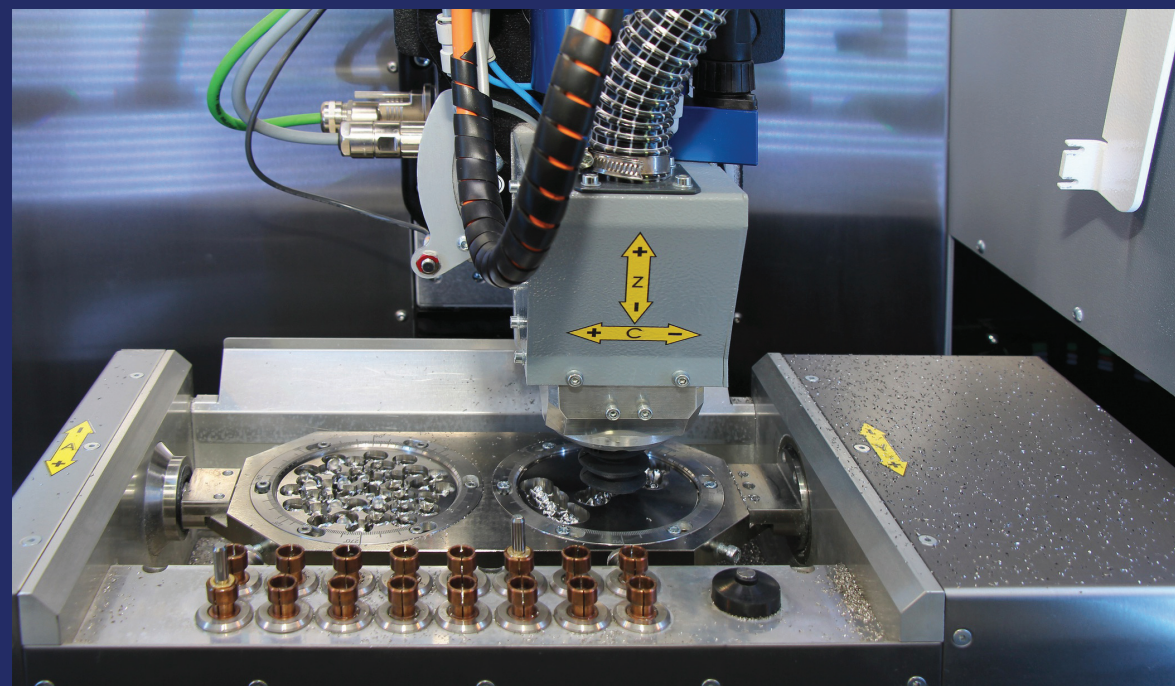


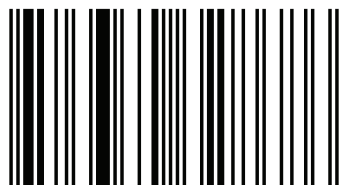
Методы современного машиностроительного производства и требования по быстрому переналаживанию, имеющихся в наличии мелких и средних предприятий технологических установок, на выпуск малосерийных изделий, вынуждают к интенсификации и интеграции программного и технического оснащения. Предлагаемое решение системы управления пневматическим приводом подачи и слежения позволяет, на основе использования программных средств нечеткой логики и XML-процессора встраивать в систему числового программного управления любого типа металлообрабатывающего станка программные модули работы пневматического привода для обеспечения технологических операций погрузки и выгрузки заготовок и деталей.



Эмиль Хазиев

Хазиев Эмиль Люцерович, кандидат технических наук,
Казанский федеральный университет, Казань.

Нечеткое управление пневматическими системами обрабатывающих станков



978-3-330-32868-6

Эмиль Хазиев

**Нечеткое управление пневматическими системами
обрабатывающих станков**

Эмиль Хазиев

**Нечеткое управление
пневматическими системами
обрабатывающих станков**

LAP LAMBERT Academic Publishing RU

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:

LAP LAMBERT Academic Publishing

is a trademark of

International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page

ISBN: 978-3-330-32868-6

Zugl. / Утверд.: Набережные Челны, Набережночелнинский институт Казанского федерального университета, диссертация, 2017

Copyright © Эмиль Хазиев

Copyright © 2018 International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

All rights reserved. Beau Bassin 2018

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| Глава 1. Анализ устройств и систем управления пневматическими приводами использующихся для обеспечения погрузочно-разгрузочных операций в машиностроении | 7 |
| 1.1 Состояние вопроса | 7 |
| 1.2 Управляющие устройства пневматических робототехнических механизмов | 8 |
| 1.2.1 Регулируемые управляющие устройства пневматических робототехнических механизмов | 9 |
| 1.2.2 Пропорциональный пневмораспределитель типа МРУЕ фирмы Festo | 13 |
| 1.3 Рациональные методы управления пневматическими приводами..... | 14 |
| 1.3.1 Пневмоприводы роботов циклового и позиционного типов..... | 14 |
| 1.3.2 Пневмопривод со следящим управлением..... | 17 |
| 1.3.3 Модельная компенсация погрешности линейных приводов роботов, промышленных манипуляторов и следящих систем..... | 19 |
| 1.3.4 Пневматические сервомодули движения..... | 21 |
| 1.4 Предлагаемое техническое решение..... | 23 |
| 1.5 Выводы..... | 24 |
| Глава 2. Разработка системы автоматизированного управления на основе математического моделирования компонентов аппаратной части | 25 |
| 2.1 Характеристики разрабатываемой системы | 25 |
| 2.2 Предлагаемая система управления | 29 |
| 2.3 Математическое описание составляющих предлагаемой системы управления | 35 |
| 2.4 Расчет параметров предлагаемой системы | 41 |
| 2.5 Выводы..... | 45 |
| Глава 3. Разработка управляющих программ АСУ пневматического привода на основе нечеткого регулятора | 46 |
| 3.1 Разработка структуры нечеткого регулятора для управления пневматическим приводом..... | 46 |
| 3.2 База знаний нечеткого регулятора..... | 48 |
| 3.2.1 Формирование базы знаний на основе метода прецедентов..... | 50 |
| 3.3 Этапы создания управляющих программ пневмопривода на основе нечеткой логики..... | 52 |
| 3.4 Получение лингвистических переменных..... | 53 |
| 3.5 Формирование базы знаний управляющих фреймов..... | 57 |
| 3.6 Четкий вывод на основе алгоритма Мамдани..... | 58 |
| 3.7. Разработка программы анализа и управления..... | 59 |
| 3.8 Выводы..... | 64 |
| Глава 4. Имитационное моделирование и экспериментальные исследования | 65 |
| 4.1 Разработка структурной схемы имитационной модели | 65 |
| 4.1.1 Структура среды имитационного моделирования | 65 |
| 4.1.2 Внутреннее представление модели | 68 |
| 4.2 Имитационное моделирование работы пневматического привода..... | 69 |
| 4.3 Практический эксперимент | 73 |
| 4.3.1 Задачи эксперимента | 73 |
| 4.3.2 Методика эксперимента | 75 |
| 4.3.3 Функциональная схема эксперимента | 75 |
| 4.3.4 Экспериментальная установка | 78 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4 Анализ полученных экспериментальных данных | 82 |
| 4.4.1 Анализ полученных экспериментальных данных работы КПП | 82 |
| 4.4.2 Сравнение с существующим аналогом | 85 |
| 4.4.3 Оценка точности и плавности | 88 |
| 4.5 Выводы..... | 91 |
| Заключение | 92 |
| Литература | 94 |

Введение

Одной из распространенных задач, возникающих при автоматизации производства, является позиционирование механизмов и рабочих органов станков, обрабатывающих центров, аддитивных установок, роботов, манипуляторов и следящих подсистем с заданной точностью и быстродействием, с конечной целью обеспечения заданных показателей качества технологического процесса.

Широкое применение для обеспечения погрузочно-разгрузочных операций получили дискретные пневмоприводы, выполненные обычно с системой управления по схеме путевой автоматики. Они имеют относительно простую конструкцию, защитные устройства, пожарную безопасность, взрывобезопасность, низкую стоимость и высокую надежность при работе в тяжелых условиях при практически неограниченной рабочей нагрузке и приемлемое, но нерегулируемое быстродействие. Использование их в механообрабатывающем производстве, кузнечно-штамповочном производстве, литейном, сварочном и сборочном производствах позволяет повысить производительность труда, улучшить качество выпускаемой продукции, снизить ее себестоимость, повысить коэффициент сменности оборудования, освободить рабочих от выполнения ручного, малоквалифицированного и монотонного труда, особенно в тяжелых, вредных и опасных для человека условиях.

Недостаток пневматических приводов, управляемых по схеме путевой автоматики, в том, что применяемые в них устройства управления - пропорциональные пневмораспределители регулируют работу двигателей в конечных положениях с приемлемыми показателями качества для обеспечения техпроцесса, тогда как в промежуточных положениях работы приводов - не удовлетворяют требованиям по точности позиционирования и быстродействию, поэтому существует необходимость гибкого управления позиционированием пневмоприводов в диапазонах их возможных перемещений.

Решение этой задачи заключается в создании рациональных конструкций пневматических механизмов, с параллельным совершенствованием способов программного управления ими, или с учетом информации о среде, или управлению функционально законченными действиями, или с применением самообучаемых моделей функционирования на основе искусственного интеллекта.

Актуальность темы обусловлена необходимостью решения задачи программного управления позиционированием рабочих органов пневматических подсистем металлообрабатывающих станков, с целью обеспечения заданных показателей качества технологического процесса при погрузочно-разгрузочных операциях.

Объектом исследования является система управления пневматическим приводом основанная на нечеткой логике с применением крановых пневматических распределителей (КПР), приводимых электрическими шаговыми двигателями.

Предмет исследования - процесс управления пневматическим приводом с применением крановых пневматических распределителей.

Целью исследования является разработка системы автоматизированного управления пневматическим приводом, для обеспечения технологических требований по точности позиционирования и быстродействия.

Для достижения поставленной цели в работе рассмотрены следующие вопросы:

1. Исследование математической модели пневматического привода, как программно управляемого динамического объекта;
2. Разработка системы управления рабочими органами привода с использованием методов нечеткой логики с целью настройки пневматической подсистемы на различные параметры технологического процесса производства;
3. Разработка управляемого дросселирующего кранового пневмораспределителя, обеспечивающего заданную точность позиционирования и быстродействие пневматических двигателей;

4. Разработка методики расчета рабочих параметров крановых пневмораспределителей пневматического привода на основе математической модели.

Для решения поставленных задач использовались методы математического моделирования, нечеткой логики, теории автоматического управления, программирования, имитационного моделирования на ЭВМ, а также экспериментальных исследований динамических характеристик и точности позиционирования исполнительных механизмов с пневматическими двигателями.

В первой главе приведен обзор и анализ современных технических устройств и систем управления пневматическими приводами использующихся для обеспечения погрузочно-разгрузочных операций в машиностроении.

Пневматические приводы являются относительно дешевой альтернативой электромеханическим, но требуют обеспечения точности, быстродействия и плавности работы при изменении расчетных нагрузок рабочего органа в широком диапазоне.

Система управления с использованием дросселирующих КПП с шаговыми электродвигателями и с использованием моделей управления на основе нечеткой логики, позволяет оперативно менять режимы работы пневматической системы.

Во второй главе сформулированы принципы реализации предложенной системы управления, описаны система управления пневматическим приводом и конструкция кранового пневматического распределителя с приводом от электрического шагового двигателя. Также дано математическое описание составляющих элементов предлагаемой системы управления.

Третья глава посвящена разработке и исследованию системы управления с применением программного слежения за положением пневмоприводов на основе нечеткой логики. Разработка системы управления на основе нечеткой логики включает несколько этапов.

Четвертая глава посвящена имитационным и экспериментальным исследованиям системы управления пневмоприводом на основе нечеткой логики с применением крановых пневматических распределителей с приводом от электрических шаговых двигателей, исследованиям процесса позиционирования, параметров быстродействия и точности позиционирования и проверки адекватности теоретических исследований.

Глава 1 Анализ устройств и систем управления пневматическими приводами используемых для обеспечения погрузочно-разгрузочных операций в машиностроении

1.1 Состояние вопроса

На современном этапе развития средств поддержки машиностроительного производства для обеспечения погрузочно-разгрузочных операций применяются электромеханические приводы в составе роботов, следящих систем и манипуляторов. Малые предприятия машиностроительного производства, доля которых во вклад развития экономики растет с каждым годом, не имеют возможности расширять производственные мощности с использованием только электромеханических систем поддержки. Это является следствием дороговизны таких систем. Поэтому существует актуальная задача снижения экономических затрат при интенсификации производства. В таком случае, наиболее оправданным является применение пневматических систем.

Пневматические приводы обладают высоким быстродействием, имеют относительно простую конструкцию, защитные устройства, пожарную безопасность, взрывобезопасность, низкую стоимость и высокую надежность при работе в тяжелых условиях при практически неограниченной рабочей нагрузке. Кроме того такие приводы позволяют гибкое переназначивание производства и обладают относительно простой системой управления. Использование их в механообрабатывающем производстве, кузнечно-штамповочном производстве, литейном, сварочном и сборочном производствах позволяет повысить производительность труда, улучшить качество выпускаемой продукции, снизить ее себестоимость, повысить коэффициент сменности оборудования, освободить рабочих от выполнения ручного, малоквалифицированного и монотонного труда, особенно в тяжелых, вредных и опасных для человека условиях.

Пневматические приводы являются относительно дешевой альтернативой электромеханическим, но требуют обеспечения точности, быстродействия и

плавности работы при изменении расчетных нагрузок рабочего органа в широком диапазоне. Решению этих вопросов посвящена диссертация.

1.2 Управляющие устройства пневматических робототехнических механизмов

Современная промышленность выпускает пневмораспределители двух основных типов - клапанные и золотниковые. Которые в свою очередь имеют механическое, пневмо- и электроуправление [1, 12, 35, 59, 67].

В клапанных пневмораспределителях управление потоком воздуха осуществляется с помощью диска или толкателя. Такая конструкция обеспечивает высокую герметичность уплотнения, она проста, надежна и долговечна. Ее особенностью является то, что на клапан действует сила, обусловленная разницей давлений, и величина этой силы растет с увеличением площади проходного сечения клапана. Поэтому управление большими клапанами требует приложения значительных усилий, следствием чего является оснащение клапанов мощным приводом или системой компенсации давления [27, 53, 69].

В золотниковых пневмораспределителях (ЗПР) управление потоком осуществляется перемещением золотника, который соединяет и разъединяет отверстия, выполненные в стенках неподвижного корпуса. При этом силы, действующие на золотник, взаимно уравновешены, а значит для его перемещения нужно лишь преодолеть силу трения.

Общие недостатки для таких пневмораспределителей следующие:

1. При работе ЗПР выдвигаются требования к чистоте рабочего воздуха: необходимо обеспечить пылезащищенность, защиту от паров солей, кислот и коррозионно-активных газов. Которые могут привести к нарушениям в работе или повреждениям оборудования;

2. ЗПР – прецизионные и дорогие механизмы;

3. Нет возможности регулирования скорости перемещения исполнительного устройства или же, наоборот, слишком интенсивное

дросселирование ЗПР приводит к увеличению времени перемещения исполнительного механизма;

4. Сложно решается вопрос программного перемещения и останова исполнительных механизмов;

5. Предыдущие недостатки связаны с регулированием работы исполнительных механизмов пневмоботов. Для регулирования приводов пневмоботов необходима система управления пневматическими устройствами автоматики.

1.2.1 Регулируемые управляющие устройства пневматических робототехнических механизмов

Близкими к крановым управляющим устройствам являются дросселирующие пневматические распределители [26, 73].

В роботизированных системах наиболее приемлемы автономные и автоматически управляемые регуляторы режимов, характеристики которых можно изменить по требуемому закону упрощенными методами, например, программированием [21, 38, 49, 76].

К таким устройствам можно отнести ступенчатый (а.с. СССР № 599134) и демпфирующий (а.с. СССР № 1110981) дроссели.

Конструкция ступенчатого дросселя приведена на рисунке 1.1 [26].

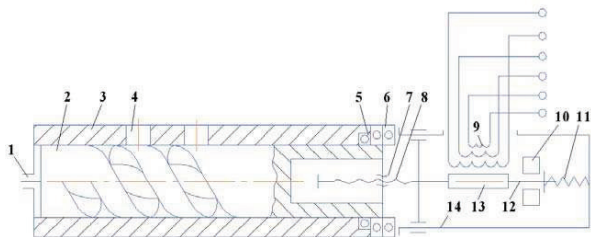


Рисунок 1.1 – Ступенчатый дроссель: 1, 5, 6 - радиально-упорный и упорные подшипники; 2 - плунжер; 3 - корпус; 4 - радиальные отверстия подвода и отвода рабочего тела; 7 - гайка; 8 - ходовой винт; 9 - катушка электромагнита; 10 - статор; 11 - пружина; 12 - толкатель; 13 - якорь; 14 - стакан

Дроссель состоит из полого корпуса с подводящими и отводящими отверстиями, плунжера с винтовой нарезкой, который смонтирован в корпусе на радиальном и радиально-упорном подшипниках, и электромагнитного привода. Кроме того, плунжер жестко соединен с гайкой ходового винта, которая смонтирована в упорных подшипниках, и выполнен полым для размещения ходового винта. Электромагнитный привод выполнен в стакане и закреплен на корпусе соосно ему. Якорь связан с ходовым винтом и, в свою очередь, оперт на толкатель, который нагружен пружиной, взаимодействующей со стаканом. Соосно толкателю и снаружи его установлен статор. Концентрично якорю и на стакане смонтированы катушки электромагнитного привода. Кроме того, ходовой винт связан со стаканом поступательной кинематической парой.

При подаче энергии на одну, две или одновременно три катушки электромагнита якорь притягивается к статору, перемещая толкатель и сжимая пружину. Одновременно с якорем движется относительно стакана, корпуса и плунжера ходовой винт. Гайка при линейном перемещении ходового винта вращается совместно с плунжером вокруг оси и в подшипниках. Происходит перемещение кромки винтовой нарезки плунжера относительно отверстий, в результате чего изменяется эффективная их площадь и, следовательно, расход рабочего тела через эти отверстия. Количество ступеней регулировок соответствует числу катушек электромагнитного привода. При отключении катушек от энергосистемы происходит возврат толкателя, якоря, ходового винта пружиной в первоначальное относительно стакана положение. Гайка ходового винта совместно с плунжером вращаются в противоположном направлении, а кромки винтовой нарезки плунжера занимают относительно отверстий в корпусе исходное положение.

Формирование законов торможения пневмопривода с помощью рассмотренной конструкции осуществляется программированием и не требует участия в процессе управления сложной измерительной и вычислительной аппаратуры. Это упрощает не только непосредственно ПР, но и снижает

трудоемкость его эксплуатации, что весьма важно при автоматизации производственных процессов.

Демпфирующий дроссель (рисунок 1.2) выполнен из подводящего и отводящего штуцеров, подвижной шайбы, установленной между ними и внутри стакана. Последний имеет возможность поступательного перемещения относительно подводящего штуцера. На этом штуцере закреплен также диск, а между ним и фланцем отводящего штуцера смонтирована втулка. Между диском и стаканом размещена пружина. В подвижной шайбе выполнены радиальные выточки в направлении от периферии шайбы к ее центру, причем диаметр у основания выточек больше, чем диаметр отверстия в подводящем штуцере. В шайбе имеется также центральное осевое и радиальное отверстия, оси которых взаимоперпендикулярны. Внутри радиального отверстия размещен подпружиненный цилиндрический толкатель. Свободный конец толкателя находится в кинематическом контакте с клиновым пазом стакана. Ширина паза равна диаметру толкателя. Величина рабочего хода шайбы между штуцерами несоизмеримо мала по сравнению с величиной хода стакана относительно шайбы. На втулке намотаны концентрично одна относительно другой обмотки электромагнита, соединенные с системой управления.

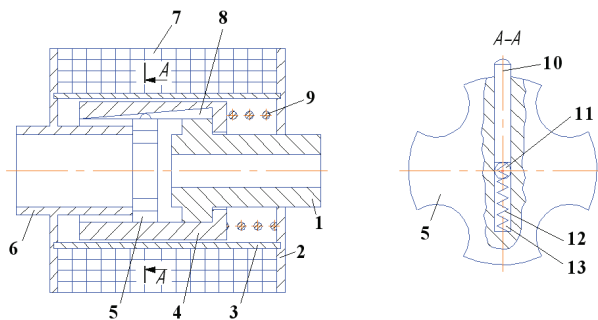


Рисунок 1.2 – Демпфирующий дроссель: 1, 6 - штуцер подводящий и отводящий; 2 - диск; 3 - втулка; 4 - стакан; 5 - шайба подвижная; 7 - обмотка электромагнита; 8 - паз клиновидный; 9, 12 - пружина; 10 - толкатель; 11 - отверстие центральное; 13 - отверстие радиальное

В исходном состоянии стакан с пружиной смещен в крайнее левое положение до упора с фланцем штуцера, шайба поджата к торцу этого же штуцера, толкатель пружины смещен в крайнее верхнее положение до упора с клиновым пазом. Обмотки электромагнита обесточены.

При подаче сжатого воздуха (рабочей жидкости под давлением) через подводящий штуцер подвижная шайба перемещается до торца отводящего штуцера, обеспечивая беспрепятственный расход воздуха через центральное отверстие и радиальные выточки в шайбе к исполнительным устройствам. При возвратном ходе исполнительных устройств, когда отработанный воздух (жидкость) вытесняется через отводящий штуцер, а подводящий штуцер сообщается с атмосферой (с баком), подвижная шайба динамическим напором струи воздуха прижимается к торцу подводящего штуцера. Отверстие в штуцере перекрывается и расход воздуха ограничивается площадью центрального отверстия в шайбе. Скорость движения исполнительных устройств, обусловленная расходом вытесняемого воздуха также снижается. В случае необходимости дальнейшего ограничения расхода воздуха производят подачу напряжения на одну из обмоток электромагнита. Стакан под действием электромагнитных сил сместится вправо, сжимая пружину. Толкатель под действием клиновой поверхности паза, выполненного в стакане, переместится вниз, сжимая пружину. При этом толкатель перекроет часть центрального отверстия в подвижной шайбе. Включение дополнительной обмотки электромагнита приводит к дальнейшему перекрытию центрального отверстия толкателем. Совместное включение обмоток позволяет полностью перекрыть центральное отверстие в шайбе, что приводит к окончательному останову исполнительного устройства. При наличии утечек в дросселе ведомые элементы исполнительных устройств движутся на ползучих скоростях. Их полную остановку можно обеспечить жесткими упорами, гарантирующими высокую точность позиционирования.

