выключения выходного сигнала;

- разработке и исследовании оригинального устройства для отработки временных интервалов;

- разработке и исследовании оригинальных пневматических бесконтактных датчиков положения;

- разработке методов защиты элементов памяти системы "ЦИП" от отказов.

Разработанные алгоритмы, методики и рекомендации могут быть использованы при решении аналогичных задач, возникающих при проектировании систем управления технологическими процессами.

Реализация результатов работы

Разработанные методы проектирования систем управления технологическими процессами заключаются во введении режимов опережения включения и выключения выходных сигналов и позволяют по-

высить быстродействие системы управления независимо от используемой элементной базы. Методы опережения включения и выключения выходного сигнала значительно расширили функциональные возможности системы управления. Разработанные устройства управления поршневыми приводами на элементах УС ЗИЛА и "ЦИНД", и конструкции бесконтактных пневматических датчиков легли в основу реализации:

- систему управления процессом загрузки форм оргстекла в печь полимеризации;
- системы управления процессом формоукладки оргстекла;
- системы управления процессом загрузки заготовок в тоннельную печь спекания ферритов;
- методики проектирования систем управления циклическими процессами.

Родовой экономический эффект от внедрения систем управления и методик проектирования составляет более 130 тыс. руб.

Результаты теоретических исследований по повышению быстродействия системы управления с позиционной структурной организацией внедрены в учебный процесс на кафедре гидропривода и гидропневмоавтоматики Челябинского политехнического института.

Апробация работы

Основные результаты работы доказывались и обсуждались на:

- III и IV Всесоюзных симпозиумах по пневматическим (газовым) приводам и системам управления (г. Тула, 1977, 1981 г.г.);
- XII и XIV Всесоюзных совещаниях по пневмоавтоматике (г. Донецк, г. Новочеркасск, 1980, 1982 г.г.);
- III Всесоюзной конференции по работам и работотехническим системам (г. Челябинск, 1983 г.);
- I и II региональных конференциях по автоматизации технологических процессов средствами гидро-, пневмоавтоматики (г. Челябинск, 1980, 1983 г.г.);
- ежегодных 1976-1986 г.г. научно-технических конференциях Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Публикации

Материалы диссертации опубликованы в четырнадцати печатных работах и защищены четырьмя авторскими свидетельствами.

Объём работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы (105 наименований и приложений). Работа изложена на 123 страницах машинописного текста, содержит 93 иллюстрации и 8 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены цель диссертационного исследования, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе осуществлено исследование технологических процессов загрузки форм оргстекла в печь полимеризации, формоукладки, набора ферритовых стержней в форму с точки зрения автоматизации этих процессов.

Составлено формализованное описание алгоритмов функционирования технологических процессов в виде графов операций и формул на языке циклических процессов.

Анализ формализованных описаний данных процессов показал, что реализация алгоритмов наиболее рационально может быть осуществлена с помощью позиционной структурной организации и на базе аппаратуры системы "ЦИНК". В результате комплексного анализа выбранной структуры, элементной базы системы ЦИНК, отдельных технологических операций определены и сформулированы вопросы, без решения которых автоматизация технологических процессов загрузки форм оргстекла в печь полимеризации, формоукладки и набора ферритовых стержней в форму неосуществима.

Наличие в формализованных описаниях разветвлений и скатий цикла увеличивает риск возникновения отказов в блоках индикации операций, состоящих из последовательно соединенных триггеров. Различия в быстродействии коммутационных каналов в триггерах приводят к состязаниям сигналов, являющимся причиной отказов.

В технологических процессах присутствуют технологические операции, быстродействие которых соизмеримо с быстродействием выбранной аппаратуры. Устранение ограничения в автоматизации не может быть осуществлено за счёт технологического процесса, поэтому возникает необходимость в исследовании всей цепи прохождения управляющего сигнала в системе управления.

Следующим ограничением в автоматизации технологических процессов является отсутствие быстродействующего бесконтактного пневматического датчика с выходным сигналом, изменяющимся от манометрического до вакууметрического давления.