Применение демпфирующего дросселя целесообразно в многофункциональных системах для упрощения непосредственно

исполнительных механизмов, исключением дополнительных механических устройств, для предотвращения и демпфирования ударных нагрузок.

Конструкция отличается от известных дросселей универсальностью и возможностью автоматического изменения параметров. Дроссель взаимодействует с биотехническими и автоматическими цикловыми, позиционными и числовыми системами программного управления РТК и основного технологического оборудования или ПР.

1.2.2 Пропорциональный пневмораспределитель типа МРУЕ фирмы Festo

Распределитель с пропорциональным управлением прямого действия имеет золотник, положением которого можно управлять. Благодаря этому аналоговый входной сигнал преобразуется в пропорционально открытую часть поперечного сечения на выхода распределителя [98].

Распределитель, в комбинации с внешним контроллером позиционирования и датчиком перемещения, позволяет создать точную пневматическую систему позиционирования. Такая система позволяет регулировать расход с последующим изменением скорости пневмодвигателя. Пропорциональный пневмораспределитель типа МРУЕ показан на рисунке 1.3.

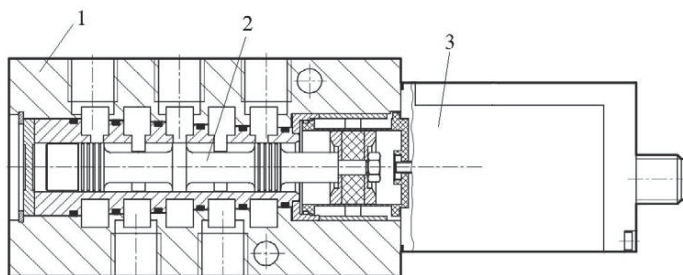


Рисунок 1.3 – Пропорциональный пневмораспределитель типа МРУЕ: 1 - корпус; 2 - золотник пневмораспределителя; 3 - электронный блок управления

1.3 Рациональные методы управления пневматическими приводами

1.3.1 Пневмоприводы роботов циклового и позиционного типов

Привод пневматического робота, как совокупность управляемого и управляющего устройств, обеспечивает реализацию сформированного системой управления задающего воздействия x , в требуемый выход y , (рисунок 1.4 а). Это происходит на основании наблюдения за процессом x . Для выработки оптимального задающего воздействия $x_{зо}$ в традиционных управляющих устройствах требует выполнения регистрации текущего значения y с целью сравнения его с x (рисунок 1.4 б). Подобные устройства отличаются сложностью конструкции и повышенной инерционностью, а область их практического применения ограничена [26].

В зависимости от критерия оптимальности системы управления делятся на 1) оптимальные по точности (критерий минимума погрешности позиционирования); 2) оптимальные по быстродействию (критерий минимума длительности позиционирования); 3) оптимальные по расходу энергии (критерий минимума расхода энергии на выполнение манипуляционного действия); 4) оптимальные по условиям инвариантности (критерий независимости выходных координат системы от внешних воздействий или других координат) и т. д. Конечная цель управления определяется из ограничений, предъявляемых к приводам — объектам управления.

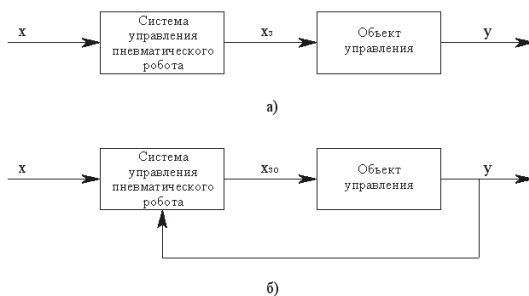


Рисунок 1.4 – Функциональные схемы пневматического робота с контролем (а) и без контроля (б) выходного параметра

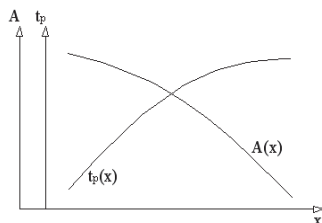


Рисунок 1.5 – Зависимости энергии удара A при торможении и длительности t_p рабочего хода ведомого звена модуля от координаты x подачи управляющего импульса на торможение

Создание рациональных конструкций робототехнических механизмов требует получения результатов оптимальных по быстрдействию и точности при возможной их технической реализации.

Критерии оптимальности по быстрдействию и точности могут быть применимы к данному объекту. Минимум длительности рабочего и холостого перемещений ведет к сокращению длительности позиционирования пневматического робота в целом и, как следствие, к росту производительности. Сокращение длительности перемещения возможно увеличением скоростного режима и дополнительного подвода энергии, что не может не сказаться на точностных характеристиках объекта.

Пневматический робот, как совокупность нескольких объектов управления, работающих последовательно или параллельно от единой энергосистемы, должен быть независим от ее нестабильности в динамическом режиме.

Многочисленность ограничений затрудняет расчет приводов манипуляционных систем, а вместе с тем и их совершенствование.

Работа привода как модуля пневматического робота осуществляется в цикловом импульсном режиме с остановкой по задающему упору. Его положение, определяемое состоянием кинематической цепи ходовой винт-гайка, копируется жестким упором, связанным с ведомым элементом. Исходя из конструктивных особенностей, критерий оптимальности следует

обосновывать по минимуму длительности выполнения рабочего (холостого) перемещения и энергии удара, возникающей при затормаживании ведомых масс (рисунок 1.5): $t_p = \min$; $A = \min$.

При опережающем включении торможения имеет место потеря производительности и при его запаздывании останов произойдет с ударом.

В числе возможных вариантов позиционирования (управления положением) конечного подвижного звена пневматического робота способы с предварительным торможением и с остановкой по упору наиболее предпочтительны по критерию быстродействия. В конструкциях пневматических роботов с позиционными системами управления, работающими с предторможением, скорость по мере приближения к заданной координате уменьшается, имеет место переходный процесс, в течение которого система управления, исключая рассогласование, устанавливает механизмы в заданную координату.

При использовании цикловых управляющих устройств и высокой интенсивности работы механической части производительность пневматического робота может снижаться из-за необходимости успокоения колебаний конечного подвижного элемента, возникающих в момент его торможения о жесткий упор.

Задача плавного останова и фиксации ведомых звеньев цикловых приводов успешно решена. В них необходимые для выполнения управляющих функций механические, пневматические или иные технические устройства стационарно смонтированы в координатах начала и окончания движения ведомого звена при возможности перестройки технологических режимов, которая, как правило, весьма трудоемка. В позиционных приводах распространены тормозные золотники и конечные выключатели, положение которых вдоль координаты перемещения ведомого звена можно изменять произвольно. Для автоматической настройки величины хода применяются металлоемкие пневмогидравлические механизмы, отличающиеся относительной сложностью

конструкции, причем работа управляющего устройства осуществляется за счет энергии непосредственно привода.

Возможность управления движением в любой координате рабочего или холостого перемещения ведомого звена требует сложного математического, вычислительного, управляющего и конструктивного обеспечения. Опытные образцы подобных систем созданы, являются универсальными и могут быть применены при анализе протекающих в приводах процессов. Их практическое применение затруднено из-за чрезвычайной конструктивной сложности, требующей тонких наладочных и регулировочных работ, повышенной металлоемкости и дополнительных временных затрат на работу вычислительных средств, порой превышающих непосредственно длительность затормаживания.

Поскольку пневматические роботы, основанные на цикловом принципе управления, экономичнее позиционных, а решаемые ими технологические задачи идентичны, то целесообразно развивать принципы расчета и конструирования первых, создавать новые, наиболее совершенные их конструктивные схемы, изыскивать рациональные области применения.

Задача повышения производительности цикловых пневматических роботов будет успешно решена, если их целевые механизмы, перемещающиеся под действием максимальной движущей силы (управляющего воздействия), будут воздействовать на жесткий упор, определяющим заданную координату, с нулевой скоростью. В этом случае существенно снижаются динамические явления в точках останова, сокращается длительность позиционирования пневматического робота, повышается точность и надежность его работы.

1.3.2 Пневмопривод со следящим управлением

Ограничение по быстродействию имеют и следящие системы. Пневмопривод со следящим позиционированием показан на рисунок 1.6. В процессе рабочего перемещения сигнал обратной связи от усилителя поступает в обмотки электромагнита пневматического клапана. В результате

взаимодействия обмоток с постоянными магнитами возникает сила, движущая стержень с язычком относительно опоры. Взаимодействие язычка с соплом приводит к изменению сопротивления истечению воздуха. Сигнал в дальнейшем усиливается релейным устройством, выход которого связан с цилиндром. Поршень цилиндра движется в направлении ликвидации рассогласования. В момент исчезновения рассогласования выходные сигналы реле уравниваются и поршень цилиндра останавливается [26, 58].

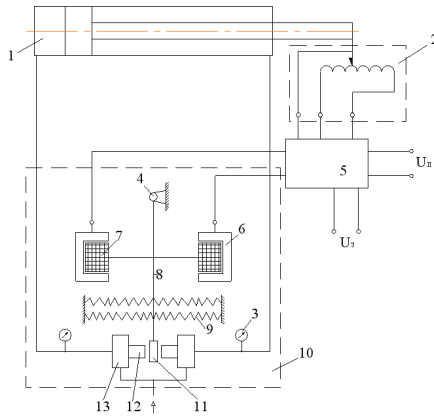


Рисунок 1.6 – Пневмопривод со следящим позиционированием: 1 — цилиндр; 2—потенциометр; 3 — манометр; 4 — опора; 5 — усилитель; 6— магнит постоянный; 7— обмотка; 8— стержень; 9— пружина регулировки нулевого положения и усиления; 10 — пневматический клапан; 11 — язычок; 12 — сопло; 13 — реле

До момента уравнивания силы от сопротивления истечению воздуха из сопла с силой от давления, являющегося выходным, происходит смещение сопла и плунжера. Движение сопла происходит в направлении перемещения язычка. Кроме того, движение сопла оказывается связанным с давлением на выходе, а в итоге — и с давлением, которое заставляет перемещаться поршень. Ввиду того, что ход язычка относительно велик, его можно использовать для регулировки коэффициента усиления, дополнительно к регулировке собственно клапана. Дополнительная регулировка осуществляется изменением усилия пружины. Это достигается путем выбора зазора, имеющегося между пружиной

и плунжером в нейтральном положении клапана, что позволяет изменять коэффициент усиления входных сигналов. Наличие независимых диафрагм у питающего и выпускного окон реле также позволяет изменять коэффициент усиления.

Пневматический клапан (рисунок 1.7) рассчитан на рабочее давление до 1,0 МПа, обладает пропускной способностью до $0,8 \text{ м}^3/\text{мин}$, потребляет ток в 25 мА.

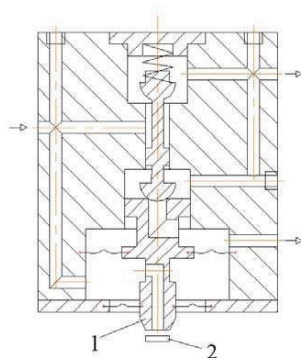


Рисунок 1.7 – Конструкция реле пневматического клапана, где 1 — сопло; 2 — язычок

Пневмоприводы со следящим позиционированием широко используются в сочетании с ЭВМ для подачи заготовок, снятия деталей с конвейера, для загрузки изделиями непрерывно движущихся приспособлений спутников в режиме их сопровождения.

1.3.3 Модельная компенсация погрешности линейных приводов роботов, промышленных манипуляторов и следящих систем

Существующие методики компенсации ошибок в работе приводов электромеханических систем основаны на введении в систему управления дополнительных корректирующих воздействий, компенсирующих влияние статистических характеристик.

Дополнительные корректирующие воздействия определяются с помощью математической модели, описывающей процессы, происходящие в приводе при движении исполнительного органа с постоянной скоростью.

В работе [46] на примере винтовых механизмов манипуляторов показан метод компенсации погрешности работы приводов.

Текущие значения статических характеристик винтового механизма определяются аналитическими зависимостями в функции угла подъема стрелы манипулятора. В процессе моделирования определяется ошибка движения привода во всем диапазоне углов подъема полезного груза, которая суммируется с управляющим сигналом. Затем происходит обработка приводом управляющего сигнала, включая корректирующий сигнал ошибки. Расчетная ошибка привода, определяемая в блоке W_{10} (рисунок 1.8) и ее модельное значение, получаемое на выходе блока W_5 , складываются в сумматоре; таким образом, происходит их компенсация. После компенсации остаточная ошибка привода имеет постоянное значение, не зависящее от положения стрелы подъема манипулятора.

При разработке математической модели привода учитываются изменения передаточного отношения винтового механизма, жесткости и приведенных к оси вращения двигателя моментов инерции механизма и перемещаемого груза.

Структурная схема исполнительный части привода показана на рисунке 1.8 и построена с учетом матмодели.

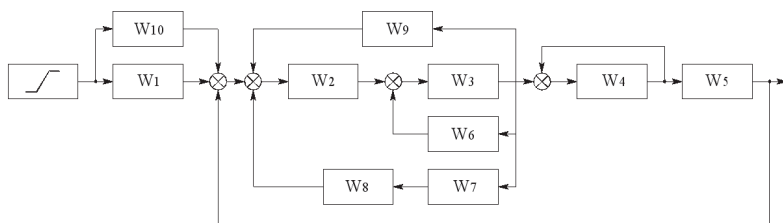


Рисунок 1.8 – Структурная схема привода манипулятора

В прямой цепи схемы находятся задающее устройство, с которого сигнал поступает в преобразователь (передаточная функция W_1), усилитель мощности (W_2), электродвигатель постоянного тока (W_3), винтовой исполнительный механизм (W_4), объект управления (W_5). Привод замкнут по положению нагрузки и имеет местную обратную связь по скорости (звенья W_6 - W_8), а также обратную связь по моменту на валу электродвигателя (звено с передаточной функцией W_9). В схеме есть корректирующий модельный блок (W_{10}), который предназначен для определения расчетного значения ошибки привода с учетом изменения передаточного отношения винтового механизма, его жесткости и момента инерции в зависимости от угла подъема стрелы манипулятора.

Применение корректирующего модельного блока снижает ошибку привода подъема манипулятора, что подтверждает эффективность регулирования точности движения электромеханических систем. Метод компенсации погрешностей, обусловленных систематическими факторами, вызванными особенностями исполнительного механизма, позволяет повысить качество приводов линейного перемещения и может применяться для приводов, управляющих объектами с нестабильными характеристиками или объектами, не охваченными обратными связями.

1.3.4 Пневматические сервомодули движения

Сервомодулями движения представляют собой, созданные на базе объединенных на конструкторском уровне механических (гидро-пневмодвигатели, передаточные механизмы и др.), электротехнических (электродвигатели, электромагниты и др.), электронных (магниторезисторы, транзисторы и др.) устройств в сочетании с информационно-программными средствами, относятся к механотронным модулям движения и направлены на достижение цели - управление рабочими органами технологического оборудования в заданных режимах [58].

Основу пневматических сервомодулей движения составляют линейные штоковые или бесштоковые серводвигатели.

При использовании штоковых серводвигателей с навесными или встроенными датчиками обратной связи, точность позиционирования определяется положением штока, применение направляющих качения позволяет устранить влияние радиальных нагрузок на шток и исключить возможность его вращения.

Сервомодулями движения на базе пневматических бесштоковых серводвигателей в сочетании с профильным корпусом, предназначены для использования в условиях повышенных статических и динамических нагрузок и моментов. Эти нагрузки и моменты воспринимаются не подвижным элементом, а профилем корпуса двигателя.

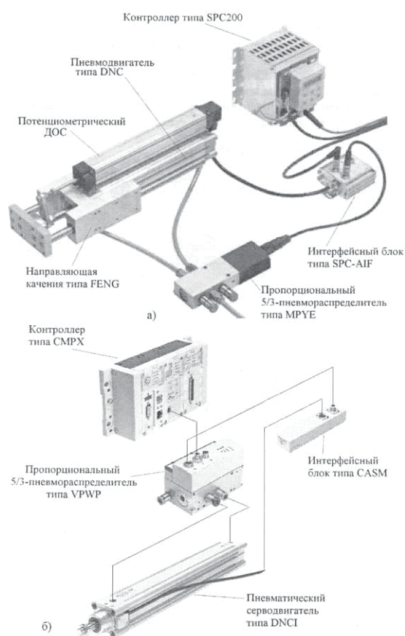


Рисунок 1.9 - Элементы управления сервомодулей на основе пневматических серводвигателей с навесным потенциометрическим ДОС (а) и встроенным магнитоимпульсным ДОС (б)

1.4 Предлагаемое техническое решение

Основной задачей диссертационной работы является совершенствование системы автоматизированного управления пневматическим приводом, для обеспечения требований по обеспечению заданных показателей качества технологического процесса при погрузочно-разгрузочных операциях.

Решение этой задачи заключается в создании рациональной конструкции пневматических механизмов, с параллельным совершенствованием способов программного управления ими, с учетом информации о среде, а также управлению функционально законченными действиями, с применением самообучаемых моделей функционирования на основе искусственного интеллекта.

Уровни структуры управления представлены на рисунке 1.10. Первый уровень – локальное аппаратное управление приводами; второй – элементарные программные операции; третий – операции с учетом информации о среде с элементами методов искусственного интеллекта.

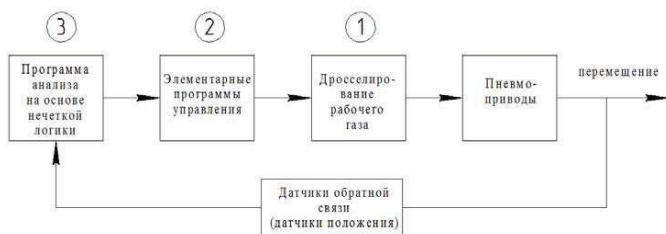


Рисунок 1.10 - Уровни управления приводами пневмосистемы

В системе управления предполагается использование дросселирующих КПП с шаговыми электродвигателями и с применением моделей управления на основе нечеткой логики, что позволит оперативно менять режимы работы пневматической системы.

1.5 Выводы

1. Пневматические приводы, являются относительно дешевой, с высоким ресурсом альтернативой электромеханическим, не уступающие в точности позиционирования и быстродействия рабочего органа, и, при необходимости плавности работы.

2. Для реализации требуемых характеристик пневматических приводов необходимо разработать устройство регулирования и его привод на основе электромеханической системы управления.

3. Необходим программный модуль на основе нечеткой логики, позволяющий гибко управлять пневматической системой.

Глава 2 Разработка системы автоматизированного управления на основе математического моделирования компонентов аппаратной части

2.1 Характеристики разрабатываемой системы

Анализом механизмов и систем управления технологического оборудования была выявлена задача повышения эффективности систем управления. Особый интерес представляют системы управления пневматическими промышленными системами. К системам управления такого типа предъявляются требования по обеспечению точности позиционирования, быстродействия конечных приводов и времени позиционных циклов [13, 14, 15].

Задача повышения эффективности механизмов позиционирования решается комплексным путем. В него входят следующие аспекты: разработка системы управления регулирующей аппаратурой; разработка и обоснование технического решения регулирующей аппаратуры; разработка алгоритмов режимов работы механизмов позиционирования и траекторий движения исполнительных механизмов [41].

Принципы реализации управления для пневматического привода можно проследить на основе исследуемых зависимостей от времени перемещения $y(t)$ и скорости перемещения $V(t)$ рабочего органа (рисунки 2.1, 2.2).

Позиционный цикл состоит из этапов: участок А-В – форсированный разгон исполнительного механизма, где вся энергия источника питания с минимальными потерями преобразуется в механическую энергию движения; В-С – управляемое замедление, предотвращающее возникновение высоких ускорений; С-D – фиксация исполнительного механизма с заданной точностью; D-D' – останов; D'-E – обратный ход для рисунка 2.1; D'-E – прямой ход для рисунка 2.2; E-E' – останов; E'-F – обратный ход для рисунка 2.2.

В этой связи обосновано направление нахождения технического решения привода и системы управления в целом, основанного на повышении

эффективности каждого этапа позиционного цикла. Так предлагается на этапе форсированного разгона использовать КПП с приводом от электрического шагового двигателя, который обладает хорошей характеристикой «время-сечение» и большой степенью перекрытия окон регулирования подачи воздуха в пневмодвигатели. Это приводит к высокой скорости движения выходного звена. На этапе управляемого замедления – шаговый двигатель переводит дросселирующий элемент распределителя в положение минимального поступления рабочего газа, тем самым обеспечивается равномерность движения исполнительного механизма с заданным ускорением. На этапе останова и фиксации – происходит движение распределительного органа кранового пневмораспределителя в обратном направлении при помощи управляемого шагового электрического двигателя, таким образом, происходит фиксация исполнительного механизма.

Управление шаговым двигателем происходит программно. Для повышения точности позиционирования используется разностный принцип управления распределителями, описанный в главе 3.

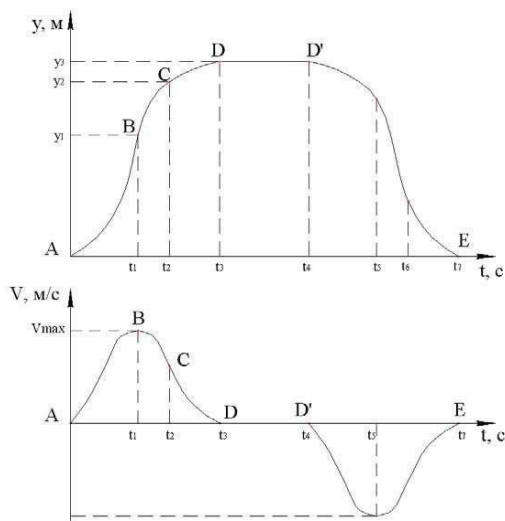


Рисунок 2.1 - Графики зависимостей $y(t)$ – (а) и $V(t)$ – (б) элементов пневматического привода с фиксацией в промежуточном положении и обратным ходом

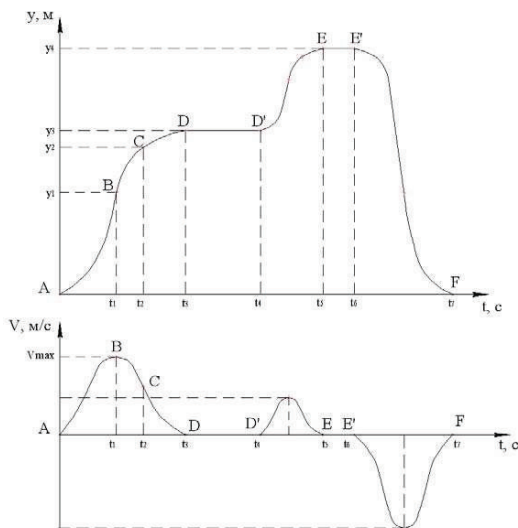


Рисунок 2.2 - Графики зависимостей $y(t)$ – (а) и $V(t)$ - (б) элементов пневматического привода с фиксацией в промежуточном положении и продолжении прямого хода с последующим обратным ходом

Классическое управление запорно-регулирующей аппаратурой пневматических приводов основано на использовании электроуправляемых магнитов, работающих по серво - принципу. Такое управление зачастую оправдано по энергетическим и финансовым затратам при проектировании и в конечном использовании. Но оно позволяет использовать заложенный потенциал пневматических приводов только в крайних положениях их приводов. То есть при включении определенных электромагнитов тот или иной пневмодвигатель привода работает до своего конечного положения [39, 40, 97]. Исключение составляют системы управления использующие пропорциональные золотниковые пневмораспределители, однако, и они не могут гарантировать более точное позиционирование в широких диапазонах регулирования.

Использование программно-управляемых шаговых двигателей в регулирующей аппаратуре позволяет достигать позиционирования

промежуточных положений работы приводов. В этом случае возникает вопрос точности работы пневмопривода. На точность работы пневматического привода могут влиять несколько причин. Среди них: недостаточное давление в пневмосистеме; утечки рабочего газа, вызванные разными причинами, но главная - это износ уплотнений; ошибки в задании параметров в программе управления; применение КПП с шаговыми двигателями, не обладающими “нужным количеством шагов”; ошибки в работе датчиков положения. Последняя проблемная причина разрешима, если совместно применять герконы с современными магнитострикционными датчиками положения. Такие датчики являются высокоточными приборами. Показания с них фиксируются специальным контроллером, который в случае отклонения привода от заданных точек посылает корректирующий сигнал на числовой - программный модуль и, соответственно, возможна корректировка программы работы пневмопривода.

Возможные ошибки по положению в работе пневмоприводов ($\Delta_{роб.}$) вызваны ошибками регулирования ($\Delta_{рег.}$), ошибками от упругих и температурных деформаций ($\Delta_{деф.}$), ошибками от зазоров и люфтов ($\Delta_{зав.}$):

$$\Delta_{роб.} = \Delta_{рег.} + \Delta_{деф.} + \Delta_{зав.}; \quad (1)$$

На практике эти ошибки компенсируются возможностью точного задания положения элементов привода, изменением скорости, изменением технологии изготовления механизмов, применением новых материалов и конструкций.

КПП в отличие от сервозолотниковых распределителей обладает еще двумя достоинствами. Рабочие окна в КПП, через которые истекает рабочий газ, по площади их открытия намного превышает открытие рабочих щелей сервозолотников. Таким образом, возрастает быстродействие, что важно в определенных технологических процессах. Соответственно, открытие и перекрытие рабочих окон можно сделать весьма меньше чем у сервозолотников. Благодаря этому возможно достичь плавности, что тоже немаловажно в определенных технологических процессах.

2.2 Предлагаемая система управления

Разработанная система управления пневматическим приводом с использованием КПП на основе нечеткой логики показана на рисунке 2.3. Работа системы основана на адаптивном программном управлении, с использованием нечеткой логики на основе отслеживаемых данных от обратной связи [91].

Программа управления формируется на основании отслеживания положения пневмодвигателя привода с использованием отрицательной обратной связи. Подробнее вопрос формирования управляющей программы рассмотрен в 3 главе.

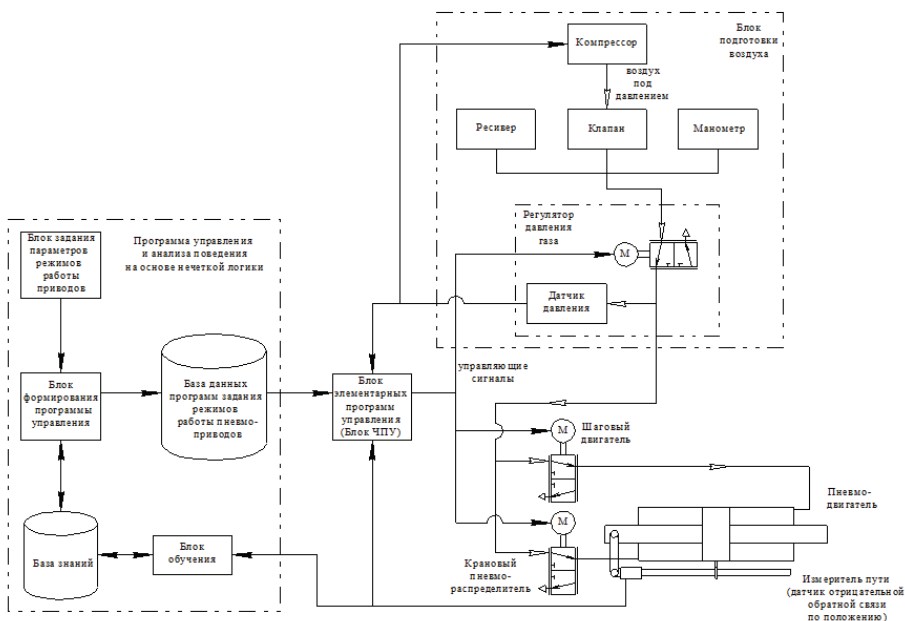


Рисунок 2.3 – Структурная схема системы управления пневматического привода

Для обеспечения приемлемых расходов газа и высоких динамических характеристик пневмоприводов используются КПП с приводом от электрических шаговых двигателей, конвертирующих прямоугольные

импульсы электрического напряжения в механическое вращение. За рабочие положения каждого пневмопривода отвечает пара КПП, за исключением пневмопривода механизма захвата, в нем используется один КПП. В качестве регулятора давления также применен КПП с управлением от электрического шагового двигателя, обратная связь в нем осуществляется при помощи датчика давления пьезоэлектрического типа.

Шаговый двигатель - это электромагнитное устройство, которое конвертирует прямоугольные импульсы электрического напряжения в механическое вращение выходного вала [50, 51, 63].

В шаговом двигателе вращающий момент создается магнитными потоками статора и ротора, которые соответствующим образом ориентированы друг относительно друга. Статор изготовлен из материала с высокой магнитной проницаемостью и имеет несколько полюсов. Полюс можно определить как некоторую область намагниченного тела, где магнитное поле сконцентрировано. Полюса имеют как статор, так и ротор. Для уменьшения потерь на вихревые токи магнитопроводы собраны из отдельных пластин, подобно сердечнику трансформатора. Вращающий момент пропорционален величине магнитного поля, которая пропорциональна току в обмотке и количеству витков. Таким образом, момент зависит от параметров обмоток. Если хотя бы одна обмотка шагового двигателя запитана, ротор принимает определенное положение. Он будет находиться в этом положении до тех пор, пока внешний приложенный момент не превысит некоторого значения, называемого моментом удержания. После этого ротор повернется и примет одно из следующих положений равновесия.

В качестве способа управления шаговым двигателем выбран к применению, так называемый микрошаговый режим. При этом способе управления ток в фазах нужно менять небольшими шагами, обеспечивая таким образом дробление половинного шага на еще меньшие микрошаги. Когда одновременно включены две фазы, но их токи не равны, то положение равновесия ротора будет лежать не в середине шага, а в другом месте,

определяемом соотношением токов фаз. Меняя это соотношение, можно обеспечить некоторое количество микрошагов внутри одного шага [42].

Микрошаговый режим обеспечивается путем получения поля статора, вращающегося более плавно, чем в полно- или полушаговом режимах. В результате обеспечиваются меньшие вибрации и практически бесшумная работа вплоть до нулевой частоты. К тому же меньший угол шага способен обеспечить более точное позиционирование. Существует много различных микрошаговых режимов, с величиной шага от $1/3$ полного шага до $1/32$ и даже меньше. Шаговый двигатель является синхронным электродвигателем. Это значит, что положение равновесия неподвижного ротора совпадает с направлением магнитного поля статора. При повороте поля статора ротор тоже поворачивается, стремясь занять новое положение равновесия.

Результатом использования микрошагового режима является намного более плавное вращение ротора на низких частотах. На частотах в 2 – 3 раза выше собственной резонансной частоты ротора и нагрузки, микрошаговый режим дает незначительные преимущества по сравнению с полу- или полношаговыми режимами. Причиной этого является фильтрующее действие инерции ротора и нагрузки. Система с шаговым двигателем работает подобно фильтру нижних частот. В микрошаговом режиме можно осуществлять только разгон и торможение, а основное время работать в полношаговом режиме. К тому же, для достижения высоких скоростей в микрошаговом режиме требуется очень высокая частота повторения микрошагов, которую не всегда может обеспечить управляющий микроконтроллер. Для предотвращения переходных процессов и потери шагов, переключения режимов работы двигателя (из микрошагового режима в полношаговый и т.п.) необходимо производить в те моменты, когда ротор находится в положении, соответствующем одной включенной фазе.

Во многих приложениях, где требуются малые относительные перемещения и высокая разрешающая способность, микрошаговый режим способен заменить механический редуктор. Часто простота системы является

решающим фактором, даже если при этом придется применить двигатель больших габаритов. Несмотря на то, что драйвер, обеспечивающий микрошаговый режим, намного сложнее обычного драйвера, всё равно система может оказаться более простой и дешевой, чем шаговый двигатель, плюс редуктор. Современные микроконтроллеры иногда имеют встроенные цифро-аналоговые преобразователи, которые можно использовать для реализации микрошагового режима взамен специальных контроллеров. Это позволяет сделать практически одинаковой стоимость оборудования для полношагового и микрошагового режимов.

Микрошаговый режим используется для увеличения точности величины шага сверх заявленной производителем двигателя. При этом используется номинальное число шагов. Для повышения точности используется коррекция положения ротора в точках равновесия. Для этого сначала снимают характеристику для конкретного двигателя, а затем, изменяя соотношение токов в фазах, корректируют положение ротора индивидуально для каждого шага. Такой метод требует предварительной калибровки и дополнительных ресурсов управляющего микроконтроллера. Кроме того, требуется датчик начального положения ротора для синхронизации его положения с таблицей корректирующих коэффициентов. [63]

Разработано устройство управления – крановый пневмораспределитель (Патент RU 158927 U1. 2016 бюл.№2) [87, 89, 96]. На рисунке 2.4 показана схема кранового пневмораспределителя.

На рисунке 2.4: 1 - электрический шаговый двигатель, 2 - корпус пневмораспределителя; 3 - винтовое соединение, 4 - поворотный золотник (кран), 5 - цилиндрическая пружина сжатия, 6 - дискообразное утолщение выходного вала электрического шагового двигателя, 7 - центрирующая подшипниковая опора, 8 - центрирующий выступ поворотного золотника, 9 - магнитная жидкость, 10 - постоянный магнит кольцевой формы П-образного сечения, 11 – втулка, 12 - напорный канал, 13 - рабочий канал, 14 - сливной канал, 15 - коммутационный канал, 16 - входы для подключения к источнику

питания и управляющему устройству(на рисунке не показаны), 17 – шлицевое соединение.

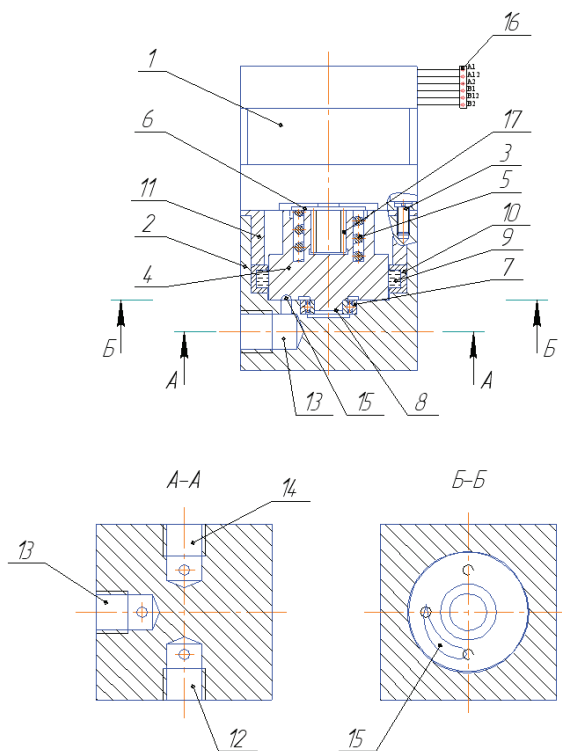


Рисунок 2.4 - Крановый пневмораспределитель

Пневматический распределитель работает следующим образом. В исходном состоянии электрический шаговый двигатель 1 распределителя отключен, каналы 12, 13, 14 не сообщаются между собой. При подаче управляющих сигналов на входы 16 электрического шагового двигателя 1, от внешнего управляющего устройства, он приводит в движение (вращение) поворотный золотник 4. В соответствии с программой управления, вращение может осуществляться как по часовой, так и против часовой стрелки. Изменение положения поворотного золотника 4, приводит к изменению площади сечения коммутационного канала 15, изменяя быстродействие и

плавность хода рабочего органа. Поворотный золотник 4 может занимать крайние положения, соответствующие максимальному совмещению коммутационным каналом 15 каналов 12 с 13 и 13 с 14, а также возможна фиксация в промежуточных положениях, выраженная в не совмещении указанных каналов. При этом меняется скорость перемещения управляемого рабочего органа в соответствии с выбранным профилем сечения коммутирующего канала 15. Это и обеспечивает исполнение программных команд по быстрдействию управляемого рабочего органа в расчетных пределах. Крайние положения поворотного золотника соответствуют минимальной и максимальной скорости перемещения управляемого рабочего органа. Для фиксации управляемого рабочего органа в промежуточном положении поворотный золотник должен быть установлен в положении, соответствующем, разъединению каналов 12 и 13.

При перемещении поворотного золотника с одного крайнего положения до другого имеются его положения, соответствующие минимальной и максимальной скорости движения рабочего органа пневмопривода. Для проведения обратного хода необходимо соединить рабочий канал 13 со сливным каналом 14.

Поджатие пружинной 5 рабочего торца поворотного золотника 4 к днищу корпуса 2 распределителя обеспечивает уменьшение утечек воздуха из канала 15 в каналы 13 и 14, что увеличивает быстрдействие и точность работы управляемого пневматическим распределителем пневмопривода.

Магнитная жидкость 9 и постоянный магнит 10 совместно обеспечивают магнитожидкостное уплотнение и, следовательно, герметичность внутренней полости устройства, что также увеличивает быстрдействие и точность работы управляемого распределителем рабочего органа пневмопривода.

Центрирующая подшипниковая опора снижает силы трения на цилиндрической поверхности поворотного золотника 4, что увеличивает быстрдействие работы пневматического распределителя за счет обеспечения

расчетного зазора между цилиндрическими поверхностями поворотного золотника 4 и корпуса распределителя 2.

Крановый пневмораспределитель установлен на каждое движение. Кроме того, возможно отказаться от дополнительных дросселей в рабочей линии на выходе из распределителя.

В качестве двигателей пневмопривода, управляемых КПП, можно использовать пневмоцилиндры и поворотные пневмодвигатели.

За обратную связь отвечают магнитострикционные датчики положения, сигнал от которых поступает на контроллер и инициирует дальнейшие действия привода согласно программе его работы [75, 76, 95].

2.3 Математическое описание составляющих предлагаемой системы управления

Математическая модель промышленного пневматического привода основана на уравнениях, определяющих массовый расход сжатого газа через управляемые крановые пневмораспределители (КПП), на уравнениях неразрывности потока, уравнениях состояния рабочего газа и уравнениях движения отдельных механических звеньев [88].

Для обеспечения приемлемых расходов газа и высоких динамических характеристик пневмопривода используются крановый пневмораспределитель с управлением от электрического шагового двигателя.

Математическая модель электрического шагового двигателя (рисунок 2.5) описывается следующими выражениями.

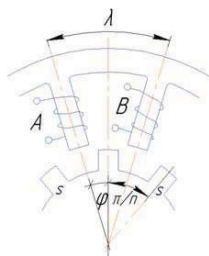


Рисунок 2.5 - Модель электрического реактивного шагового двигателя [64]

Зазор между ротором и статором шагового двигателя может повлиять на магнитосцепление, но пренебрегаем зазором, и не учитываем его влияние при описании математической модели.

Индуктивность и взаимные индуктивности обмоток двух фаз составляют [74, 75]:

$$L_A = L_0 + L \cdot \cos 2n\varphi; \quad (2)$$

$$L_B = L_0 + L \cdot \cos 2n(\varphi - \lambda); \quad (3)$$

$$M_{AB} = -M_0 + M \cos 2n\left(\varphi - \frac{\lambda}{2}\right); \quad (4)$$

где L_A - собственная индуктивность фазы А; L_B - собственная индуктивность фазы В; L - индуктивность ротора; L_0 - индуктивность обмоток статора; n - число пар полюсов шагового двигателя; λ - угол между обмотками статора; φ - угловое положение ротора; M - взаимная индуктивность;

Момент создаваемый i_A и i_B :

$$\tau = \frac{1}{2} i_A^2 \cdot \frac{dL_A}{d\varphi} + \frac{1}{2} i_B^2 \cdot \frac{dL_B}{dt} + i_A i_B \frac{dM_{AB}}{d\varphi}; \quad (5)$$

Подставим в (5) уравнения (2), (3), (4):

$$\tau = \left[i_A^2 nL \sin 2n\varphi + i_B^2 nL \sin 2n(\varphi - \lambda) + 2i_A i_B nM \sin 2n\left(\varphi - \frac{\lambda}{2}\right) \right]; \quad (6)$$

где n - число пар полюсов шагового двигателя; i_A - ток в обмотке А; i_B - ток в обмотке В;

Тогда возможно записать уравнение движения:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + D \frac{d\varphi}{dt} + i_A^2 nL \sin 2n\varphi + i_B^2 nL \sin 2n(\varphi - \lambda) + 2i_A i_B nM \sin 2n\left(\varphi - \frac{\lambda}{2}\right) = 0; \quad (7)$$

где J - момент инерции ротора; D - коэффициент вязкого трения, который учитывает наличие воздуха и трения.

Уравнения для напряжения в обеих обмотках:

$$U - r i_A - \frac{d}{dt}(L_A i_A) - \frac{d}{dt}(M_{AB} i_B) = 0; \quad (8)$$

$$U - r i_B - \frac{d}{dt}(L_B i_B) - \frac{d}{dt}(M_{AB} i_A) = 0; \quad (9)$$

где U - напряжение источника питания; L - собственная индуктивность каждой фазы; M - взаимная индуктивность; r - сопротивление цепи обмотки статора.

При этом приняты допущения, что L и M не зависят от φ . Уравнения (6) - (9) являются нелинейными дифференциальными уравнениями. Так как нелинейные дифференциальные уравнения сложно решить аналитически, необходимо их линеаризовать.

В линеаризованной форме уравнения (6) - (9) примут вид:

$$J \frac{d^2(\delta\varphi)}{dt^2} + D \frac{d(\delta\varphi)}{dt} + 4n^2 i_0^2 (M + L \cos n\lambda)(\delta\varphi) + 2n I_0 L \sin 2n\lambda (\delta\alpha_A - \delta\alpha_B) = 0; \quad (10)$$

$$r(\delta\alpha_A) + (L_0 + L \cos n\lambda) \frac{d}{dt}(\delta\alpha_A) + (M - M_0) \frac{d}{dt}(\delta\alpha_B) - 2n I_0 L \sin n\lambda \frac{d}{dt}(\delta\varphi) = 0; \quad (11)$$

$$r(\delta\alpha_B) + (L_0 + L \cos n\lambda) \frac{d}{dt}(\delta\alpha_B) + (M - M_0) \frac{d}{dt}(\delta\alpha_A) - 2n I_0 L \sin n\lambda \frac{d}{dt}(\delta\varphi) = 0; \quad (12)$$

Определим, какая функция выражает положение ротора $\delta\varphi(t)$ после начала движения от положения равновесия при угле φ_i . Интересно также определить, как изменяются со временем значения i_A и i_B . Для получения ответов на эти вопросы необходимо решить уравнения при начальных условиях $\delta\varphi = \varphi_i$ и $d(\delta\varphi)/dt = 0$ при $t = 0$. Для этого используем преобразование Лапласа, обозначая $d/dt = s$ и $d^2/dt^2 = s^2$. Преобразования Лапласа от функций обозначаются большими буквами: $\delta\varphi(t) \rightarrow \Phi(s)$; $\delta\alpha_A(t) \rightarrow I_A(s)$; $\delta\alpha_B(t) \rightarrow I_B(s)$.

решение (9)-(11) имеет вид:

$$I_A = -I_B = \frac{2n I_0 L \sin(n\lambda)(s\Phi - \varphi_i)}{(r + L_0 s)}; \quad (13)$$

$$\Phi(s) = \frac{\left[s^2 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} \right) s + \frac{r}{L_v} \cdot \frac{D}{J} + k_n \cdot \omega^2 \right] \cdot \varphi_i}{s^3 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} \right) s^2 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} + \omega^2(1 + k_v) \right) s + \left(\frac{r}{L_v} \right) \omega^2}, \quad (14)$$

где

$$k_n = \frac{n \cdot \Phi_M \sin^2\left(\frac{n\lambda}{2}\right)}{(L - M) \cdot I_0 \cdot \cos\left(\frac{n\lambda}{2}\right)}; \quad (15)$$

$$k_v = \frac{2L^2 \sin^2 n\lambda}{L_v(M + L \cos n\lambda)}; \quad (16)$$

r - сопротивление цепи обмотки статора; I_0 – амплитудное значение тока питания обмоток статора; Φ_M – значение потокосцепления; $L_v = L_0 + L \cos n\lambda - M + M_0$ - общая индуктивность мотора; L_0 - индуктивность обмоток статора; M_0 – взаимная индуктивность обмоток статора; угловое перемещение ротора:

$$\omega^2 = \frac{4n^2 I_0^2 (M + L \cos n\lambda)}{J}. \quad (17)$$

Применим уравнения (6) и (15) в дальнейшем расчете параметров КПП.