Обзор существующих публикаций по дискретным системам управления и в частности системам управления с позиционной структурной организацией показал, что в последнее время этим системам уделялось достаточно много внимания.

Оо этом говорят работы М.А. Айзermana, С.И. Баранова, В.Н. Вершавского, М.А. Гаврилова, Н.Е. Кобринского, В.Г. Лазарева, В.И. Левина, Р.Миллера, Г.Монсила, Д.А. Постелова, В.Н. Рогинского, А.А. Талия, С.А. Чилицкого, Т.К. Беренда, А.А. Тагаевской, Т.К. Ефремовой,

В работах перечисленных авторов исследуются возможности использования позиционной структурной организации с пневматическими средствами, разрабатывается методика проектирования дискретных систем управления с использованием языка циклических процессов и графов операций и одновременно с этим применение элементной базы системы "ШИК". Элементы этой системы, обладая высоким быстродействием, не всегда отвечали необходимым требованиям. Вопросы быстродействия систем управления с позиционной структурной организацией на элементах системы ШИК до сих пор не рассматривался.

В результате проведенного анализа технологических процессов и позиционной структурной организации систем управления для автоматизации этих процессов сформулированы задачи исследования.

Вторая глава посвящена логическому исследованию функциональной схемы позиционной структурной организации систем управления и разработке методов построения функциональных схем с повышенным быстродействием. Из анализа функциональной схемы управляющего устройства выяснилось, что могут быть варианты увеличения быстродействия за счёт преобразования структурной организации. Для этого введены понятия режимов опережения включения и выключения выходного сигнала системы управления. Сформулированы следующие утверждения.

Утверждение I. Управляющее устройство, входной сигнал которого определяется зависимостью

$$Z_i = (Q_i \cdot \alpha_{i-1} \vee Z_i) \cdot \overline{\alpha_{i+1}} \cdot \overline{J^T(Q_{i+1})} \quad (I)$$

расстает в режиме опережения выключения выходного сигнала. Здесь:

Z_i - выходной сигнал управляющего устройства в рассматриваемый момент времени; Q_i - логические условия:

α_{i-1} - сигнал предыдущей микрооперации (выходной сигнал с блока индикации операций - БИО); α_{in} - сигнал последующей микрооперации; $J^*(Q_{in})$ - функция перехода, Q_{in} - логические условия последующей микрооперации.

Выходной управляющий сигнал системы управления, работающей без режима опережения выключения выходного сигнала описывается зависимостью:

$$Z_i = (Q_i \cdot \alpha_{i-1} \vee Z_i) \cdot \overline{\alpha_{in}} \quad (2)$$

Длина логического слова, описывающего процесс отработки зависимости отражает быстродействие данного управляющего сигнала Z_i . Логическое слово при снятии сигнала Z_i по зависимости (2) будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{in} \rightarrow \alpha_{in} \rightarrow \overline{\alpha_i} \rightarrow \overline{Z_i}. \quad (3)$$

Аналогичным образом, записанное логическое слово по зависимости (1) выглядит следующим образом:

$$Q_{in} \rightarrow \overline{Z_i}. \quad (4)$$

Сравнение длины логических слов (3) и (4) показывает, что при введении режима опережения выключения длина логического слова значительно уменьшается.

Если сопоставить каждую стрелку в логических словах (3) и (4) с запаздыванием, что неизбежно в реальных системах, то можно отметить, что в слове (3) - три запаздывания, а в слове (4) - одно. При условии равенства запаздываний по переднему и заднему фронтам сигналов Q , α и Z можно сделать заключение о том, что быстродействие устройства, реализующего зависимость (1) в три раза выше, чем устройства, реализующего зависимость (2).

Выводы, полученные из логического анализа, подтверждены временными диаграммами.

Утверждение 2. Управляющее устройство работает в режиме опережения выключения, если каждый управляющий канал устройства определяется уравнением

$$Z_i = (Q_i \cdot \alpha_{i-1} \vee Z_i) \cdot \overline{\alpha_{in}} \vee J^*(Q_i) \quad (5)$$

Логические слова, определяющие процесс выполнения зависимостей (2) и (5) выглядят следующим образом:

$$Q_i \rightarrow \alpha_i \rightarrow Z_i \quad (6)$$

$$Q_i \rightarrow Z_i. \quad (7)$$

Сравнение длины слов (6) и (7) аналогичным образом характеризует быстродействие устройств, реализующих зависимости (2) и (5). Количество запаздываний, влияющих на быстродействие физического устройства по зависимости (5) в два раза меньше, чем по зависимости (2).

Режимы опережения включения и выключения выходного сигнала можно использовать одновременно. Доказано, что нарушение регулярной последовательности выполнения операций не препятствует использованию режимов опережения включения и выключения выходного сигнала.

При нарушении регулярности операций выходные сигналы управляющего устройства с режимами опережения включения и выключения будут описываться уравнениями

$$Z_i = T(T(Q_i \cdot \alpha_{i-1}, \alpha_{i+1}), \alpha_{i+k}) \vee J^r(Q_i) \quad (8)$$

$$Z_i = T(T(Q_i \cdot \alpha_{i-1}, \alpha_{i+1}), \alpha_{i+k}) \wedge J^r(Q_{i+k}),$$

где: $i = 1, 2, 3, \dots$, $k = 2, 3, 4, \dots$

Использование режимов опережения включения и выключения выходного сигнала ограничено временным интервалом $t = 2T$ существования функции перехода $J^r(Q)$, в течение которого возможны состязания сигналов, если не выполняется условие

$$\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \Rightarrow \{Q_i\} \cap \{Q_j\} = \emptyset. \quad (10)$$

В диссертации разработана методика проектирования дискретных систем управления технологическими процессами с использованием режимов опережения включения и выключения выходного сигнала, позволяющая устранить ряд ограничений по быстродействию системы управления.

Способ реализации логических условий с помощью временных зависимостей известен, однако существенным ограничением в его применении является наличие помех в реальных схемах. В работе анализируется математическое описание временного устройства с ограниченной восприимчивостью к помехам.

Утверждение 3. Устройство, реализующее логические зависимости

$$P_0 = T(D^T(P_0)), \quad (II)$$

$$P_1 = T(D^T(P_0), P_2),$$

и служащее для отработки временного интервала длительностью T обладает большей точностью по сравнению с устройством, реализующим только зависимость $D^T(P_0)$.

Доказательство приведённого утверждения осуществляется на временных диаграммах. Зависимости (II) осуществляют копирование временного интервала в цифровой код, в результате которого увеличивается помехозащищённость временного устройства.

Зависимости (II) реализованы в устройстве управления поршневым приводом на элементах УС ЭПА и "ЦИКИ", на которое получено авторское свидетельство.

Временное устройство управления приводом может быть использовано в трёх случаях: в режиме позиционирования, если временные уставки находятся в пределах времени рабочего хода поршня, то есть $T < t_{\text{р.хода}}$, в режиме транспортирования $T = t_{\text{р.хода}}$, в режиме выполнения технологической операции $- T > t_{\text{р.хода}}$.

Требование высокой точности при отработке временных интервалов в первых двух режимах предопределяет эффективное использование разработанного временного устройства в этих режимах.

В третьей главе содержится исследование состояний сигналов в последовательно соединённых триггерах системы "ЦИКИ". В позиционной структурной организации такое соединение используется в циклических и счётных модулях.

Для автоматизации технологических процессов в производствах органического стекла и ферритовых изделий использовались циклические и счётные модули, в которых наблюдались отказы.

В результате логического анализа характера отказов и принципиальной схемы была выдвинута гипотеза о возникновении состояний сигналов в результате значительных колебаний давления в коммутационных каналах триггеров при их переключении.

Для проверки выдвинутой гипотезы и исследования процесса переключения триггеров была изготовлена плата, на которой закреплены струйный модуль П-II92, состоящий из двух триггеров, и

два усилителя П-II94 для усиления выходных сигналов. Регистрация необходимых выходных и промежуточных сигналов осуществляется на осциллографе с помощью датчиков МИ-0,6, МИ-1,0 и усилителя преобразователя ИД-2И.