При разработке математической модели кранового пневматического распределителя рассматривается установившийся режим, при условии неразрывности потока:

$$G_1 = G_2. \quad (18)$$

В пневматическом приводе внешняя работа совершается за счет изменения параметров состояния сжатого воздуха, находящегося в рабочих камерах пневмодвигателей. Так же, как и в случае поршневого двигателя, в работе пневмоцилиндра можно выделить следующие этапы: наполнение, расширение, выталкивание воздуха из рабочей камеры.

При истечении сжимаемого газа под действием заданного перепада давлений, расход газа через крановый пневмораспределитель составит

$$G = \mu \cdot f \cdot \psi \cdot P \cdot \varphi \cdot \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT}}, \quad (19)$$

где μ - коэффициент расхода; f – площадь проходного сечения; P – перепад давлений газа; φ - угол поворота распределителя; k – показатель адиабаты; R – универсальная газовая постоянная; T - температура в магистрали.

Функция ψ зависит от режима истечения. Критерием, позволяющим судить о режиме истечения, является критическое отношение давлений

$$\chi = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)}, \quad (20)$$

где k – показатель адиабаты.

если $p_1/p_0 < \chi$, то режим истечения газа из цилиндра будет критическим, и функция

$$\psi = \sqrt{2 \frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{2/(k-1)}}; \quad (21)$$

если $p_1/p_0 > \chi$, то режим истечения газа из цилиндра будет подкритическим, и функция

$$\psi = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{2/k} - \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{(k+1)/k} \right]};$$

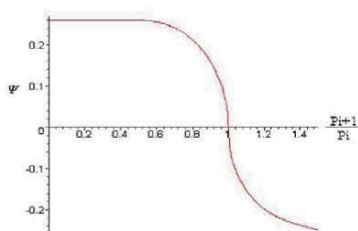


Рисунок 2.6 - Зависимость безразмерной величины ψ от перепада давления

Согласно уравнению (19) массовый расход газа линейно зависит от давления. Зависимость расхода от давления для кранового пневмораспределителя показана на рисунке 2.7.

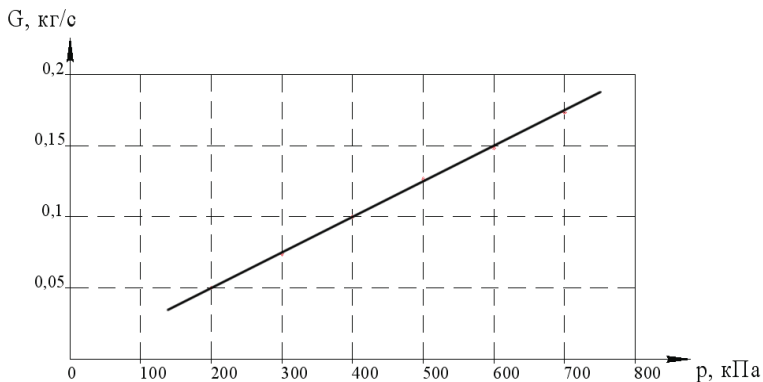


Рисунок 2.7 – Зависимость $G(p)$ для кранового пневмораспределителя

Уравнение движения пневмодвигателя (пневмоцилиндра)

$$m_{np} \frac{dV}{dt} = p_{nop} \cdot S_{nop} - p_{umt} \cdot S_{umt} - F_{вн.н} - \Lambda \cdot V - F_{mp} \cdot \text{sign}(V), \quad (22)$$

где S_{nop} , S_{umt} – соответственно эффективная площадь поршневой и штоковой полостей пневмоцилиндра; p_{nop} , p_{umt} – давление воздуха соответственно в поршневой и штоковой полости пневмоцилиндра; V – скорость движения перемещаемой массы газа; Λ – коэффициент вязкостного трения; F_{mp} – суммарная сила трения в подвижных соединениях; $F_{вн.н}$ – внешняя нагрузка; m_{np} – приведенная масса подвижных частей привода.

Параметр «время – сечение» кранового пневмораспределителя (S) определим

$$dS = f(\varphi) \cdot \frac{d\varphi}{dt} \cdot dt = f(\varphi) \cdot d\varphi, \quad (23)$$

где $f(\varphi)$ – площадь открытия окна со стороны впускного канала по углу поворота крана пневмораспределителя, $\varphi(t)$ – угол поворота крана по времени.

Среднее значение параметра «время – сечение» (S_{cp}) за весь промежуток времени работы кранового пневмораспределителя в течение рабочего цикла [83, 92]:

$$S_{\text{ср.}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} dS}{t_2 - t_1} = \frac{\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f(\varphi) d\varphi}{t_2 - t_1}; \quad (24)$$

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела:

$$M_{\text{ин}} \cdot \beta = M, \quad (25)$$

где момент инерции вращающегося тела:

$$M_{\text{ин}} = \int r_{\text{ос}}^2 dm; \quad (26)$$

проекция угловой скорости:

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}; \quad (27)$$

M – алгебраическая сумма моментов внешних сил. Тогда из (24) найдем уравнение закона вращения кранового пневматического распределителя

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} \int r_{\text{ос}}^2 dm = F_{\text{давкл}} + F_{\text{тр}} + F_{\text{реакц}}, \quad (28)$$

где радиальная сила давления:

$$F_{\text{давкл}} = \left[\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\pi \cdot r_f^2}{360} d\varphi - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f d\varphi \right] \cdot p; \quad (29)$$

сила трения:

$$F_{\text{тр}} = \zeta \cdot F_{\text{давкл}} \cdot S_{\text{нов}}; \quad (30)$$

сила реакции опоры:

$$F_{\text{реакц}} = mg; \quad (31)$$

ζ – коэффициент трения качения; $S_{\text{нов}}$ – площадь поверхности золотника пневмораспределителя; r_f – радиус впускного канала; m – масса подвижных частей пневмораспределителя.

2.4 Расчет параметров предлагаемой системы

Согласно математической модели, была разработана методика расчета, по которой произведен расчет основных параметров кранового пневмораспределителя с приводом от шагового электрического двигателя. [87]. Методика представлена на рисунке 2.8 в виде блок-схемы основных этапов

расчета технологических параметров. Весь расчет был произведен в автоматизированном режиме [57, 88], его результаты приведены в приложении А.

Входными данными (блок 1) для расчета являются:

а) для расчета параметров необходимого электрического шагового двигателя: L_A - собственная индуктивность фазы А; L_B - собственная индуктивность фазы В; L – индуктивность ротора; L_0 – индуктивность ротора; M - взаимная индуктивность; n – число пар полюсов шагового двигателя; i_A – ток в обмотке А; i_B - ток в обмотке В; J – момент инерции ротора; λ – угол между обмотками статора; φ – угловое положение ротора; U – напряжение источника питания; D – коэффициент вязкого трения;

б) для расчета пневмораспределителя: P – давление газа; μ – коэффициент расхода через распределитель; ψ – функция, зависящая от режима течения газа; f - площадь открытия окна со стороны впускного канала; T – температура газа; m – масса подвижных частей пневмораспределителя.

В блоке 2 задаем начальные значения угловой скорости шагового двигателя и угла поворота золотника.

В блоках 3 и 4 рассчитываем параметры электрического реактивного шагового двигателя. Электромагнитный момент создаваемый i_A и i_B :

$$\tau = \frac{1}{2} i_A^2 \cdot \frac{dL_A}{d\varphi} + \frac{1}{2} i_B^2 \cdot \frac{dL_B}{d\varphi} + i_A i_B \frac{dM_{AB}}{d\varphi} = \left[i_A^2 n L \sin 2n\varphi + i_B^2 n L \sin 2n(\varphi - \lambda) + 2i_A i_B n M \sin 2n\left(\varphi - \frac{\lambda}{2}\right) \right]; \quad (32)$$

Угловое перемещение ротора шагового двигателя:

$$\omega = \sqrt{\frac{4n^2 I_0^2 (M + L \cos n\lambda)}{J}}; \quad (33)$$

При разработке математической модели кранового пневматического распределителя (КПР) рассматривается установившийся режим, при условии неразрывности потока (18).

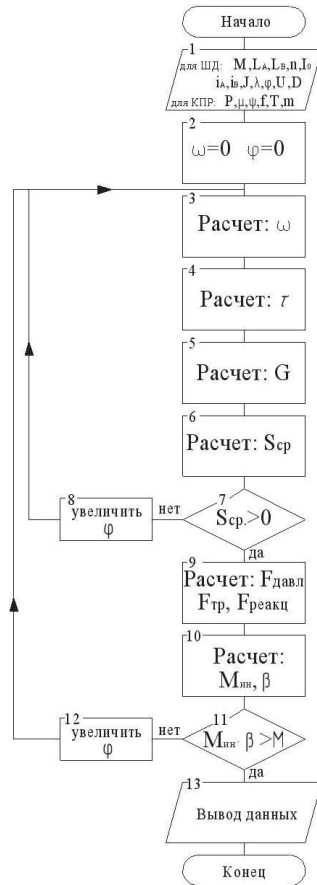


Рисунок 2.8 – Алгоритм расчета параметров кранового пневмораспределителя с приводом от шагового электрического двигателя на основе математической модели пневматического привода

В связи с допущением (18) в блоке 5 рассчитывается расход газа через крановый пневмораспределитель, по выражению (19):

$$G = \mu \cdot f \cdot \psi \cdot P \cdot \varphi \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT}};$$

В блоке 6 рассчитывается среднее значение параметра «время – сечение» ($S_{cp.}$) за весь промежуток времени работы кранового пневмораспределителя в течение рабочего цикла, по (24):

$$S_{cp.} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} dS}{t_2 - t_1} = \frac{\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f(\varphi) d\varphi}{t_2 - t_1},$$

где S - «время – сечение» кранового пневмораспределителя, (23):

$$dS = f(\varphi) \cdot \frac{d\varphi}{dt} \cdot dt = f(\varphi) \cdot d\varphi,$$

где $f(\varphi)$ - площадь открытия окна со стороны впускного канала по углу поворота крана, $\varphi(t)$ - угол поворота крана по времени.

В блоке 9 определяются силы влияющие на движение кранового пневмораспределителя:

Радиальная сила давления, (29):

$$F_{\text{давл}} = \left[\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\pi \cdot r_f^2}{360} d\varphi - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f d\varphi \right] \cdot p,$$

где r_f – радиус впускного канала;

Сила трения, (30):

$$F_{\text{тр}} = \zeta \cdot F_{\text{давл}} \cdot S_{\text{нов}},$$

где ζ – коэффициент трения качения; $S_{\text{нов}}$ – площадь поверхности крана пневмораспределителя.

Сила реакции опоры, (31):

$$F_{\text{реакц}} = mg,$$

где m – масса подвижных частей пневмораспределителя.

В блоке 10 в соответствии с основным уравнением динамики вращательного движения твердого тела, (26):

$$M_{\text{ин}} \cdot \beta = M,$$

где $M_{\text{ин}} = \int r_{\text{ов}}^2 dm$, $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$;

Определим закон вращения кранового пневматического распределителя, (28):

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \int r_{де}^2 dm = F_{двз} + F_{пр} + F_{реакц}.$$

Блоки 11 и 12 – блок проверки момента вращения крана и команда увеличения угла поворота для шагового двигателя соответственно.

2.5 Выводы

1. Шаговые двигатели могут быть применены в качестве приводов направляющей и регулирующей аппаратуры (КПР).

2. Крановые распределители по сравнению с золотниковыми распределителями имеют отличия в рабочих характеристиках: большая степень открытия рабочих окон, и как следствие, ничем не уступающая характеристика быстрогодействия; благодаря регулированию (дресселирование потока) возможны «средние» (промежуточные) режимы работы пневмоприводов; точность достижима путем включения в работу оппозитных пневмораспределителей по дифференциально-разностному принципу.

3. В качестве уплотняющих элементов в КПР возможно применение магнитной жидкости с возбуждением от постоянного магнита.

4. Создан регулятор давления рабочего газа кранового типа с приводом от электрического шагового двигателя и обратной связью через датчик давления пьезоэлектрического типа.

Глава 3 Разработка управляющих программ АСУ пневматического привода на основе нечеткого регулятора

3.1 Разработка структуры нечеткого регулятора для управления пневматическим приводом

Для управления пневматическим приводом в процессе погрузочно-разгрузочных операций для обеспечения основного технологического процесса можно применить методы нечеткого вывода, которые широко используются в разработке нечетких регуляторов. Основное назначение регулятора – это управление внешним объектом, при котором поведение управляемого объекта описывается нечеткими правилами [30, 31, 65]. Регуляторы нечеткой логики – наиболее важное приложение теории нечетких множеств. Их функционирование отличается от работы обычных контроллеров тем, что для описания системы используются знания экспертов вместо дифференциальных уравнений.

АСУ пневматического привода на основе нечеткого регулятора должно опираться на базу знаний, содержащую нечеткие фреймы (правила). Формирование этой базы осуществляется на основе знаний экспертов или методе прямых измерений с помощью контрольной аппаратуры.

Построение системы адаптивного управления на основе аппарата нечеткой логики позволяет упростить элементы структуры системы, а также наделяет дискретный по своей сути метод управления некоторыми непрерывными свойствами, что должно повысить качество управления и сократить объем базы знаний.

Нечеткая логика позволяет ввести в систему адаптивного управления определенную общеизвестную (априорную) информацию об объекте в виде нечетких фреймов управления, близость формы к естественному языку позволяет без особого труда получать необходимые знания у экспертов. Априорная информация обеспечивает одно из основных начальных условий

системы, построенной по методу адаптивного управления, – условие максимальной начальной приспособленности.

Систему управления пневматическим приводом на основе нечеткого регулятора можно представить в виде схемы, показанной на рисунке 2.3.

В систему входят следующие элементы: блок задания параметров режимов работы приводов, база данных программ задания режимов работы пневмоприводов, блок обучения, база знаний нечетких фреймов управления, блок формирования программ управления, блок ЧПУ, пневматическая система (объект управления - пневматический привод, распределители, блок подготовки воздуха, датчики по положению).

Начальный этап работы с АСУ пневматического привода начинается с создания базы знаний нечетких фреймов управления, на основе которых производится создание управляющей программы.

На этапе задания параметров режимов работы приводов оператор задает экспертным путем режимы работы - характеристическую методологию работы привода на основе элементарных программ управления.

Далее на основе характеристической методологии оператор создает последовательности изменения интересующих параметров от времени. Таким образом формируется первоначальная программа управления, которая записывается в блок «база данных программ задания режимов работы пневмоприводов». В этой многоуровневой базе данных происходит последовательное преобразование входных параметров режимов работы в управляющие воздействия посредством нечеткого регулятора, который расположен в блоке «блок формирования программ управления».

Для получения выходных величин нечеткий регулятор использует лингвистические переменные и нечеткие фреймы, которые расположены в блоке «база знаний». В результате формируется последовательность управляющих параметров, которая сохраняется в «базе данных программ задания режимов работы пневмоприводов». На основе полученных данных «блок ЧПУ» проводит непосредственное управление шаговыми двигателями

пневматических крановых распределителей и блоком подготовки воздуха. Основные параметры это углы поворота шаговых двигателей (для распределителей) и расход газа в зависимости от внешней нагрузки (для блока подготовки воздуха).

Во время работы пневмодвигателей с помощью магнестрикционных датчиков обратной связи (измерителей пути) получаем информацию о текущем положении объекта, каждая точка измерителя пути (в зависимости от точности лежит в диапазоне 1-100 мкм) показывает степень изменения параметров двух распределителей, отвечающих за работу одного пневмодвигателя.

Для предотвращения аварийных ситуаций, например при коротком замыкании или при росте давления и отказе предохранительных клапанов, данные с датчиков также напрямую поступают в «блок ЧПУ», чтобы оперативно отключить привод.

«Блок обучения» получает информацию с датчиков в режиме обратной связи. Это необходимо для того, чтобы реализовать адаптивный принцип управления, а также заполнить базу знаний, на основе которой формируются управляющие фреймы.

3.2 База знаний нечеткого регулятора

Важнейшим компонентом любой интеллектуальной системы является база знаний. База знаний представляет собой структуру, содержащая совокупность фактов, правил или фреймов (описание объекта в виде атрибутов и их значений) вывода, допускающих логический вывод и осмысленную обработку информации [19].

Данная база состоит из трех уровней и представлена на рисунке 3.1.

На первом уровне располагаются лингвистические переменные. Эти переменные составляются оператором на этапе формирования программы управления под определенный тип пневмопривода, исходя из задачи его работы. по осуществлению погрузочно-разгрузочных операций или выполнения функций слежения. Они должны включать в себя параметры, на

основе которых можно управлять и задавать режимы работы. Лингвистические переменные заполняются экспертами данной области и методами прямых измерений. На этом уровне определяется базовый диапазон и число нечетких меток на нем, а также тип функции принадлежности. Количество нечетких меток зависит от точности управления. Чем их больше, тем точнее управление, но при этом увеличивается время заполнения базы знаний. На данном уровне также располагаются синтаксические и семантические правила лингвистических переменных [34].



Рисунок 3.1 - База знаний нечеткого регулятора и методы ее заполнения

На втором уровне применены нечеткие фреймы управления, применяемые для преобразования задаваемых параметров в управляющие. Фреймы состояются из лингвистических переменных, определенных на уровне выше. Также они могут задаваться экспертами, методом прямых измерений или при помощи интеллектуальных подходов, например самообучающейся нейронной сети. Во втором случае происходит полная автоматизация процесса заполнения знаниями данного уровня. На этом уровне также располагаются семантические правила, которые определяют влияние лингвистических переменных друг на друга.

На третьем уровне располагаются векторы приоритетов, предназначенные для ранжирования характеристик. Векторы приоритетов состоят из задаваемых параметров. На их основе можно задать определенный особый режим работы привода, а также они помогают преодолеть срединный отрезок магнитопровода датчика, это необходимо чтобы привод не остановился в данной точке. Данный уровень задается методом экспертных оценок.

Важную роль в работе базы знаний играет обратная связь. Она применяется не только для фиксации результатов и корректировки управляющих воздействий, но и для заполнения базы знаний при помощи метода прецедентов.

3.2.1 Формирование базы знаний на основе метода прецедентов

Получение выходных данных на основе прецедентов – это метод принятия решений, в котором используются знания о предыдущих фактах, ситуациях или случаях (прецедентах). При рассмотрении новой проблемы (текущего случая) отыскивается похожий прецедент в качестве аналога. Вместо того чтобы искать решение каждый раз сначала, можно попытаться использовать решение, принятое в сходной ситуации, возможно, адаптировав его к изменившейся ситуации текущего случая. После того как текущий случай будет обработан, он вносится в базу прецедентов вместе со своим решением для его возможного последующего использования в будущем [34, 71].

Прецедент включает в себя:

- описание задачи операции работы пневмопривода;
- решение задачи;
- выходной результат применения решения.

Описание задачи должно содержать всю информацию, необходимую для достижения цели получения оптимальных выходных данных (выбора наиболее подходящего решения).

Основные требования к нахождению решения задачи - оптимальность по времени нахождения наиболее точного решения.

Описание выходного результата содержит угол поворота управляющих шаговых двигателей распределителей и необходимые значения давления и расхода в определенный момент времени для каждой точки магнитопровода датчика обратной связи с целью фиксации при достижении заданной точки или продолжения движения. Описание результата может также включать ссылки на другие прецеденты, дополнительную текстовую информацию.

Метод прецедентов включает в себя следующие этапы [34]:

- 1) извлечение наиболее релевантных прецедентов для текущего случая из библиотеки прецедентов;
- 2) адаптацию выбранного решения для текущего случая, если это необходимо;
- 3) применение решения;
- 4) оценку применения (проверку корректности);
- 5) сохранение, добавление текущего случая в базу прецедентов.

В рассмотрим заполнение базы знаний таких фреймов можно составить базу знаний для режима работы пневмопривода. В данном случае управляющий фрейм будет выглядеть следующим образом:

$$\text{ЕСЛИ } L_i \text{ ТО } \alpha_{1i} \text{ И } \alpha_{2j}; \quad (34)$$

где L – это линейная длина измерительного элемента, - волновода (магнитопровода) датчика измерителя пути, ее конкретное значение показывает соответствующую необходимую точку;

α_{1i} - угол поворота ШД первого распределителя;

α_{2j} - угол поворота ШД второго распределителя.

На основе таких фреймов можно составить базу знаний для режима работы пневмопривода. при движении пневматического привода от одной крайней точки до фиксации в некоторой промежуточной точке, то есть до точки с фиксированным значением L_0 , то есть не происходит дальнейшего изменения параметров α_{1i} и α_{2j} . Тогда базу режимов с фиксацией в некоторой точке можно представить следующим образом:

$$\text{ЕСЛИ } L_0 \text{ ТО } \alpha_{1i} \text{ И } \alpha_{2j}; \quad (35)$$

Заполнение значений не фиксированных точек L_n происходит с использованием прецедентов.

Предположим, что движение привода происходит слева направо ($L_{\text{sign}(+)}$) начиная с крайней точки, тогда управляющий фрейм будет выглядеть так:

$$\text{ЕСЛИ } L_{\text{sign}(x+n)} \text{ ТО } \alpha_{1x} \text{ И } \alpha_{2x}; \quad (36)$$

где $L_{\text{sign}(x+n)}$ - лингвистическая переменная длины магнитопровода датчика показывающая характер направления. определяется как разница между двумя значениями двух последних пройденных точек магнитопровода:

$$L_{\text{sign}(x+n)} = a_i + a_{(i+1)};$$

α_{1X} - неизвестное увеличение угла поворота ШД первого распределителя;

α_{2X} - неизвестное увеличение угла поворота ШД второго распределителя.

Для заполнения данного правила (а именно движения слева направо) ищем ближайший прецедент, им является фрейм:

$$\text{ЕСЛИ } L_{\text{sign}(x+1)} \text{ ТО } \alpha_{1k+2} \text{ И } \alpha_{2m+1}; \quad (37)$$

где α_{1k+2} - фиксированное увеличение угла поворота ШД первого распределителя с большим шагом;

α_{2m+1} - фиксированное увеличение угла поворота ШД второго распределителя с меньшим шагом.

На этой основе создаем два управляющих фрейма-прецедента:

$$\text{ЕСЛИ } L_{\text{sign}(x+1)} \text{ ТО } \alpha_{1k+2} \text{ И } \alpha_{2m+1}; \quad (38)$$

$$\text{ЕСЛИ } L_{\text{sign}(x-1)} \text{ ТО } \alpha_{1m+1} \text{ И } \alpha_{2m+2}. \quad (39)$$

Первый фрейм показывает увеличение параметра L (движение слева направо), второй фрейм показывает уменьшение параметра L (движение справа налево). Для обоих фреймов справедливо нарастание изменения параметра $L_{\text{sign}(x+n)}$, для (38) - в сторону увеличения значения ближайшей нечеткой метки, для (39) - в сторону уменьшения значения ближайшей нечеткой метки.

Создание базы знаний на основе фреймов-прецедентов (35), (38), (39) позволяет настраивать пневмопривод под разные задачи по осуществлению погрузочно-разгрузочных операций.

3.3 Этапы создания управляющих программ пневмопривода на основе нечеткой логики

Процесс создания управляющих программ пневмопривода на основе нечеткой логики представляет собой следующую последовательность этапов, представленных на рисунке 3.2.

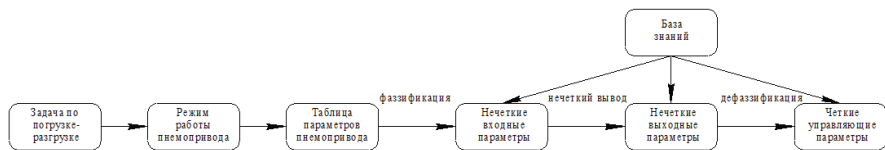


Рисунок 3.2 - Этапы создания управляющих программ пневмопривода на основе нечеткой логики

Верхний уровень представляет собой руководство инженера-технолога по задаче осуществления погрузочно-разгрузочных операций для поддержки определенного технологического процесса.

Следующий этап - выбор необходимого режима работы пневмопривода, основные показатели для осуществления выбора - нагрузка, точность позиционирования, быстродействие и, возможно, функция слежения.

Третий шаг - преобразование показателей режимов в конкретные числовые значения параметров элементов системы управления пневмопривода, с приращением, в зависимости от данных с датчиков.

Четвертый этап - фаззификация, то есть преобразование четких экспериментальных значений входных переменных в нечеткие с использованием лингвистического описания параметров (L, α_1, α_2). На основе лингвистических переменных формируем нечеткие фреймы управления:

ЕСЛИ L ТО α_1 И α_2 .

А затем на основе полученных фреймов формируется база знаний.

Заключительный этап – дефаззификация, то есть приведение нечетких фреймов управления реальным управляющим командам, которые записываются и хранятся в базе данных программ задания режимов работы пневмоприводов.

3.4 Получение лингвистических переменных

Построение систем нечеткого вывода основано на понятии лингвистической переменной:

$$\langle X, U, FL(x), Stx(x), Sem(x) \rangle, \quad (40)$$

где X – название конкретного параметра;

U – базовое множество диапазона значений параметров;

$FL(x)$ – множество нечетких переменных (нечеткие метки), областью определения каждой из которых является множество x ;

$Stx(x)$ – синтаксические правила формирования команд управления, позволяет оперировать элементами множества $FL(x)$, в частности, генерировать новые значения;

$Sem(x)$ – семантические правила, позволяющие превратить каждое новое значение лингвистической переменной, образуемое процедурой $Stx(x)$, в нечеткую переменную, т. е. сформировать соответствующее нечеткое множество [34].

В качестве X выбираются все управляющие и задающие параметры: L - линейная длина измерительного элемента, - волновода, датчика измерителя пути, α_{1i} - это угол поворота ШД первого распределителя и α_{2j} - это угол поворота ШД второго распределителя.

Базовым множеством U является диапазон возможных значений X . Данные параметры зависят от характеристик объекта управления. Базовые значения лингвистических переменных, для пневмопривода показаны в таблице 3.1.

На базовом множестве располагаются нечеткие метки $FL(x)$. Связь между базовым множеством параметров U и нечеткими метками $FL(x)$ осуществляется при помощи функций принадлежности [34, 62, 66]. В любой ситуации признак объекта проблемной области имеет одно и только одно четкое значение из согласованного множества базовых и одно или более чем одно нечеткое значение из соответствующего множества нечетких значений. Отношение между базовым и нечетким значением объектной переменной выражается количественно с помощью функции принадлежности (μ). Функция $\mu(x, FL)$ отображает базовое значение x и нечеткое значение FL в интервале $[0;1]$. По определению: $0 < \mu(x, FL) < 1$.

Таблица 3.1. Таблица параметров L, α_1 , α_2 .

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L, м | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,1 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,2 |
| α_1 , град | 12,5 | 12 | 11,5 | 11 | 10,5 | 10 | 9,5 | 9 | 8,5 | 8 | 7,5 | 7 | 6,5 | 6 | 5,5 | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 |
| α_2 , град | 0 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 | 7,5 | 8 | 8,5 | 9 | 9,5 | 10 | 10,5 | 11 | 11,5 | 12 | 12,5 |

Совместное рассмотрение лингвистических переменных L, α_1 , α_2 лучше всего описывается треугольными (для L) и гауссовыми (для α_1 , α_2) функциями принадлежности.

В аналитическом виде треугольная функция принадлежности может быть задана следующим образом:

$$f(x,a,b,c) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 0, & x > c, \end{cases}, \quad (41)$$

где x – базовое значение; b – нечеткая метка, соответствующая вершине распределения; a – левая граница функции принадлежности; c – правая граница функции принадлежности.

Графический вид треугольной ФП представлен на рисунке 3.3.

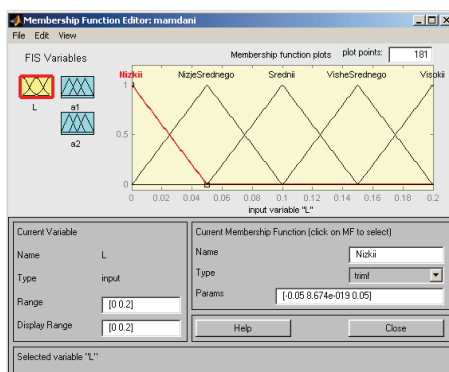


Рисунок 3.3 - Треугольная функция принадлежности

В аналитическом виде симметричная Гауссова функция принадлежности может быть задана следующим образом:

$$f(x, \sigma, b) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2\sigma^2}}, \quad (42)$$

где b – координата максимума функции принадлежности; σ – коэффициент концентрации функции принадлежности.

Графический вид функции принадлежности распределения Гаусса представлен на рисунке 3.4.

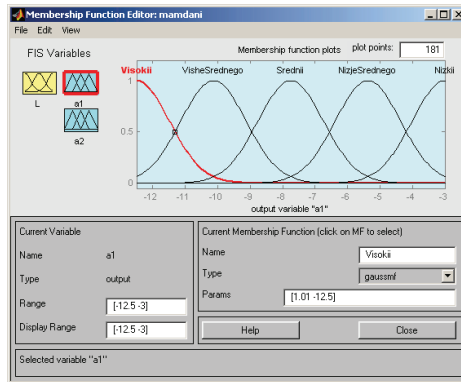


Рисунок 3.4 - Функция распределения Гаусса

При составлении $FL(x)$ необходимо определиться с количеством нечетких меток. Чем их больше, тем точнее проводится управление, но при этом возрастает размерность базы знаний, что ведет к увеличению времени ее заполнения.

В первую очередь определяются лингвистические переменные, которыми можно управлять и, соответственно, точно знать их значение во время проведения эксперимента. Такой лингвистической переменной является положение движущегося элемента привода над магнитным волноводом датчика измерителя пути L . Для получения необходимой точности базовое значение этого параметра разбиваем на 21 нечеткую метку (0; 0,01; 0,02; 0,03; ...; 0,2 м).

Другие характеристики напрямую зависят от L и, соответственно также разбиваются на 21 точку.

Для нахождения лингвистических переменных α_{1i} и α_{2j} были проведены экспериментальные исследования, результат которых приведен в таблице 3.1 и на основе полученных данных создаются соответствующие лингвистические переменные.

На данные лингвистические переменные накладываются синтаксические и семантические правила $Stx(x)$ и $Sem(x)$. Синтаксические правила определяют порядок составления базовых значений относительно времени. Семантические правила, в свою очередь, определяют влияние лингвистических переменных друг на друга.

3.5 Формирование базы знаний управляющих фреймов

Согласно теории нечеткой логики для формирования структуры нечеткого управления необходимо определиться с количеством измеряемых величин и управляющим параметром, на основе которых образуются нечеткие множества, и с числом лингвистических переменных в каждом нечетком множестве [32, 33, 34].

Формируемая на основе лингвистических переменных база знаний нечеткого регулятора для управления пневмоприводом будет включать последовательность вариантов входных нечетких меток и соответствующих им выходов. Она может быть представлена в следующем виде [91]:

ЕСЛИ $L_{\text{низ}}$. ТО $\alpha_{1\text{выс}}$. И $\alpha_{2\text{низ}}$.

ЕСЛИ $L_{\text{ниже сред}}$. ТО $\alpha_{1\text{выше сред}}$. И $\alpha_{2\text{ниже сред}}$.

ЕСЛИ $L_{\text{сред}}$. ТО $\alpha_{1\text{сред}}$. И $\alpha_{2\text{сред}}$.

ЕСЛИ $L_{\text{выше сред}}$. ТО $\alpha_{1\text{ниже сред}}$. И $\alpha_{2\text{выше сред}}$.

ЕСЛИ $L_{\text{выс}}$. ТО $\alpha_{1\text{низ}}$. И $\alpha_{2\text{высок}}$.

На основе лингвистических переменных формируем нечеткие фреймы управления:

ЕСЛИ L ТО α_1 И α_2 ,

где L - лингвистическая переменная, характеризующая положение выходного звена ПЦ над волноводом датчика измерителя пути;

α_1 - лингвистическая переменная, характеризующая угол поворота ШД первого распределителя;

α_2 - лингвистическая переменная, характеризующая угол поворота ШД второго распределителя.

А затем на основе полученных фреймов формируется второй уровень базы знаний, который имеет следующий вид:

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| ЕСЛИ 0 ТО 12,5 И 0; | ЕСЛИ 0,11 ТО 7 И 8; |
| ЕСЛИ 0,01 ТО 12 И 3; | ЕСЛИ 0,12 ТО 6,5 И 8,5; |
| ЕСЛИ 0,02 ТО 11,5 И 3,5; | ЕСЛИ 0,13 ТО 6 И 9; |
| ЕСЛИ 0,03 ТО 11 И 4; | ЕСЛИ 0,14 ТО 5,5 И 9,5; |
| ЕСЛИ 0,04 ТО 10,5 И 4,5; | ЕСЛИ 0,15 ТО 5 И 10; |
| ЕСЛИ 0,05 ТО 10 И 5; | ЕСЛИ 0,16 ТО 4,5 И 10,5; |
| ЕСЛИ 0,06 ТО 9,5 И 5,5; | ЕСЛИ 0,17 ТО 4 И 11; |
| ЕСЛИ 0,07 ТО 9 И 6; | ЕСЛИ 0,18 ТО 3,5 И 11,5; |
| ЕСЛИ 0,08 ТО 8,5 И 6,5; | ЕСЛИ 0,19 ТО 3 И 12; |
| ЕСЛИ 0,09 ТО 8 И 7; | ЕСЛИ 0,2 ТО 0 И 12,5. |
| ЕСЛИ 0,1 ТО 7,5 И 7,5; | |

Применив к данным фреймам нечеткий вывод, можно описать рабочее состояние пневмопривода в любой момент времени.

3.6. Четкий вывод на основе алгоритма Мамдани

На основе базы нечетких фреймов и функций принадлежности интеллектуальная система осуществляет логический вывод, то есть получение четких значений (дефаззификация) которые будут учитываться в командах управления приводом.

Проведем дефаззификацию по методу Мамдани [94].

Выходная переменная относительно одной лингвистической переменной определяется:

$$y_{x_i} = \sum a_i \cdot \mu_{x_i}(a_i), \quad (43)$$

где x - четкое значение переменной A ;

y_{xi} - выходная переменная y относительно лингвистической переменной A ;

a_{xi} - нечеткие метки, принадлежащие лингвистической переменной A ;

$\mu_x(a_{xi})$ - принадлежность переменной x к соответствующей нечеткой метке.

Тогда выходные данные для α_1, α_2 , запишем

$$\begin{cases} y_{\alpha 1} = \sum a_{\alpha 1} \cdot \mu_{\alpha 1}(a_{\alpha 1}) \\ y_{\alpha 2} = \sum a_{\alpha 2} \cdot \mu_{\alpha 2}(a_{\alpha 2}) \end{cases}, \quad (44)$$

или

$$\begin{cases} y_{\alpha 1} = a_{\alpha 1 \text{ выс.}} \cdot \mu_{\alpha 1 \text{ выс.}} + a_{\alpha 1 \text{ вышесред.}} \cdot \mu_{\alpha 1 \text{ вышесред.}} + a_{\alpha 1 \text{ сред.}} \cdot \mu_{\alpha 1 \text{ сред.}} + a_{\alpha 1 \text{ низсред.}} \cdot \mu_{\alpha 1 \text{ низсред.}} + a_{\alpha 1 \text{ низ.}} \cdot \mu_{\alpha 1 \text{ низ.}} \\ y_{\alpha 2} = a_{\alpha 2 \text{ выс.}} \cdot \mu_{\alpha 2 \text{ выс.}} + a_{\alpha 2 \text{ вышесред.}} \cdot \mu_{\alpha 2 \text{ вышесред.}} + a_{\alpha 2 \text{ сред.}} \cdot \mu_{\alpha 2 \text{ сред.}} + a_{\alpha 2 \text{ низсред.}} \cdot \mu_{\alpha 2 \text{ низсред.}} + a_{\alpha 2 \text{ низ.}} \cdot \mu_{\alpha 2 \text{ низ.}} \end{cases}$$

Таким образом, четкий вывод будет рассчитываться как сумма произведений переменных с добавлением дополнительной метки направления:

$$y = \sum_{i=1}^n y_{xi} \cdot \text{sign}(y), \quad (45)$$

где y – четкое выходной значение;

y_{xi} – выходная переменная относительно соответствующей лингвистической переменной;

n – количество лингвистических переменных;

$\text{sign}(y)$ – метка сигнатуры направления движения, определяется по приращению относительно двух точек пройденных пневмодвигателем.

Метка сигнатуры направления необходима для преодоления точки равновесия α_1 и α_2 , а также она применяется для записи сопутствующих физических данных.

В дальнейшем значение y учитывается в командах управления.

3.7. Разработка программы анализа и управления

Для того, что обеспечить приведение формального нечеткого описания, необходим, так называемый, нечеткий регулятор. Который представляет собой программный модуль, преобразующий нечеткие фреймы в управляющие команды, воспринимаемые системой с числовым программным управлением.

Для эффективной и рациональной работы такого модуля необходимо интегрировать его в САМ систему с последующей его работой с ЧПУ любого фрезерно-расточного станка.

На рисунке 3.5 показана укрупненная функциональная модель программного управления пневматическим приводом подачи заготовок для фрезерно-расточного станка на основе нечеткой логики.

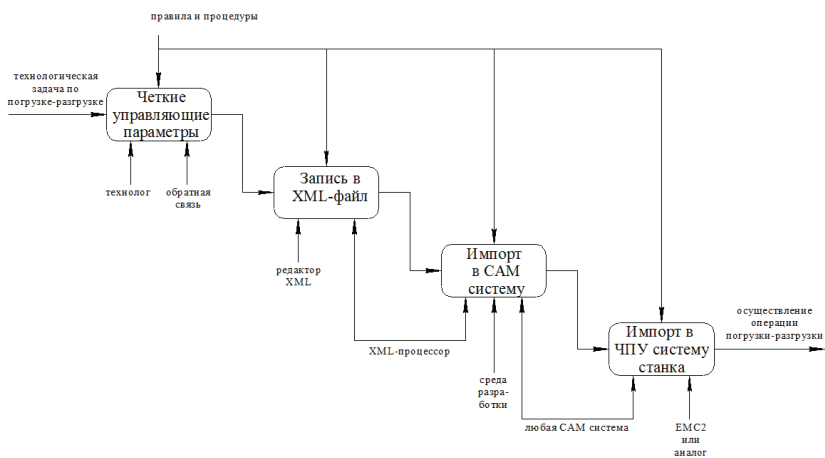


Рисунок 3.5 - Функциональная модель управления пневматическим приводом подачи фрезерно-расточного станка

САМ система предназначена для автоматизированной генерации управляющих программы для станков с ЧПУ. Для конечного пользователя очень важно использовать все возможности САМ системы на одном конкретном станке, который имеется у него в наличии, без, соответственно, подключения стороннего программного обеспечения или дорогого технологического оборудования поддержки процесса обработки.

Современные САМ системы представляют собой сложные программные комплексы со множеством подпрограмм, модулей и классов реализующих различные функциональные задачи. Основанием для работы САМ служат аппаратные языки VHDL и Verilog, а также системный и метапрограммируемый язык C++ и его библиотека SystemC.

Программы написанные на данных языках программирования, как правило, пишутся под конкретные станок и задачу обработки. Поэтому если возникает необходимость изменения каких-либо технологических параметров, или добавления новых типов станка в САМ систему то, возникает необходимость долгого и сложного процесса программирования на соответствующих языках. Облегчить эту задачу позволяет спецификация XML. Это расширяемый язык программирования, позволяющий создавать код в соответствии с потребностями к конкретной области, будучи ограниченным лишь синтаксическими правилами языка. Этот код записывается в XML-файл .

В нашем случае, XML-файл имеет сложную структуру, в нем, помимо результатов процесса дефазификации нечеткого вывода переведенных в управляющие команды, описываются параметры и кинематические схемы фрезерно-расточного станка и пневмопривода подачи. В свою очередь XML-файл считывается и исполняется событийным XML-процессором (парсер), который должен быть установлен в САМ системе. По сути парсер представляет собой программу, анализирующую написанный или сгенерированный код в файле определенной структуры, и, передающую код исполняющей программе или приложению.

В состав парсера анализа нечеткой логики пневмоприводов фрезерного станка для САМ входят следующие классы:

- MainClass – основной класс, содержащий объекты расчета, анализа и менеджера файлов. Пользователь через пользовательский интерфейс САМ системы будет взаимодействовать с этим классом;
- FileManager – список файлов. Класс содержит множество объектов класса File. Позволяет удалять файлы, создавать новые и осуществлять выбор;
- File – абстрактный файл;
- Translator – класс транслятора, входит в состав САМ системы. Считывает данные сформированного XML файла, и построчно переводит его содержимое в G-код или, если это необходимо, на язык электроавтоматики;
- TransformManager – класс, предназначенный для загрузки трансформаций из записей XML файла, их оптимизации и сохранения в XML файл;

- ClassType – класс, описывающий запись в XML файле. Имеет ссылки на дочерний и соседний элементы;
- XMLFile – класс наследник от класса File. Содержит список объектов ClassType;
- Logging – это объект, который отвечает за протоколирование. Объект имеет метод добавления события, который записывает передаваемую строку и время события в файл лога.

Иерархия классов представлена на рисунке 3.6.

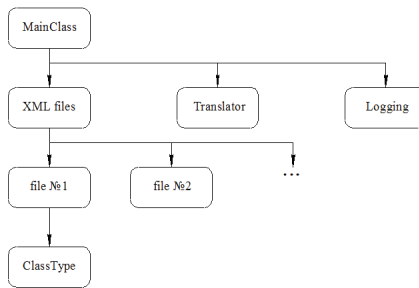


Рисунок 3.6 - Архитектура классов

XML файл, описывающий рабочие характеристики и режим работы пневмопривода подачи станка состоит из древовидного набора записей (ClassType). Он имеет иерархическую структуру. Был создан класс ClassType – запись XML файла. При чтении файла система строит дерево объектов этого класса. Таким образом, при загрузке файла строится деревья его записей. Вся дальнейшая работа ведётся с этим деревом. При необходимости по этому дереву может быть сгенерирован XML файл. Для интеграции, а следовательно, и ускорения работы с САМ станка, данный класс описания работы пневматического привода записывается в общий XML файл станка, а не подгружается отдельно либо же по ссылке.

Каждый ClassType имеет вид, представленный на рисунке 3.7.

```
<ClassType ID="RightStepMotor"Caption="R"type="Double"DefaultValue="10"Enabled="True" />
```

Рисунок 3.7 – Типовая запись XML файла

Где:

ID – уникальный идентификатор записи;

Caption – описание записи (может быть опущено);

Type – тип записи. Существуют несколько базовых типов:

- String – строка;
- Double – число с плавающей запятой;
- Array – массив записей;
- Complex – сложный тип, обозначающий наличие дочерних узлов;
- Enumerated – перечисление. Имеет дочерние элементы, только один из которых является активным.

DefaultValue – начальное значение. Может быть опущено. Для типов Array и Complex не указывается. Для типа Enumerated здесь указывается ID дочернего узла, являющегося на данный момент активным.

Enabled – флаг активности записи.

На базе представленных базовых типов выстраиваются комплексные основные типы. На рисунке 3.8 приведён пример основного типа.

```
<ClassType ID="PneumoProperties" type="ComplexType">  
  <ClassType ID="LeftStepMotor"Caption="L" type="Double"DefaultValue="30"Enabled="True" />  
  <ClassType ID="Feedback"Caption="FB" type="Double"DefaultValue="0.12"Enabled="False" />  
  <ClassType ID="RightStepMotor"Caption="R" type="Double"DefaultValue="28"Enabled="True" />  
</ClassType>
```

Рисунок 3.8 – Пример основного типа

Данный комплексный основной тип описывает параметры угла поворота шагового двигателя первого(левого) кранового пневматического распределителя до некоторого показателя от обратной связи и последующего включения второго (правого) кранового пневмораспределителя. Таким образом, осуществляется дифференциальный (разностный) принцип управления пневмоприводом.

Результат нечеткого вывода записывается в отдельный файл формата XML. Поэтому в XML файле управления пневмоприводом станка должна быть ссылка на результирующий тип этого файла, или ссылка на место хранения файла на постоянном носителе информации. Пример основного типа из файла результатов нечеткого вывода представлен на рисунке 3.9.

В качестве среды разработки была применена Geany с компилятором GCC. Выбор этой среды был обусловлен наличием необходимых библиотек и компонентов.

```
<ClassType ID="FuzzyLogicCon" type="ComplexType">
  <FLConclusion>
    <Results>
      <L DefaultValue="0.131">
        <Left DefaultValue="-6.35">
          <Right DefaultValue="9.15">
            </Results>
          <Used DefaultValue="False">
            </FLConclusion>
          </ClassType>
        </ClassType>
      </ClassType>
    </ClassType>
  </ClassType>
</ClassType>
```

Рисунок 3.9 – Пример основного типа результатов нечеткого вывода

Для более простой и понятной работе оператора с предлагаемым программным решением, а также повышения степени автоматизации с САМ существует необходимость формирования управляющих программ на основе визуальных 2D или 3D моделях как станка так и пневмопривода подачи с на основе нечеткого вывода.