На выходе каждого триггера моделировалась активная и ёмкостная нагрузка путём увеличения количества струйных модулей и длины коммутационных линий после испытуемого триггера. На рис.1, приведены примеры осциллограмм для триггеров П-II92 и П-II91 при минимальной нагрузке и при нагрузке, вызывающей неустойчивое переключение триггера, то есть отказ.

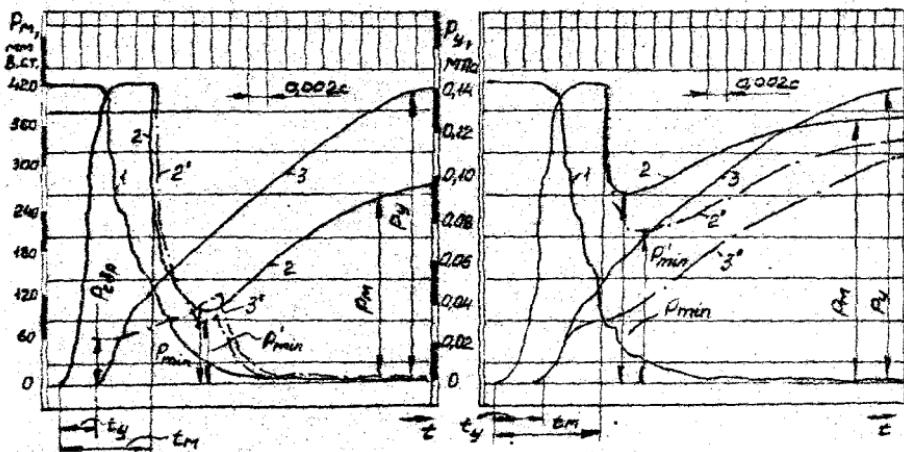


Рис.1. Пример осциллограмм процесса переключения триггеров системы "ЦИКЛ":
а) П-II92, б) П-II91

На рис.1 обозначены: 1 - кривая изменения давления на выходе усилителя П-II94; 2 и 2' - кривые изменения давления на выходе струйного модуля при минимальной и максимальной нагрузке соответственно; 3 и 3' - кривые изменения давления на выходе усилителя П-II94 испытуемого триггера при минимальной и максимальной нагрузке соответственно; t_y - время срабатывания усилителя; t_m - время возникновения противотоков в струйном

модуле; E_{min} - давление, при котором происходит отказ.

Характерным является глубокий спад давления на выходе усилителя, который, как это видно из осцилограмм, не зависит от нагрузки. Спад давления объясняется возникновением гидродинамического вихря, который возникает в результате наличия противотоков. Вихрь "запирает" управляющий канал. При нулевой и минимальной нагрузке по расходу триггер переключается достаточно устойчиво. Увеличение нагрузки влечёт за собой увеличение риска возникновения неустойчивого переключения.

В работе предложены методы исключения отказов, вызванных состязанием сигналов при переключении триггеров, без существенных изменений в схеме макромодуля. Конструкция струйного модуля при этом остаётся без изменений.

Наиболее универсальным способом защиты триггера от отказа можно считать увеличение инерционных параметров коммутационного канала сброса памяти предыдущего триггера. Для этого в коммутационном канале сбросе памяти памяти предыдущего триггера устанавливается дополнительный дроссель-жиклер диаметром 0,5 мм. Установка дросселя - жиклера на выходе усилителя приводит также к положительному результату, однако при этом будет наблюдаться некоторое ухудшение быстродействия выходного сигнала и ограничение расхода воздуха. Ограничение расхода воздуха, в свою очередь, ограничивает нагрузочную способность триггера, ухудшая его показатели качества. Приведенные способы защиты триггеров от отказов в формализованном виде отражены в методике проектирования систем управления с позиционной структурной организацией.