3.8 Выводы

1. Применение программного модуля на основе нечеткой логики позволяет реализовать процесс управления пневматическим приводом с необходимыми показателями качества.

2. Программный модуль может быть использован для следящих режимов работы.

Глава 4 Имитационное моделирование и экспериментальные исследования

4.1 Разработка структурной схемы имитационной модели

Структурные схемы наглядно показывают взаимодействие элементов, входящих в систему. При расчете объект управления, в данном случае пневматический привод, целесообразно представить в виде структурной схемы, опираясь на конструктивные особенности основных составных элементов. Структурная схема, включает в себя параметры управляющих воздействий. Используя математическую запись модели пневматического привода, получим структурную схему, позволяющую смоделировать переходную характеристику при нагрузке выходного звена и максимальном открытии окон крановых пневмораспределителей привода [7, 23, 44].

4.1.1 Структура среды имитационного моделирования

В структуре среды имитационного моделирования можно выделить 5 функциональных модулей (рисунок 4.1) [17, 36]:

- модель привода;
- модуль графического отображения и взаимодействия визуальных блоков;
- транслятор визуальных блоков во внутреннее представление модели;
- математический аппарат, производящий численные вычисления;
- модуль взаимодействия с внешней памятью.

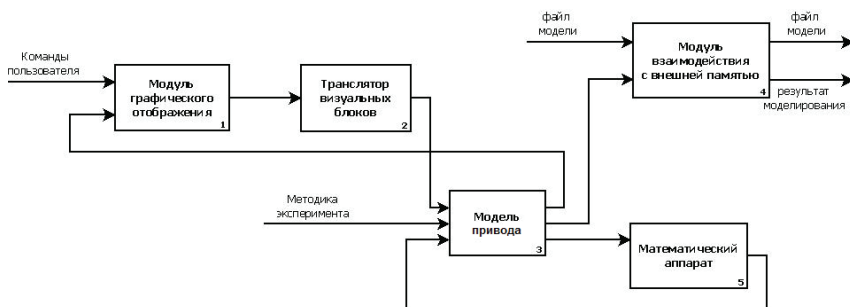


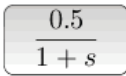


Рисунок 4.1 - Структура среды имитационного моделирования

Модель исследуемой динамической системы задается с помощью специальных графических блоков. Взаимодействие блоков между собой происходит при помощи однонаправленных линий связи. Каждый блок инкапсулирует в себе свойство того или иного физического объекта, имитируя его поведение. Для того чтобы создать имитационную модель исследуемой динамической системы, необходимо с помощью элементарных визуальных блоков и линий связи задать функциональную схему системы. В разработанной среде имитационного моделирования имитационная модель описывается при помощи графических элементов среды моделирования Scilab [45, 77]. Основные графические элементы представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Графические элементы среды моделирования Scilab

| Название элемента | Вид образа элемента | Назначение |
|-----------------------------------|---|--|
| 1. Линия связи |  | Служит для передачи сигнала от выхода одного элемента ко входу другого |
| 2. Блок "Сигнал" |  | Источник сигнала. Существуют различные виды сигналов. Имеет только выход. |
| 3. Блок "Сумматор" |  | Суммирует (вычитает) 2 сигнала. |
| 4. Блок "Сравнивающее устройство" |  | Сравнивает действительное значения регулируемой величины с её заданным значением |
| 5. Блок "Функция" |  | Преобразует входной сигнал в выходной согласно передаточной функции блока. |
| 6. Блок "Результат" |  | Служит приемником сигнала. Выводит результат. Имеет только вход. |

Линии связи соединяют между собой входы с выходами различных блоков. Стрелками указывается направление распространения сигналов; в

противоположных направлениях сигналы не распространяются. Линии связи являются идеальными, то есть никакими параметрами не обладают.

Сумматоры предназначены для суммирования сигналов, полученных из двух входов блока. Суммирование происходит с учетом знака входного сигнала: сигнал может быть положительным или отрицательным. Знак отрицательного сигнала отображается на входе, в случае положительного сигнала знак не отображается (рисунок 4.2).

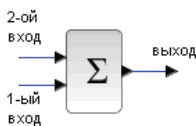


Рисунок 4.2 - Блок «Сумматор»

Блок «Сравнивающее устройство» (выявляющий элемент) имеет два входа, служит для выявления разницы между заданным и текущим значениями регулируемой величины и формирует полезный сигнал.

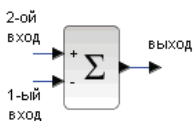


Рисунок 4.3 - Блок «Сравнивающее устройство»

Блок «Сигнал» формирует сигнал в соответствии с параметрами, заданными пользователем. Блок имеет свое символическое название (рисунок 4.4).

В качестве сигнала могут выступать четыре функции:

- единичная ступенчатая функция;
- импульсная функция;
- синусоидальная функция;
- кусочно-линейная функция.



Рисунок 4.4 Блок «Сигнал»

Объект в теории автоматического управления описывается передаточной функцией, содержащей полиномы от p произвольного порядка в числителе и знаменателе. Блок «Функция» преобразует входной сигнал в выходной согласно передаточной функции блока. Имеет один вход и один выход. Название каждого блока соответствует математической модели звена динамика которого описывается соответствующим дифференциальным уравнением представленной в виде передаточной функции (рисунок 4.5).

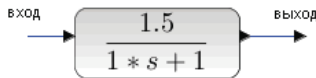


Рисунок 4.5 - Блок «Функция»

Блок «Результат» (рисунок 4.6) служит приемником сигнала, поступающего на вход. Блок позволяет отображать сигнал в виде графика зависимости уровня сигнала от времени.



Рисунок 4.6 - Блок «Результат»

Графические элементы среды моделирования Scilab имеют определенные свойства, которые являются общими для всех.

4.1.2 Внутреннее представление модели

После построения функциональной схемы исследуемой динамической системы при помощи графического языка моделирования необходимо визуальное представление модели транслировать во внутреннее представление среды имитационного моделирования. Эта задача решается в модуле транслятора. В качестве внутреннего представления используется древовидная структура. Корнем дерева является блок «результат», узлами дерева – сумматоры и блоки «функция», листьями – блоки «сигнал» (рисунок 4.7) [34].

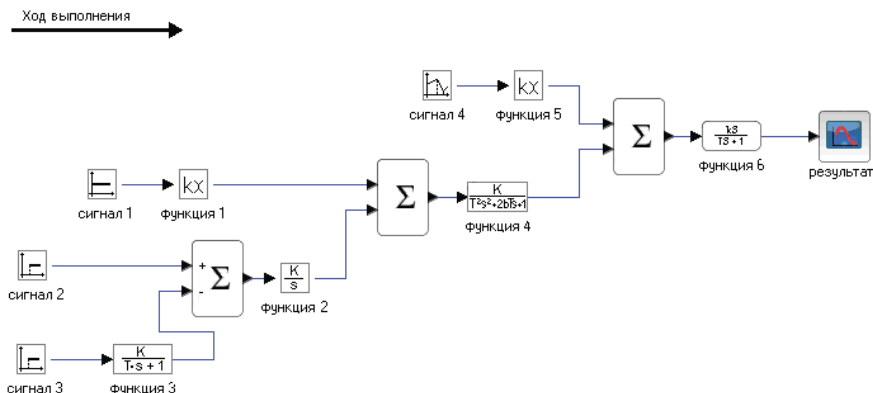


Рисунок 4.7 - Внутреннее представление модели в виде дерева

Процесс моделирования происходит снизу вверх, то есть от листьев (блоков «Сигнал») к корню (блок «Результат»).

Данные от выхода одного блока к входу другого передаются в виде двумерного массива, содержащего дискретные значения времени и значения уровня сигнала в соответствующие моменты времени. Шаг дискретизации Δt является постоянным для всей имитационной модели. Он выбирается автоматически в зависимости от продолжительности сигнала, либо задается пользователем.

4.2 Имитационное моделирование работы пневматического привода

Для выполнения имитационного моделирования было выбрано программное обеспечение Scilab - это современный пакет прикладных математических программ, предназначенный для инженерных (технических) и научных расчётов, для детального исследования и анализа нестационарных процессов в системах автоматического управления, в ядерных и тепловых энергоустановках, в следящих приводах и роботах, в любых технических системах, описание динамики которых может быть реализовано методами структурного моделирования.

Построим структурную схему привода в программном пакете Scilab и проведем моделирование переходных процессов, а также анализ на устойчивость системы, тем самым проверим адекватность математической модели.

Имитационная модель пневматического привода, имеющего крановый пневмораспределитель с приводом от электрического шагового двигателя, представлена на рисунке 4.8. Модель составлена из типовых блоков графического языка моделирования программы Scilab.

Блоки функций содержат коэффициенты полиномов передаточных функций, составленных согласно дифференциальному уравнению, описывающему режимы работы составных элементов пневматического привода [79].

Управляющее воздействие задает закон изменения положения электрического шагового двигателя, который в свою очередь регулирует степень открытия рабочих окон кранового пневмораспределителя. Кроме того, можно выделить влияние давления воздуха на работу системы, и влияние закона изменения нагрузки на исполнительный механизм привода. Блок «Результат» является приемником сигнала.

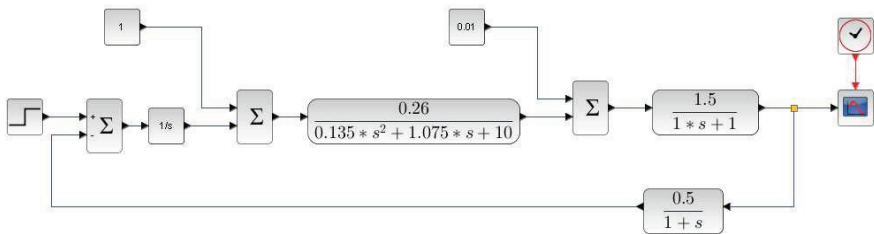


Рисунок 4.8 – Структурная схема имитационной модели работы пневмопривода

Для проведения расчета, необходимо задать параметры интегрирования, такие как время интегрирования, минимальный и максимальный шаг интегрирования, выбор адаптивного метода интегрирования.

Полученная схема имитационного моделирования позволила построить переходную характеристику работы пневматического привода.

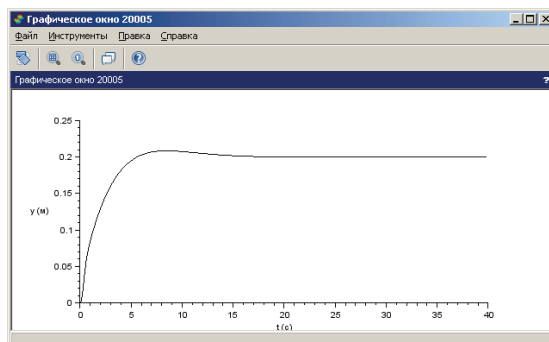


Рисунок 4.9 - График переходного процесса выдвигания пневмопривода, полученный по программе расчета имитационной модели

Анализ полученных данных показывает, что требуемые характеристики переходного процесса достигнуты: перерегулирование - отсутствует; время входа в 5-ти процентную "трубку" не превышает 20 секунд.

Характеристика переходного процесса в САУ представляет собой сумму составляющих, количество которых определяется числом корней характеристического уравнения. В общем случае корни являются комплексными [28]. Поэтому проведем расчет передаточных функций и определим комплексно-сопряженные корни. Видно, что процесс затухающий.

| РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ | | | |
|--|-------------|--------------------------|--|
| ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ | | | |
| Степень | Знаменатель | Числители (Вход - Выход) | |
| n | $L(s)$ | вход-выход | |
| 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 1 | 0.2 | |
| 2 | 3.2 | | |
| 3 | 4.8 | | |
| 4 | 3.2 | | |
| 5 | 0.8 | | |

| ПОЛЮСЫ И НУЛИ | | | |
|---------------|----------------------------|---------------------|--|
| Номер | Полосы | Нули (Вход - Выход) | |
| № | $\text{Re} \pm j\text{Im}$ | вход-выход | |
| 1 | 0 | 0 | |
| 2 | $-0.5 + 0.5j$ | | |
| 3 | $-0.5 - 0.5j$ | | |
| 4 | $-1.5 + 0.5j$ | | |
| 5 | $-1.5 - 0.5j$ | | |

Рисунок 4.10 – Окно «Результаты расчета параметров передаточных функций» по программе расчета имитационной модели промышленного привода

Теперь необходимо исследовать систему на устойчивость. Построим амплитудно-фазовые частотные характеристики и проверим устойчивость по критерию Найквиста. Необходимо задать параметры анализа.

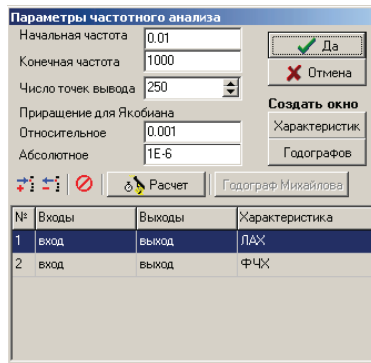


Рисунок 4.11 - Окно «Параметры частотного анализа» программы расчета имитационной модели пневматического привода

Построим требуемые характеристики.

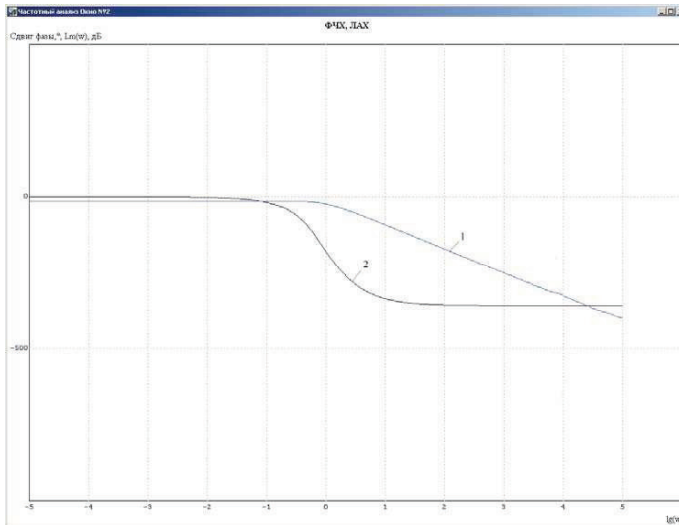


Рисунок 4.12 – Окно построения логарифмической амплитудной (1) и фазовой (2) частотных характеристик программы расчета имитационной модели пневматического привода

Проверим устойчивость по критерию Найквиста.

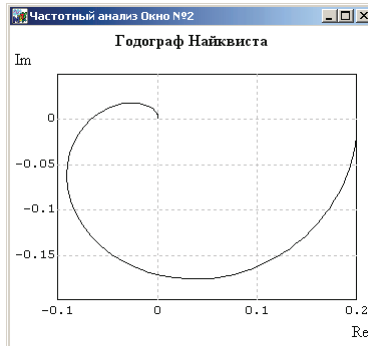


Рисунок 4.13 – Окно частотного анализа критерия Найквиста

Так как линия годографа разомкнутой САР на рисунке 4.13, без сомнения, не охватывает точку $(-1, 0 \cdot i)$, то исходная САР в замкнутом состоянии будет абсолютно устойчива (устойчива при любом уменьшении коэффициентов усиления).

Таким образом, проведенное теоретическое моделирование показывает адекватность предлагаемой системы. Теперь состоятельность системы необходимо проверить практическим экспериментом.

4.3 Практический эксперимент

Состоятельность системы управления была проверена практическим экспериментом. В качестве основы для экспериментальной установки был взят пневматический промышленный робот МП-9С.

Промышленный робот МП-9С предназначен для автоматизации и механизации вспомогательных технологических операций погрузки, выгрузки, установки, в том числе прецизионной, снятия деталей и заготовок с обслуживаемого технологического оборудования при механообработке, прессовании и т. д. [99]

4.3.1 Задачи эксперимента

Задачи в ходе проведения эксперимента по определению точности и быстродействия пневматического привода, работающего с применением

кранового пневматического распределителя с приводом от электрического шагового двигателя, ставились следующие:

- определение функциональной схемы эксперимента;
- интеграция программного модуля анализа и управления с программами ЧПУ EMC2 и FMS-3000;
- разработка и реализация экспериментальной установки;
- разработка методики эксперимента;
- проведение эксперимента;
- сбор, обработка и анализ измерительных данных.

Исследовались:

- режимы обучения программного модуля анализа и управления;
- скорость программного модуля анализа и управления в принятии решений и выдачи управляющих сигналов;
- состоятельность программного управления шаговыми двигателями в качестве приводов крановых пневмораспределителей;
- работа регулятора давления рабочего газа кранового типа с приводом от электрического шагового двигателя, имеющего обратную связь через датчик давления пьезоэлектрического типа;
- быстродействие работы крановых пневмораспределителей и приводов в целом;
- точность позиционирования пневматического привода, работающего с применением кранового пневматического распределителя с приводом от электрического шагового двигателя;
- регулирование (дресселирование) подачи воздуха в рабочие пневмодвигатели с помощью кранового пневматического распределителя, путем изменения угла поворота его кранового элемента при помощи электрического шагового двигателя;
- плавность торможения приводов робота в промежуточных положениях его приводов;

- сравнение быстродействия и точности позиционирования рабочего органа привода с предлагаемой системой управления и существующего аналога.

4.3.2 Методика эксперимента

Эксперимент по определению точности позиционирования и быстродействия пневматического привода, работающего с применением кранового пневматического распределителя с приводом от электрического шагового двигателя, заключался в тесте повторяемости точки – многократное повторение операции по передвижению разновесных деталей и заготовок (каждые массой от 0,05 кг до 0,2 кг), при различном выдвигении пневмоцилиндров: одна треть от максимальной хода выдвигения, половина и максимальная длина выдвигения штоков пневмоцилиндров. Эти показатели выдвигения штоков пневмоцилиндров достигались за счет программного регулирования электрических шаговых двигателей крановых пневмораспределителей. Другие параметры эксперимента: рабочее давление воздуха в системе 4 кгс/см² (бар), температура воздуха 18 -25 °С. Результаты измерения анализируются как диапазон отклонения от среднего значения положений точки. В ходе опыта была проведена серия измерений при разных режимах работы системы управления. Все описанные в настоящей работе результаты получены при передвижении массы в 0,1 кг [5, 68, 70].

4.3.3 Функциональная схема эксперимента

Функциональная схема разъясняет процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или изделия (установки) в целом. Функциональная схема является экспликацией отдельных видов процессов, протекающих в целостных функциональных блоках и цепях устройства.

Входной величиной является требуемая траектория движения привода, а выходной точное и быстрое перемещение деталей по данной траектории. Функциональная модель выполнена согласно стандарту IDEF0.

При разбиении (декомпозиции) процесса управления на составляющие его этапы, определили 6 функциональных блоков.

Декомпозиция дает возможность представлять модель системы в виде иерархической структуры отдельных диаграмм. Это делает диаграммы менее перегруженными и легко читаемыми [20, 37].

Каждая из четырех сторон функционального блока имеет свое определенное значение:

- верхняя сторона имеет значение «Управление»;
- левая сторона имеет значение «Вход»;
- правая сторона имеет значение «Выход»;
- нижняя сторона имеет значение «Механизм».

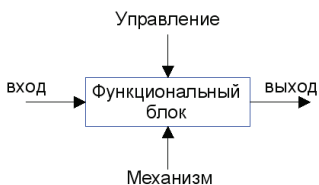


Рисунок 4.14 - Функциональный блок

Интерфейсная дуга отображает элемент системы, который обрабатывается функциональным блоком или оказывает иное влияние на функцию, отображенную данным функциональным блоком. Графическим отображением интерфейсной дуги является однонаправленная стрелка. С помощью интерфейсных дуг отображаются различные объекты, в той или иной степени определяющие процессы, происходящие в системе.

Разработана функциональная модель эксперимента процесса управления пневматическим приводом (рисунок 4.15).

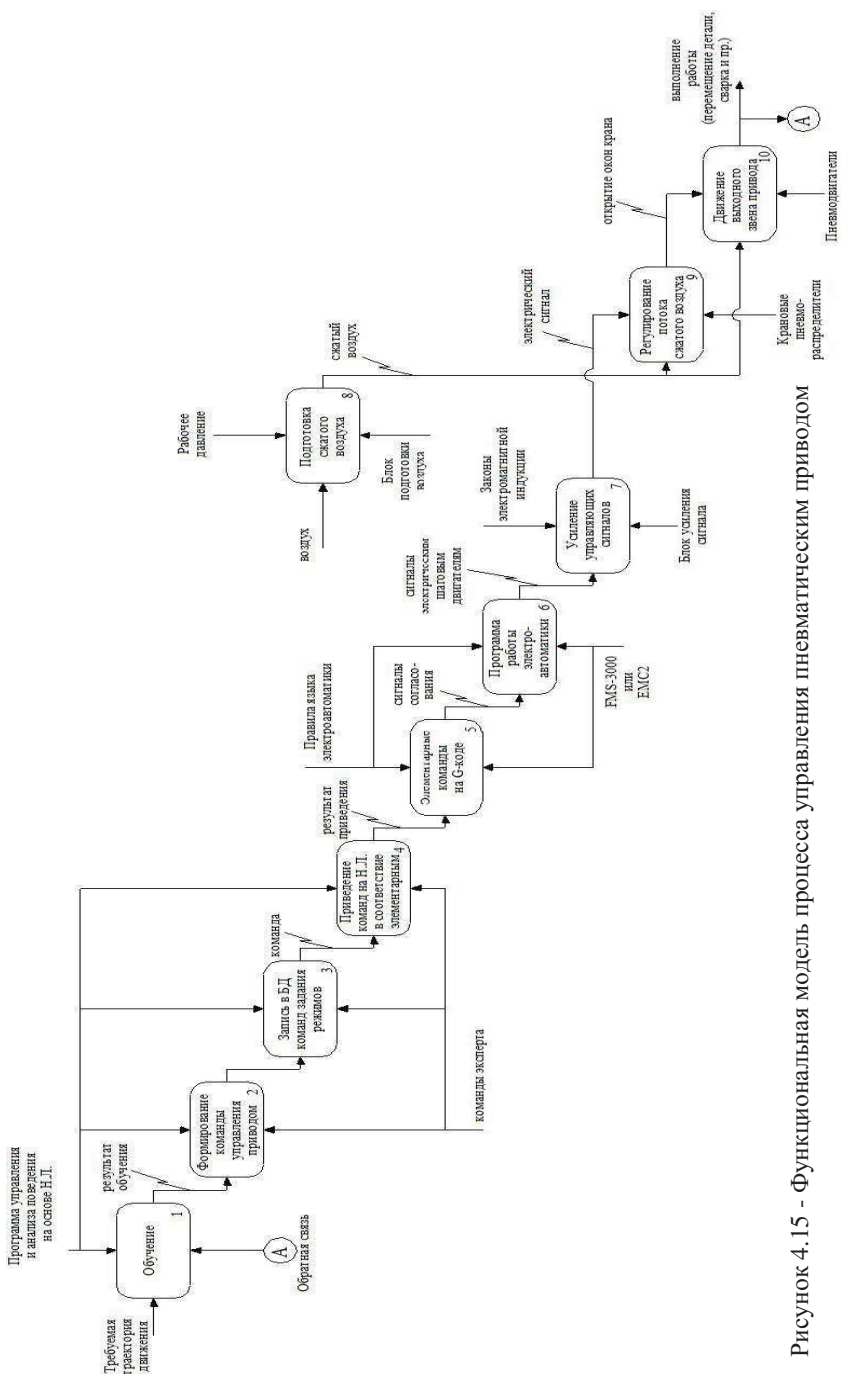


Рисунок 4.15 - Функциональная модель процесса управления пневматическим приводом

4.3.4 Экспериментальная установка

На рисунке 4.16 представлена схема экспериментальной установки с предлагаемой системой управления.

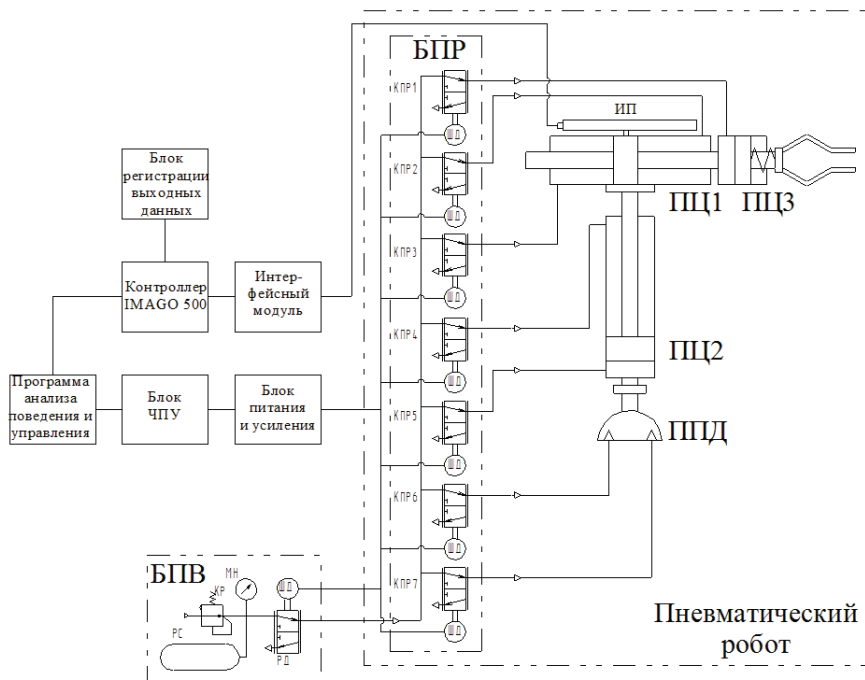


Рисунок 4.16 - Схема экспериментальной установки

В состав экспериментальной установки входят следующие элементы:

ПЦ1 - пневмоцилиндр 1 выдвижения-втягивания руки;

ПЦ2 – пневмоцилиндр 2 подъема;

ПЦ3 – пневмоцилиндр 3 механизма схвата;

ПЦД – поворотный пневматический двигатель;

БПВ – блок подготовки сжатого воздуха; блок выдает рабочее давление воздуха 4 кгс/см^2 (бар); В блоке подготовки воздуха применен регулятор давления кранового типа с приводом от электрического шагового двигателя.

БПР – блок пневмораспределителей (КПР1 - КПР7). Каждый пневмораспределитель управляется электрическим шаговым двигателем;

ШД – условное обозначение шаговых двигателей;

ИП – измеритель пути, это датчик линейного положения работает по принципу магнитострикции. В установке применен измеритель пути Micropulse ВТL фирмы Balluff [95];

Блок питания и усиления (трансформатор) – усиливает сигналы управления, поступающие от платы управления, которая установлена в блоке ЧПУ. Этот блок, по сути, входит в состав блока ЧПУ, но для рассмотрения экспериментальной установки выведен отдельно [25, 64];

Контроллер – это регулирующее устройство, однако, в ходе эксперимента выполняет функции дополнительного, визуального регистратора данных, поступающих от измерителя пути; из этого блока данные передаются в блок регистрации, визуализации, обработки и анализа данных. В качестве контроллера был выбран многоканальный программный регулятор IMAGO500. Его особенность в том, что он может выполнять функции регистратора поступающих от датчиков положения данных. Для отображения данных в нем используется 5-ти дюймовый жидкокристаллический цветной экран.

Интерфейсный модуль – аналогового типа, и используется интерфейс RS 422 для связи с датчиком ИП [54];

Блок регистрации, визуализации, обработки и анализа данных – представляет собой ЭВМ с установленным на ней программным обеспечением для регистрирования и анализа данных о работе робота.

Блок ЧПУ – блок числового программного управления - это компьютеризованная система управления, предназначенная для управления пневмоаппаратурой [60].

Числовое программное управление экспериментальной установкой включает две составляющих:

- аппаратное обеспечение;
- программное обеспечение.

В аппаратное обеспечение ЧПУ входит:

- персональный компьютер;
- блок питания и усиления;
- электронная плата управления, установлена на системной плате компьютера.

В качестве программного обеспечения используется EMC2 на базе операционной системы Linux, а также, для проверки, аналог этой системы - FMS-3000 на базе FreeDOS или эмулятора DOS-BOX. [104]

EMC2 и FMS-3000 - это программные системы для компьютерного управления станками (такими как фрезерные, отрезные станки), роботами, гексаподами, и т.д. И выполняют следующие основные функции:

- ввод, вывод, редактирование управляющих программ;
- реализация режимов работы устройств ЧПУ;
- реализация функций электроавтоматики станка или робота;
- реализация свободно-программируемых циклов пользователя (СЦП) на базе языка программирования;
- выдача последовательности управляющих команд;
- индикация оперативной информации;
- контроль и диагностика станка/робота.

EMC2 запускается под любой операционной системой типа Unix. Поэтому была выбрана Linux Ubuntu.

FMS запускается на любой 16-ти разрядной операционной системе или с помощью эмулятора, создающего DOS-окружение (например программа DOSBOX).

Программа работы экспериментальной установки предполагает наличие трех составляющих.

Первая часть - программа низкого уровня, - это программа работы электроавтоматики. Целью работы программы электроавтоматики является управление электрооборудованием робота и согласование его работы с работой программного обеспечения системы ЧПУ.

Вторая часть – это программный модуль системы написанный, на G-коде. Этот модуль однозначно связан с программой работы электроавтоматики, посредством логических правил, сведенных в уравнения, и функций. Позволяет быстро и гибко изменять программу управления в соответствии с режимами работы пневматических приводов и технологическими процессами, не затрагивая при этом изменения работы логики в программе электроавтоматики. Создание управляющих программ в EMC2 и FMS происходит на основе G-кода. G-код – это условное именование языка программирования устройств с ЧПУ [102].

Программа, написанная с использованием G-кода, имеет жесткую структуру. Все команды управления объединяются в кадры — группы, состоящие из одной или более команд. В данном языке программирования используются два типа команд: основные (или подготовительные) команды и технологические (или вспомогательные) команды.

Порядок команд в кадре строго не оговаривается, но традиционно предполагается, что первыми указываются подготовительные команды, (например, выбор рабочей плоскости), затем команды перемещения, затем выбора режимов обработки и технологические команды. Кроме того, у каждой команды есть свои параметры. Эти параметры указываются буквами латинского алфавита.

Третья составляющая управляющей программы, это программный модуль анализа поведения и управления. Это программа верхнего уровня. Выходные команды управления этой части программы представляют собой весовые кодовые метки, имеющие однозначные аналоги на G-коде. Программный модуль анализа поведения и управления может быть установлен на отдельном ЭВМ. Порядок формирования такой программы рассмотрен в третьей главе.

Таким образом, работа экспериментальной установки осуществляется по программе управления. Эту программу можно написать для любых режимов работы по выполнению погрузочно-разгрузочных операций в соответствии с технологическими задачами производства.

Полученные результаты эксперимента анализировались, и для всех приводов экспериментальной установки они получились схожими, поэтому ниже рассматривается только анализ для пневмоцилиндра выдвижения-втягивания руки робота.

4.4 Анализ полученных экспериментальных данных

4.4.1 Анализ полученных экспериментальных данных работы КПП

Результаты серии экспериментов описываются графической зависимостью, представленной на рисунке 4.17. Эта зависимость получена от показаний магнитострикционного датчика положения, установленного на пневмоцилиндр, и показывает характер движения руки робота. Датчик посредством интерфейсного модуля и контроллера подключен к ЭВМ через последовательный интерфейс RS-232. Регистрация данных осуществлялась с помощью программного обеспечения PowerGraph 3.3.7.

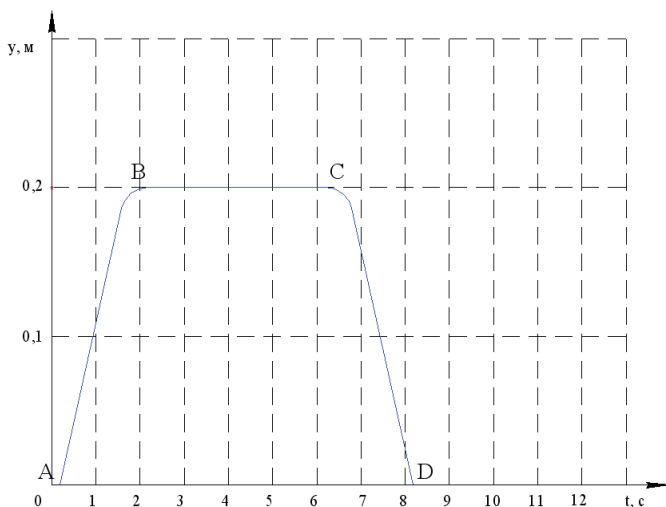


Рисунок 4.17 - Характеристика движения пневмоцилиндра руки робота

А-В – участок показывающий выдвижение пневмоцилиндра руки робота на 0,2 м.

В-С – останов руки и выдержка на 5 сек.

С-D – втягивание пневмоцилиндра руки робота.

Проведение серии экспериментов заключалась в повороте шагового двигателя кранового пневмораспределителя на заданные углы согласно программе управления.

Процесс управления шаговым двигателем КПР позволяет регулировать открытие окон КПР, а значит и работу ПЦ. Поэтому по полученным данным о характере работы ПЦ возможно графически показать диапазон открытия окон КПР. На рисунке 4.18 показаны характеристики открытия КПР.

Сопоставим полученные результаты экспериментов с расчетной характеристикой КПР.

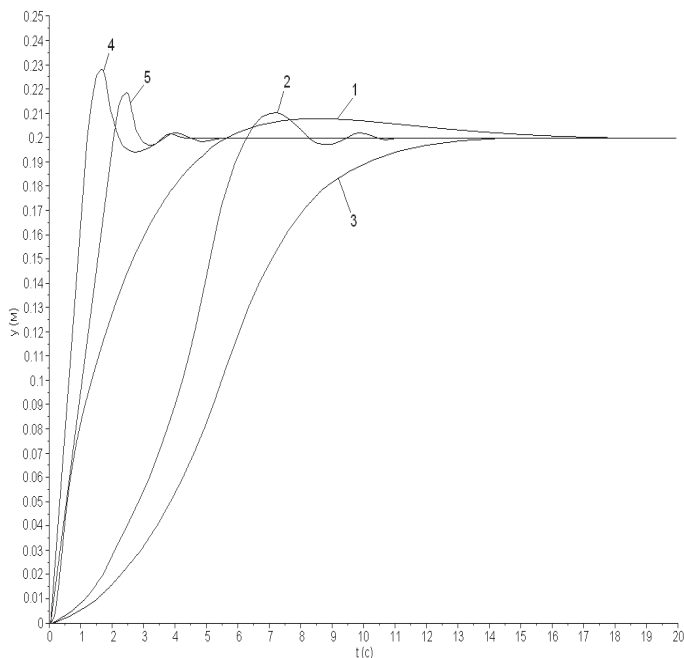


Рисунок 4.18 - Переходные характеристики, полученные по результатам расчетных (1) и экспериментальных исследований (2-5) работы пневмоцилиндра выдвижения-втягивания руки экспериментальной установки (робота) при номинальном рабочем давлении 4атм.

Данные характеристики (рисунок 4.18) показывают переходные процессы работы управляющего кранового пневмораспределителя пневмоцилиндра выдвижения-втягивания руки. Анализ характеристик остальных приводов показал схожесть с характеристиками, рассмотренными на рисунке 4.18, по этой причине не заостряем внимание на их описании.

На рисунке 4.18: $y(m)$ – перемещение выходного звена робота (пневмоцилиндра руки), $t(c)$ – время переходного процесса. Характеристики показывают переходные процессы работы управляющего кранового пневмораспределителя пневмоцилиндра выдвижения-втягивания руки робота, при рабочем давлении 4атм.

1 – имитационная расчетная характеристика, полученная имитационным моделированием;

2 – характеристика при среднем открытии окна пневмораспределителя;

3 – характеристика при минимальном открытии окна пневмораспределителя;

4 – экспериментальная характеристика, при максимальном открытии и совмещении окон пневмораспределителя;

5 – экспериментальная характеристика работы золотникового пневмораспределителя (ЗПР).

Очевидно, что характеристика 1 хотя и учитывает некоторые коэффициенты, но она все же «линейная». Характеристика 4, напротив, показывает нелинейные динамические составляющие, которые сложно учесть в математической модели.

Такое совмещение характеристик дает представление о точности моделирования. Для проверки адекватности полученных данных применили сравнение осредненной экспериментальной переходной характеристики с характеристикой, полученной в результате имитации, с погрешностью не более 12,3%.

4.4.2 Сравнение с существующим аналогом

Аналогом предлагаемой системы регулирования и распределения является система с золотниковым пневмораспределителем [10, 24]. Золотниковое распределение нашло широкое применение в технике в качестве направляющей аппаратуры для гидравлических и пневматических систем. Однако в отличие от предлагаемой системы, золотниковые распределители имеют два положения работы: закрытое или открытое. Такой режим работы обусловлен тем, что в качестве рабочего привода в них применяются электромагниты с механическими пружинами. При подаче тока на электромагнит, золотник меняет положение, то есть открывается. Соответственно рабочая среда направляется в нужные полости пневмодвигателей экспериментальной установки. При отключении подачи электрического тока на электромагнит золотник возвращается в первоначальное положение с помощью механической пружинки. В данном случае происходит только направление движения рабочей среды.

Если применять КПП с управлением от шагового электрического двигателя, то возможно не только направление рабочего потока в нужные пневмодвигатели, но и дросселирование потока. Тем самым возможно режимное регулирование приводов робота. А также возможно плавное торможение привода в промежуточных положениях рабочего органа в пределах диапазона перемещений.

Оценка работы пневмоприводов проводилась сравнением быстродействия КПП и ЗПП (характеристики 4 и 5 на рисунке 4.18).

При сравнении видно, что КПП срабатывает быстрее, чем ЗПП, разница составляет 16,7% [90].

Быстродействие приводов пневматического робота зависит от нескольких факторов: угла поворота распределителя, от которого зависит параметр «время-сечение» (S), а соответственно приемлемый массовый расход газа (G), рабочего давления (p) в системе, массы приводов ($m_{пр.}$) и переносимой полезной нагрузки ($m_{нагр.}$).

В таблицах 4.2-4.5 представлены рабочие параметры крановых пневмораспределителей, управляющих соответствующими пневмодвигателями с достижением конечного положения привода с переносимой полезной нагрузкой 0,1кг.

Таблица 4.2 Параметры КПР, управляющего механизмом схвата привода

| | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|-----|-------|------|-------|
| p, атм | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| G, кг/с | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,122 | 0,14 | 0,161 |
| t, с | 1,7 | 1,6 | 1,56 | 1,52 | 1,5 | 1,49 | 1,47 | 1,4 |
| S, $\times 10^{-5}$ m ² /с | 2,23 | 2,02 | 1,72 | 1,42 | 1,1 | 0,82 | 0,5 | 0,3 |
| m _{пр.} , кг | 1,85 | | | | | | | |

Таблица 4.3 Параметры КПР-ей, управляющих механизмом выдвижения-втягивания руки

| | | | | | | | | |
|--|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| p, атм | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| G, кг/с | 0,025 | 0,05 | 0,075 | 0,101 | 0,125 | 0,151 | 0,175 | 0,2 |
| t, с | 1,57 | 1,53 | 1,52 | 1,5 | 1,49 | 1,48 | 1,47 | 1,45 |
| S, $\times 10^{-5}$ m ² /с | 2,446 | 2,22 | 1,996 | 1,771 | 1,48 | 1,245 | 1,021 | 0,885 |
| m _{пр.} , кг | 3 | | | | | | | |

Таблица 4.4 Параметры КПР-ей, управляющих механизмом подъема

| | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| p, атм | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| G, кг/с | 0,145 | 0,16 | 0,18 | 0,2 | 0,221 | 0,24 | 0,261 | 0,28 |
| t, с | 2,8 | 2,1 | 2 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1 | 0,9 |
| S, $\times 10^{-5}$ m ² /с | 2,71 | 2,9 | 3,24 | 3,54 | 3,8 | 4,11 | 4,4 | 4,77 |
| m _{пр.} , кг | 6 | | | | | | | |

Таблица 4.5 Параметры КПР-ей, управляющих механизмом поворота

| | | | | | | | | |
|---------|------|-------|------|-----|------|------|------|-----|
| p, атм | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| G, кг/с | 0,34 | 0,359 | 0,38 | 0,4 | 0,42 | 0,44 | 0,46 | 0,5 |
| t, с | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 | 3,3 | 3,1 | 2,6 | 2 |

| | | | | | | | | |
|--|------|------|---|------|-----|---|-----|-----|
| S, $\times 10^{-5}$ m^2/c | 4,4 | 4,71 | 5 | 5,31 | 5,7 | 6 | 6,3 | 6,6 |
| $m_{\text{пр.}}$, кг | 11,1 | | | | | | | |

Также были проведены серии исследований работы КПП и пневмодвигателей при максимально допустимом рабочем давлении 10 атм. На рисунке 4.19 показаны экспериментально полученные переходные характеристики при максимально допустимом давлении 10 атм.

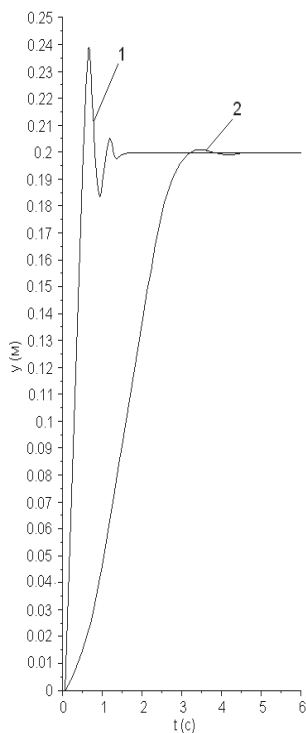


Рисунок 4.19 - График изменения экспериментально полученных переходных характеристик с нагрузкой 0,1 кг при максимально допустимом давлении 10 атм.: 1 - максимальное открытие окон распределителя; 2 - минимальное открытие окон распределителя

4.4.3 Оценка точности и плавности

Считается, что пневматический привод является грубым по точности работы и обычно к его работе не предъявляется требование по плавности торможения. Повысить точность и плавность работы такого привода позволяет дросселирование неразрывного (без утечек) потока воздуха и использование дополнительных технических средств: контроллеров и датчиков положения, работающих по принципу магнитострикции.

В проведенном эксперименте точность и плавность достигались только за счет дросселирования потока, то есть регулированием шаговых двигателей КПП. Контроллер и датчики положения, работающие по принципу магнитострикции, выполняли только измерительную и фиксирующую роль, без задания с их помощью координат которые должен достигнуть привод робота.

Оценка точности позиционирования проводилась для КПП при многократном повторении нагруженного привода. В эксперименте за контрольную точку была взята половина выдвижения пневмопривода руки робота. В показаниях датчика половина выдвижения составляет 124,05мм, начальная показатель 48,8мм и соответственно полный ход 199,3мм.

В ходе эксперимента проведено 100 повторений нагруженного привода руки робота. Получены данные, которые сведены в таблицу Ж.1 приложения Ж. Необходимо было найти уравнение прямой

$$y = a \cdot x + b, \quad (46)$$

наилучшим образом согласующейся с опытными точками. Для этого применим метод наименьших квадратов [18, 50].

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n y_i x_i = a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n y_i = a \sum_{i=1}^n x_i + nb \end{cases}; \quad (47)$$

$$n = 100;$$

$$\sum x_i = 5050; \quad \sum y_i = 12404,87; \quad \sum x_i^2 = 338350; \quad \sum x_i y_i = 626565,45.$$

Подставив в (47) получим

$$\begin{cases} 338350a + 5050b = 626565,45; \\ 5050a + 100b = 12404,87 \end{cases}; \quad (48)$$

Найдем из этой системы уравнений коэффициенты

$$a = 0,00143$$

$$b = 123,97$$

Теперь протабулируем и построим уравнение кривой.