В четвёртой главе рассматривается ряд пневматических-бесконтактных датчиков положения оригинальных конструкций, разработанных для условий производства органического стекла и ферритовых изделий. осуществляется исследование обобщённой математической модели датчиков и проводится оптимизация их конструктивных параметров по быстродействию.

Датчики представляют собой комбинацию мембранных элементов, формирующих чувствительную к внешнему воздействию струю воздуха. Принципиальная схема одного из датчиков представлена на рис.2. При отсутствии внешнего воздействия на струю воздуха, вытекающего из полого жёсткого центра мембранного элемента I

и входящего затем в торшевое отверстие мембранных элемента 2. На жёстких центрах мембранных элементов возникает сила, направленная влево, которая устанавливает жёсткие центры в крайнее левое положение. В этом случае датчик работает в дроссельном режиме и выходной пневматический сигнал выше атмосферного. При прерывании струи воздуха внешним элементом датчик переключается на эжекторный режим и силы на жёстких центрах мембранных элементов меняют свой знак на противоположный.

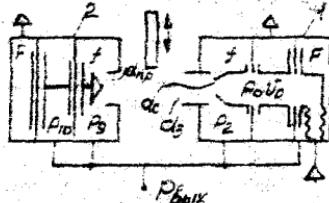


Рис.2. Схема датчика:

- 1) эжекторный элемент;
- 2) дроссельный мембранный элемент

сигнал датчика определяется в этом случае параметрами эжектора и находится в зоне вакууметрического давления.

При определении конструктивных размеров мембранных элементов за основу была принята конструкция и размеры элемента УС ЭПШ ПР.1 (30 x 30 мм).

Математическая модель датчика, представленная в приложениях, выглядит следующим образом:

эжекторный режим

$$\Delta P_i = \frac{1}{V_0 + F_g y_{i-1}} (F_g P_{ai-1} y_{i-1} + \sqrt{2gT} [\omega_{2i} \sqrt{P_{ai-1} (P_{ai-1} - P_{2i-1})} - \omega_{2i} \sqrt{P_{2i-1} (P_{2i-1} - P_2)}]) dt_i, \quad (12)$$

$$P_{ai} = P_{ai-1} - \Delta P_i,$$

$$\ddot{x}_i = \frac{1}{m} (P_{ai-1} - P_{2i}) (F - f),$$

$$\ddot{y}_i = \frac{1}{m} (P_{ai-1} - P_{ai}) F,$$

$$\omega_{2i} = T d_3 (x_{max} - x_i),$$

$$\omega_{gi} = \ddot{x}_i y_i (d_c - y_i),$$

дроссельный режим

$$v_0 = \sqrt{\frac{P_0 - P_{\text{торм}}}{P_0(1 + f_c \left(\frac{v_0}{w_0}\right)^2)}}, \quad v_3 = v_0 \frac{P_0}{P_{\text{торм}}} \cdot \frac{w_0}{w_3},$$

$$P_{\text{торм}} = P_{\text{торм}} \left(1 + \frac{v_0^2}{2cT}\right), \quad (13)$$

$$\Delta p_{2i} = \frac{1}{V_0 + F \cdot y_{i+1}} (f \cdot P_{2i-1} \cdot y_{i+1} + \sqrt{2R} [\omega_{2i} \sqrt{P_{2i-1} (P_{\text{торм}} - P_{2i-1})} -$$

$$- \omega_{2i} \sqrt{P_{\text{торм}} (P_{2i-1} - P_{\text{торм}})}]) \Delta t_i, \quad P_{2i} = P_{2i-1} + \Delta p_{2i},$$

$$\dot{x}_i = \frac{1}{m} (P_{2i} - P_{\text{торм}}) (F - f),$$

$$\ddot{y}_i = \frac{1}{m} (-P_{\text{торм}} F + P_{2i} (F - f) + P_{\text{торм}} \cdot \omega_c),$$

$$\omega_{2i} = K_d (x_{\text{ макс}} - x_i), \quad \omega_{y_i} = K_y (d_c - y_i).$$

В математическую модель датчика (12) и (13) входят уравнения проточной пневматической камеры, уравнения движения мембранных блоков, уравнения кинематики поступательного движения мембранных блоков и уравнения изменения дроссельных ствёрстий.

В уравнениях приняты следующие обозначения: ΔP_{2i} - изменение давления в проточной камере, V_0 - суммарный объём камер мембранных элементов и пневматических каналов F и f - эффективные площади мембран, x и y - перемещения жёстких центров, T - температура воздуха, R - газовая постоянная ω_2 и ω_3 - площади поперечных сечений эжекторной и дроссельной камер, m в м^3 - массы подвижных частей жёстких центров мембранных элементов, ρ_0 - плотность воздуха, P_0 - давление питания, w_0 - площадь поперечного сечения сопла питания, f_c - коэффициент сопротивления сопла питания, $P_{\text{торм}}$ - давление торможения, возникающее на жёстком центре дроссельного элемента I, d_3 и $d_{\text{пр}}$ - диаметры камеры смесения и приемного сопла.

Системы уравнений решались методом численного интегрирования на ЭВМ. Хорошее совпадение результатов расчётов и исследований натурного образца подтверждает адекватность математической модели. Незначительные отклонения в форме кривых изменения давлений в камерах датчика могут быть объяснены теми допущениями, которые были приняты при составлении математической модели.

Это обстоятельство позволяет заменить факторный эксперимент на натурном образце датчика расчётами на ЭВМ с целью определения оптимальных конструктивных размеров с точки зрения быстродействия датчика.

В качестве варьируемых параметров, существенно влияющих на быстродействие датчика, были выделены следующие: эффективная площадь мембраны - F , диаметр сопла питания d_c , диаметр приёмного сопла - d_{pr} , перемещения мембранных блоков в осевом направлении x_{max}, y_{max} , массы подвижных частей мембранных блоков m и m' . Конструктивный анализ выделенных параметров показал, что эффективные площади мембран и массы подвижных частей, а также перемещения мембранных блоков (x, y) и диаметры (d_c, d_{pr}) связаны между собой. В результате этого количество факторов для многофакторного эксперимента уменьшилось до трёх. Варьируемые конструктивные параметры имеют ограничения, которые определялись на основе анализа имеющихся в публикациях исследований аналогов рассматриваемой конструкции датчика, а также, исходя из законов газовой динамики. Диапазон изменения конструктивных параметров выбран следующий: $F = 380 \pm 430 \text{ mm}^2$, $d_c = 0,8 \pm 1,2 \text{ mm}$, $d_{pr} = 2 \pm 4 \text{ mm}$.

Для осуществления оптимизации была выбрана модель в виде полинома

$$T = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{j < i} b_{ij} x_i x_j + \dots,$$

который после проведения полного факторного эксперимента 2^3 определился следующим образом:

$$T = 4,312 - 0,737x_1 - 0,362x_2^2 + 0,012x_3 + \\ + 0,037x_1 x_2 + 0,112x_2 x_3 - 0,012x_2 x_3 + 0,037x_1 x_2 x_3$$

С вероятностью $P = 0,95$ по критерию Стьюдента были отброшены малозначимые коэффициенты регрессии и уравнение регрессии приняло следующий вид:

$$T = 4,312 - 0,737x_1 - 0,362x_2$$

Адекватность полученного уравнения регрессии проверялась по критерию Фишера.

В результате были определены конструктивные параметры датчика ($F = 430 \text{ mm}^2$ и $d_c = 1,2 \text{ mm}$) при принятых ограничениях, которые позволили получить максимальное быстродействие, равное 3,1 мс.

Пятая глава содержит описание процесса проектирования систем управления технологическими процессами загрузки форм оргстекла в печь полимеризации, набора ферритовых стержней в форму для спекания.

Проектирование системы управления процессом набора форм оргстекла осуществлён в двух вариантах: одноуровневой и двухуровневой системы.

Последующий анализ этих систем управления показал, что лучшими эксплуатационными свойствами обладает двухуровневая система управления. Подсистемы управления в этом случае значительно упрощаются. Аппаратурные затраты в многоуровневой системе несколько выше, чем в одноуровневой. Для алгоритма управления процессом загрузки форм оргстекла в печь полимеризации увеличение аппаратурных затрат составило 6%. В технологическом процессе набора форм оргстекла вследствие наличия быстротечных технологических операций только использованием режимов опережения и выключения выходных сигналов удалось автоматизировать процесс заданными средствами пневмоавтоматики. При развертывании цикла в этом же процессе проявилось состязание сигналов в триггерах блока индикации операций. Использование одного из описанных выше методов позволило исключить состязание сигналов и получить устойчивое переключение триггеров.

При автоматизации технологического процесса набора ферритовых стержней в форму появилась необходимость в использовании бесконтактного пневматического датчика. Условия производства ферритовых порошковых материалов не позволили применить датчики известных конструкций. Изменение выходного сигнала от сравнительно глубокого вакууметрического (0,05 МПа) до значительного манометрического давления увеличивает налёжность работы датчика в условиях повышенного содержания мелкодисперской пыли феррита в зоне рабочего места.

Основные результаты и выводы по работе.

Анализ систем управления с позиционной структурной организацией и их применения с использованием пневматических средств показал, что встречающиеся в ряде случаев ограничения по быстродействию и реализации алгоритмов управления не позволяют осуществить автоматизацию без дополнительных исследований, направленных на устранение ограничений и нахождение новых возможностей

позиционной структурной организации.

В результате логического исследования функциональной схемы позиционной структурной организации разработаны математические модели режимов спережения включения и выключения выходных сигналов.

Модернизация позиционной структурной организации, заключающаяся во введении режимов спережения включения и выключения выходных сигналов с последующей реализацией на аппаратуре системы ЦМКЛ, позволила увеличить быстродействие в два и три раза по переднему и заднему фронтам управляющего сигнала соответственно.

Разработаны временное устройство и его математическая модель.

Реализация логических условий в рассматриваемых алгоритмах с использованием разработанного временного устройства позволяет устранить встречающиеся ограничения в установке конечных включателей.

- Разработана методика проектирования систем управления с модернизированной позиционной структурой, с помощью которой осуществлено решение задачи автоматизации технологических процессов в производствах органического стекла и ферритовых изделий.

- Обнаружены и исследованы состязания сигналов в триггерах системы ЦМКЛ, возникающие из-за нестационарных процессов в каналах триггеров. Разработаны методы построения систем управления, позволяющие исключить влияние помех на устойчивое переключение триггеров.

- Разработаны конструкции пневматических бесконтактных датчиков положения, которые защищены тремя авторскими свидетельствами. Составлена и исследована математическая модель датчика.

Осуществлена оптимизация конструктивных параметров датчика по быстродействию. Конструкции датчиков обладают защищенностью от засорения, что позволяет применять их в условиях с пониженными требованиями к чистоте и влажности окружающего воздуха.

Внедрение разработанных систем управления технологическими процессами производства оргстекла на Челябинском заводе "Оргстекло" и в производство ферритов на з опытном заводе Гипредмета - г. Верхняя Пышма, а также методики проектирования систем управления на производственном объединении "Челябинский тракторный

завод имени В.И. Ленина" позволило повысить производительность труда, снизить брак, высвободить операторов из вредных условий производства.

Экономический эффект от внедрения результатов работы составил более 130 тыс.руб. в год.

- Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс по специальности 0566 "Гидропривод и гидролинеоматика". По материалам диссертационного исследования издано два учебных пособия.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. А.с. № 590496. Устройство для управления поршневым приводом (А.Г. Бургвиц, К.Д. Ефремова, Г.И. Измайлов, В.И. Лагода, Б.А. Тарасенко, М.И. Сагаконь) Б.И. № 4, 1978.

2. А.с. № 798595. Пневматический бесконтактный конечный выключатель (А.Г. Бургвиц, К.Д. Ефремова, В.И. Лагода, Н.И. Смирнова) Б.И. № 3, 1981.

3. А.с. № 889912. Пневматический бесконтактный конечный выключатель (А.Г. Бургвиц, В.И. Лагода, Е.П. Болрина) Б.И. № 46, 1981.

4. А.с. № 1044850. Пневматический бесконтактный конечный выключатель (А.Г. Бургвиц, В.И. Лагода) Б.И. № 36, 1983.

5. Бургвиц А.Г., Лагода В.И. Пневматическая система управления циклическим процессом загрузки. - В сб. Динамика гидропневматических систем. № 197, Челябинск, 1978, с.3-7.

6. Бургвиц А.Г., Лагода В.И. Пневматическая система управления операцией загрузки. - В сб. Пневматика и гидравлика. Вып.6, М., Машиностроение, 1979, с.96-104.

7. Бургвиц А.Г., Лагода В.И. Быстродействие дискретных пневматических систем управления по заданным структурам. - В сб. Пневматика и гидравлика. Вып.10, М., Машиностроение, 1984, с.97-101.

8. Бургвиц А.Г., Лагода В.И. Влияние длины коммуникационных линий на работу одной дискретной пневматической системы управления. Ш-Всесоюзный симпозиум по пневматическим (газовым) приводам и системам управления. Тезисы докладов. Москва-Тула, 1977, с.77.

9. Бургвиц А.Г., Лагода В.И. Пневматический бесконтактный конечный выключатель. Пневмоавтоматика. Тезисы докладов XIV Все-

сознного совещания. М., Наука, 1982, с.119-120.

10. Бургвиц А.Г., Лагода В.И. Пневматические датчики для роботов, работающих в пожаро- и взрывоспасных условиях производства. Роботы и робототехнические системы. Материалы II Всесоюзной конференции. Ч.1, Челябинск, 1983, с.79-80.

11. Бургвиц А.Г., Лагода В.И. Исследование быстродействия дискретных пневматических систем управления по заданным структурам. IV Всесоюзный симпозиум по пневматическим (газовым) приводам и системам управления. Тула, 1981 с.

12. Бургвиц А.Г., Лагода В.И. Помехоустойчивые временные устройства. Автоматизация производственных процессов средствами гидропневмоавтоматики. Тезисы докладов региональной конференции. Челябинск, 1983, с.11-12.

13. Бургвиц А.Г., Лагода В.И. Пневматическая система управления манипулятором в операции формоукладки оргстекла. Гидравлика и пневмоавтоматика в управлении производственными процессами и в робототехнических системах. Тезисы докладов. Челябинск, 1980, с.4.

14. Лагода В.И., Бодрина Е.П. Пневматический бесконтактный датчик положения. - В сб.Динамика гидропневматических систем. № 267, Челябинск, 1981, с.60-63.

15. Лагода В.И., Бургвиц А.Г. Состязание сигналов в пневматических триггерах. - В сб.Динамика пневмогидравлических систем: Тематический сборник научных трудов (Под ред.докт.техн. наук А.Г. Бургвица). Челябинск, ЧИИ, 1983, с.75-81.

16. Лагода В.И. Пневматическая система управления процессом дозирования жидкости. Приборы и системы управления, 1983, № 1, с.26-27.

17. Лагода В.И. Вакуумный привод для схватов, применяемых в робототехнических комплексах. В сб.Автоматизация производственных процессов средствами гидропневмоавтоматики. Челябинск, 1985, с.38-39.

18. Лагода В.И., Бодрина Е.П. Пневматический бесконтактный струйный датчик положения. - В сб.Гидравлика и пневмоавтоматика в управлении производственными процессами и в робототехнических системах. Тезисы докладов региональной конференции. Челябинск, 1980, с.19.

Челябинск

Лагода Виктор Иванович

**БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУСТИРЬЕЛЬСКИМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ**

Специальность 05.13.07 - "Автоматизация
технологических процессов и производств"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 07.09.88. ФБ 14565. Формат 60x90 л/16.
Печ.л. 1,25. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 439/III7.
УОП ЧИМ. 454044. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 36.