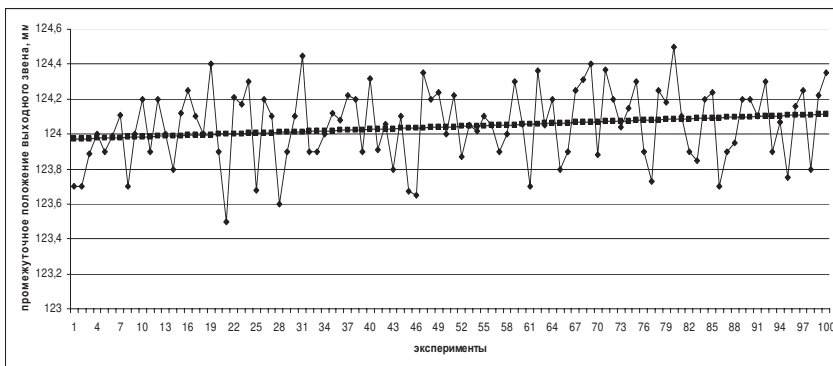


Рисунок 4.20 – График распределения значений, полученных в результате эксперимента по оценке точности позиционирования выходного звена пневматического привода при программном значении позиции на отметке 124,05мм.

По экспериментальным данным видно, что точность позиционирования рабочего органа пневматическим приводом удовлетворительна и соответствует среднеквадратической погрешности 0,138 мм. Аппроксимирующая прямая на рисунке 4.20, указывает на определенную тенденцию в динамике работы выходного звена. Тренд вызван объективным физическим фактором – температурным расширением звеньев кинематической цепи пневморобота. Компенсировать это явление можно, введя в программу работы поправку,

изменяющую число шагов поворота управляющего шагового двигателя КПП. Но если данная вносимая поправка будет сильно влиять на быстродействие, то возможно небольшое повышение рабочего давления воздуха в системе.

Точность можно повысить путем создания противодействия в оппозитной полости пневмодвигателя, но в этом случае скорость движения рабочего органа привода снижается, и достижение нужной точки позиционирования в промежуточном положении занимает на 12-15% больше времени.

Плавность торможения на длину выдвижения 124мм достигается путем регулирования работы шагового двигателя КПП. Выдвижение звена на промежуточную позицию достигается поворотом шагового двигателя на 15 шагов, то есть окно КПП откроется примерно на половину, затем на шаговый двигатель подается управляющий сигнал для обратного поворота, при этом окно КПП перекрывается и звено останавливается. При таком режиме работы, быстродействие снижается, примерно на 2 сек. если вести сравнение с полным ходом выдвижения выходного звена.

На рисунке 4.21 угол наклона характеристики показывает быстроту движения, а ее вид характеризует плавность торможения.

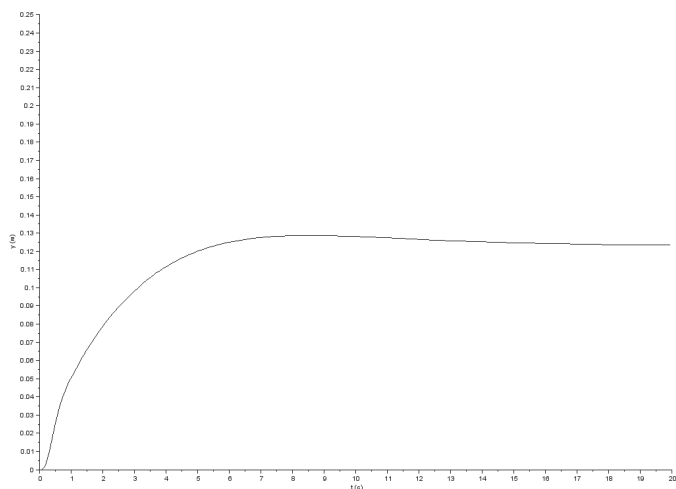


Рисунок 4.21 - Экспериментальная оценка плавности торможения привода руки пневматического робота

4.5 Выводы

1. Расчетное имитационное моделирование и последующий анализ показали, что предлагаемая система является устойчивой. Проведен сопоставительный анализ данных имитационных и экспериментальных исследований, максимальное отклонение полученных характеристик составила 12,3%.

2. Проведенный эксперимент показал возможность дросселирования потока рабочего воздуха через КПП, который приводится в действие с помощью управляемого электрического шагового двигателя. Таким образом, достигается быстродействие, точность и, если это необходимо и плавность работы. Среднеквадратическая погрешность позиционирования выходного звена привода при рабочей нагрузке 0,1кг составила 0,1% или 0,14мм.

3. Реализован принцип управления пневмоприводом по разностному способу включения крановых регулирующих устройств за счет программного управления их приводами, – электрическими шаговыми двигателями, с использованием методов нечеткой логики;

4. Проведено сравнительное исследование с существующим аналогом, показавшее, что, при использовании предлагаемой системы управления и в зависимости от заданной программы работы, повышается быстродействие при достижении конечных положений выходных звеньев пневмопривода, возможна регулировка скорости, а также позиционирование рабочего органа пневмопривода в промежуточных положениях за счет программного управления шаговым двигателем; установлено, что быстродействие предложенной системы управления выше на 16,7% по сравнению с системой с использованием ЗПП.

Заключение

В монографии рассмотрена реализация систем управления пневматическими приводами металлообрабатывающих станков и промышленных роботов на основе обучения нечеткого контроллера и выдачи управляющих сигналов в соответствии с изменяемыми параметрами внешней среды.

Научно-прикладная значимость предлагаемой системы управления состоит в том, что определены и доказаны следующие пункты научной новизны исследования:

- методика определения значений параметров устройств управления пневмопривода, обеспечивающих заданные отклонения от требуемых значений показателей качества;

- принцип управления пневмоприводом по разностному способу включения крановых регулирующих устройств за счет программного управления их приводами, – электрическими шаговыми двигателями, с использованием методов нечеткой логики;

- обоснована возможность повышения точности процесса управления пневматическим приводом за счет управляемого регулирования этапов замедления и ускорения при достижении его промежуточных положений с погрешностью не более 0,1%.

В соответствии с проведенными исследованиями получены следующие результаты:

1. Разработана система управления пневматическим приводом, включающая устройство управления – крановый пневмораспределитель, имеющий в качестве привода электрический шаговый двигатель, и программу управления им на основе нечеткой логики;

2. Разработана методика расчета параметров устройства управления - кранового пневматического распределителя и проведены расчетные исследования характеристик кранового пневмораспределителя с приводом от

электрического шагового двигателя;

3. Создана и испытана натурная модель кранового пневмораспределителя с приводом от электрического шагового двигателя (Патент RU 158927 U1. 2016 бюл.№2). Испытания подтвердили работоспособность модели; создан регулятор давления рабочего газа кранового типа с приводом от электрического шагового двигателя и обратной связью через датчик давления пьезоэлектрического типа;

4. Разработана экспериментальная установка на базе пневматического робота МП-9С с применением предлагаемой системы управления, и проведены экспериментальные исследования ее динамических характеристик; среднеквадратическая погрешность позиционирования рабочего органа при рабочей нагрузке 0,1 кг составила не более 0,1%;

5. Проведен сопоставительный анализ данных имитационных и экспериментальных исследований, максимальное отклонение полученных характеристик составило 12,3%;

6. Проведено сравнительное исследование с существующим аналогом, показавшее, что, при использовании предлагаемой системы управления и в зависимости от заданной программы работы, повышается быстродействие при достижении конечных положений пневмодвигателей, возможна регулировка скорости, а также позиционирование рабочего органа привода в промежуточных положениях за счет программного управления шаговым двигателем; установлено, что быстродействие предложенной системы управления выше на 16,7% по сравнению с системой с использованием ЗПР.

В целом, полученные результаты позволяют по-новому взглянуть на проблему создания высокоэффективных систем управления пневматическими приводами металлообрабатывающих станков и промышленных роботов.

Литература

1. *Абрамов Е. И., Колесниченко К. А., Маслов В. Т.* Элементы гидропривода. (Справочник). Киев, «Техника», 1977. – 320с.
2. *Акименко Т. А., Аршакян А. А., Будков С. А., Ларкин Е. В.* Промышленный робот с информационной системой управления. // Известия Тульского государственного университета. №4. 2013.-133-138стр.
3. *Аннаби М. Х., Челпанов И. Б.* Приближенный метод исследования погрешностей обработки траектории промышленными роботами. // Монография. С.-Петербург. гос. политехн. ун-т. Изд-во СПбГПУ. г. СПб. 2003. – 31с.
4. *Анурьев В. И., Жесткова И. Н.* Справочник конструктора - машиностроителя: В 3-х томах. М., Машиностроение. 2006г.
5. *Асатурян В. И.* Теория планирования эксперимента: Учебное пособие, - М.: Радио и связь, 1983. – 248с.
6. *Афонин В. Л.* Интеллектуальные робототехнические системы: курс лекций: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям в обл. информ. технологий / В. Л. Афонин, В. А. Макушкин. — М. : Интернет-Ун-т Информ. Технологий, 2005. — 208 с.:ил., табл. — (Серия «Основы информационных технологий»/Интернет-Ун-т Информ. Технологий).
7. *Ахмадеев И. А.* Информационные системы и технологии: учебное пособие / Ахмадеев И.А., Валиев Р.А; ГОУ ВПО «Кам. гос. инж.-экон. акад.» - Набережные Челны: Изд-во Кам. гос. инж.-экон. акад., 2008. - 213 с.
8. *Барсуков А. П.* Компоненты и решения для создания роботов и робототехнических систем. - М.: ДМК Пресс. 2005 - Вып. I. 128 с. (Ежеквартальный справочник)
9. *Барсуков А. П.* Кто есть кто в робототехнике: Компоненты и решения для создания роботов и робототехнических систем / Сост. А. П. Барсуков. — М.: Изд-во «ДМК-пресс». 2010 - Вып. II. 128 с. (Ежеквартальный справочник)

10. *Бартош П. Р., Лешкевич А. Ю., Гиль С. В.* Элементы САПР гидропневмосистем. Учебное пособие, - Минск. 2001.

11. *Божкова Л. В., Чуканова О. В., Акульшина Т. В., Воловов М. В.* Разработка алгоритмов программного управления сборочных промышленных роботов. // Сборка в машиностроении, приборостроении. №2 М.: Машиностроение. 2008. – стр.8-12.

12. *Бравичев В. А.* Гидравлические и пневматические автоматизирующие устройства металлорежущих станков. М.: Машиностроение. 1964. – 264 с.

13. *Буйлов Е. А.* Промышленные роботы. – Издательство: МАМИ, Москва, 2012. – 172 с., ил.

14. *Булгаков А. Г., Воробьев В. А.* Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление. Серия «Библиотека инженера». — М.:СОЛОН-ПРЕСС, 2008. — 488 с.: ил.

15. *Булгаков Б. Б., Кубрак А. И.* Пневмоавтоматика. Издательство «Техника» Киев 1977.192 с.

16. *Валетов В. А., Орлова А. А., Третьяков С. Д.* Интеллектуальные технологии производства приборов и систем. Учебное пособие, - СПб: СПб ГУИТМО, 2008. – 134 с.

17. *Волков В. Л.* Моделирование процессов и систем в приборостроении. Учебное пособие, - Арзамас, АПИ НГТУ, 2008. - 143с.

18. *Выгодский М. Я.* Справочник по высшей математике. Издательство «Наука» Москва 1966. 872с.

19. *Гаврилова Т.А.* Базы знаний интеллектуальных систем /Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский – СПб: Питер, 2000. – 384 с.

20. *Гагарина Л. Г., Киселев Д. В., Федотова Е. Л.* Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем: учеб. Пособие / Под ред. Проф. Л.Г.Гагариной. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2007. – 384 с.

21. *Ганзбург Л. Б., Федотов А. И.* Проектирование электромагнитных и магнитных механизмов: Справочник. – Л.; Машиностроение. Ленингр. Отделение, 1980. – 364с.

22. *Грабовски Б.* Справочник по электронике / Богдан Грабовски ; Пер. с фр. Хаванов А. В. – 2 е изд., испр. –М. : ДМК Пресс, 2009. – 416 с. : ил.

23. *Громаков Е. И.* Проектирование автоматизированных систем. Электронный курс лекций. «Томский политехнический университет» Томск 2009 134с

24. *Гулиа Н. В., Клоков В. Г., Юрков С. А.* Детали машин. М.: Издательский центр "Академия", 2004. — 416с.

25. *Данилов О. Л., Костюченко П. А.* Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов. / В семи разделах. Подобщей редакцией д.т.н. О. Л. Данилова, П. А. Костюченко – Москва: ОАО Московская типография. 2006. – 668с., ил.

26. *Даровских В. Д.* Робототехнические механизмы. – Ф.: Кыргызстан, 1986. – 144с. – (Экономия и бережливость).

27. *Денисов А. А., Нагорный В. С.* Пневматические и гидравлические устройства автоматики. Учебное пособие, - М.: Высшая школа, 1978г.

28. *Ерофеев А. А.* Теория автоматического управления: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2001. – 302с.

29. *Жила В. А.* Газовые сети и установки: Учеб. Пособие для сред.проф. образования / В.А. Жила, М. А. Ушаков, О. Н. Брюханов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 272 с.

30. *Захаров В.Н.* Интеллектуальные системы управления: основные понятия и определения /В.Н. Захаров //Теория и системы управления. – 1997. – № 3. – С. 138–145.

31. *Золотухин Ю.Н.* Об одном способе построения базы правил нечеткого контроллера /Ю.Н. Золотухин, А.В. Куц //Труды V Международной конференции "Проблемы управления и моделирования в сложных системах", 17-22 июня 2003 г., Самара, Россия. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2003. – С. 473– 478.

32. *Зубков Е.В.* Моделирование автоматизированной системы настройки испытательным комплексом АСИ ДВС /Е.В. Зубков, А.Н. Илюхин, Л.И.

Фазуллин //Социально-экономические и технические системы. – URL:<http://www.sets.ru>. – 2006. – № 7. – 5 с.

33. *Зубков Е.В.* Применение когнитивной графики и нечеткой логики при настройке автоматизированных систем испытаний /Е.В. Зубков, А.Н. Илюхин //Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2007: Материалы конференции. Том 4. Технические науки. – Одесса: Черноморье. – 2007. – С. 26–27.

34. *Зубков Е. В.* Алгоритмизация технологических процессов автоматизированных испытаний дизельных двигателей / Е.В. Зубков, С.В. Дмитриев, А.Х. Хайруллин. – Казань: Казан. ун-т, 2011. – 182 с.

35. *Ибрагимов И. А., Фарзана Н. Г., Илясов Л. В.* Элементы и системы пневмоавтоматики: Учебник для вузов по спец. «Автоматизация и комплексная механизация хим.-технол. процессов» - М.: Высш.шк., 1985.

36. *Иголкин А. А., Гаспаров М. С.* Моделирование процессов управления в технических системах: учеб. пособие / А.А. Иголкин, М.С. Гаспаров, А.А. Игонин, Н.Д. Быстров., А.Г. Гимадиев. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэро-косм. ун-та, 2006. – 180 с. : ил.

37. *Исаев Г. Н.* Проектирование информационных систем: учеб. пособие / Г.Н. Исаев. – М.: Издательство «Омега-Л», 2013. – 424 с.: ил., табл. – (Высшее техническое образование)

38. *Каляев И. А., Лохин В. М., Макаров И. М., Манько С. В., Романов М. П., Юревич Е. И.* Интеллектуальные роботы: учебное пособие для вузов / под общей ред. Е.И. Юревича / И.А. Каляев, В.М. Лохин, И.М. Макаров и др. – М.: Машиностроение, 2007. – 360 с.: ил.

39. *Киреева Э. А., Шерстнев С. Н.* Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов) Издательство: КноРус; 2012 г.

40. *Кисаримов Р. А.* Справочник электрика. М.:ИП РадиоСофт 2005.- 512 с.

41. *Клюкин В. Ю.* Разработка методов расчета и оптимизации промышленных роботов с пневматическими и гидравлическими приводами по критерию быстродействия. // Диссертация. Ленинград. 1984. – 253с.

42. *Корендяев А. И., Саламандра Б. Л., Тывес Л. И.* Теоретические основы робототехники. в 2 кн. // Монография. Рос. акад. наук, Ин-т машиноведения им. А. А. Благовраова. Изд-во: Типография "Наука". Москва. 2006.

43. *Коросташевский Р. В.* Подшипники качения: Справочник-каталог / Под ред. В.Н. Нарышкина и Р. В. Коросташевского. - : Машиностроение, 1984.- 280 с., ил.

44. *Крашмалев О. Н.* Математическое моделирование динамики манипуляционных систем промышленных роботов и кранов-манипуляторов. // Монография. Издательство: Брянский государственный технический университет. г. Брянск 2012. – 200с.

45. *Кудрявцев Е. М.* GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. - М.: ДМК Пресс. 2004 - 317 с.: ил. (Серия «Проектирование»).

46. *Легаев В. П., Генералов Л. К., Мойсеянчик М. И.* Модельная компенсация погрешности линейного привода манипулятора. // Вестник машиностроения. 2012. - №6 - С. 35-38.

47. *Леценко В. А.* Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. М. «Машиностроение», 1975. 288 с., ил.

48. *Литвиненко А. М., Васильев М. А.* Промышленный робот с параллельными кинематическими цепями. // «Техника Машиностроения». Издательство: Научно-техническое предприятие "Выраж-Центр" (Москва). 2007. стр. 46-48.

49. *Ловин Д.* Создаем робота-андроида своими руками.: Пер. с англ. Мельникова Г. — М.: Издательский дом ДМК-пресс. 2007. - 312 с.: ил.

50. *Лукинов А. П.* Проектирование мехатронных устройств. М.: МГТУ «Станкин», 1998. - 126с.

51. Лукьянов А. А. Моделирование движений упругих манипуляторов и мобильных роботов. // Монография. Издательство: изд-во Иркут. гос. ун-та. 2003. – 304с.

52. Нейдорф Р. А., Солоха А. А. Исследование возможностей квазиоптимального по быстродействию управления шаговым двигателем. Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону. 2006 г.

53. Никитин Г. А., Комаров А. А. Распределительные и регулирующие устройства гидросистем. М., Машиностроение, 1965. – 183с.

54. Никитина И.П. Оборудование машиностроительного производства: учебное пособие / И.П. Никитина. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. – 161с.

55. Никифорова Н. М. Теплотехника и теплотехническое оборудование предприятий промышленности строительных материалов и изделий. – М.: Высшая школа, 1981. – 271с.

56. Новиков Ф. А. Дискретная математика для программистов. Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2007. – 364 с.

57. Очков В. Ф. Mathcad PLUS 6.0 для студентов и инженеров. – М.: ТОО фирма «Компьютер пресс», 1996. -238с.- ил.

58. Паишков Е. В., Крамарь В. А., Кабанов А. А. Следящие приводы промышленного технологического оборудования: Учебное пособие. — 2-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 368 с.: ил.

59. Попов Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. М.: Машиностроение, 1987. – 464 с.

60. Предко М. Устройства управления роботами. – М.: ДМК Пресс.2005. - 404 с.: ил.

61. Приймак Б. И. Система цифрового управления асинхронным электроприводом промышленного робота. // Автореферат диссертации. г. Киев. 1996. – 19с.

62. Пытьев Ю.П. Возможность. Элементы теории и применения /Ю.П. Пытьев – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 190 с., ил.

63. Ридико Л. Схемотехника, журнал № 6, 7, 2001г.

64. *Рез Дж.* Промышленная электроника. – М.: ДМК Пресс; 2011. – 1136 с.: ил.
65. *Рогозин О.В.* Разработка и функционирование контроллера нечеткой логики в системах автоматического управления /О.В. Рогозин, И.В. Солодовников //Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2007. – № 2. – С. 56–63.
66. *Романов В.П.* Интеллектуальные информационные системы в экономике: учебное пособие /В.П. Романов, под ред. проф. Н.П. Тихомирова – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 496 с., ил.
67. *Роос Г.* Гидравлика систем водяного отопления. Учебное пособие – СПб.: Питер, 2009. – 368 с.: ил.
68. *Савчук В. П.* Обработка результатов измерений. Физическая лаборатория. Ч1: Учеб. Пособие для студентов вузов. — Одесса: ОНПУ, 2002. — 54 с. ил.
69. *Свешников В. К.* Станочные гидроприводы: справочник. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2008. – 640 с.: ил. (Б-ка конструктора)
70. *Сидняев Н. И.* Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. Учебное пособие, - М.: Юрайт-Издат, 2012. – 399с.
71. *Солодовников И.В.* Реализация механизма логического вывода для прототипа экспертной системы (ЭС) /И.В. Солодовников, О.В. Рогозин, О.В. Шуруев //Новые информационные технологии: материалы седьмого научно-практического семинара. – М.: Моск. гос. ин-т электроники и математики, 2004.
72. *Стегачев Е. В., Кристаль М. Г., Сергеев Ю. В.* Расчет основных параметров пневмовихревых захватных устройств повышенной грузоподъемности. ИЗВЕСТИЯ ВолгГТУ № 2 2010г. – 48-50стр.
73. *Сырицын Т. А.* Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика». – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.: ил.

74. *Талалай П. Г.* КОМПАС-3D V9 на примерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 592с.

75. *Татур Т. А.* Основы теории электромагнитного поля: Справочн. Пособие для электротехн. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 271с.

76. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника. 12 е изд. Том I: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс. 2003. - 832 с.: ил.

77. *Федосов Б. Т.* Краткое знакомство с ПК «МВТУ» (методические материалы) г. Рудный, 2003г.

78. *Фаронов В. В.* Delphi 2005. Язык, среда, разработка приложений . – СПб.: Питер, 2007.- 560с.: ил.

79. *Частиков А. П., Тотухов К. Е.* Теоретические основы интеллектуальной симуляции промышленных роботов. // Монография. Изд-во: LAP LAMBERT. Saarbrucken. 2013. – 111с.

80. *Хазиев Э. Л., Дмитриев С. В.* «Влияние охлаждения золотникового газораспределительного механизма на экологические показатели двигателя внутреннего сгорания». // «Глобальные проблемы экологизации в европейском сообществе: Сб. научных трудов Международной конференции, Международного информационно-экологического парламента» – Казань, (28-29 сентября 2006.)

81. *Хазиев Э. Л., Дмитриев С. В.* «Золотниковый газораспределительный механизм двигателя внутреннего сгорания с принудительным охлаждением» // «Проектирование и исследование технических систем. Межвузовский научный сборник». Выпуск 11. – Набережные Челны: ИНЭКА - 2007г.

82. *Хазиев Э. Л., Дмитриев С. В.* «Золотниковый газораспределительный механизм двигателя внутреннего сгорания с приводом от шагового двигателя» // «Проектирование и исследование технических систем. Межвузовский научный сборник». Выпуск 11. – Набережные Челны: ИНЭКА - 2007г.

83. *Хазиев Э. Л.* «Золотниковый газораспределительный механизм двигателя внутреннего сгорания с приводом от шагового двигателя» // «Студенческая наука в России на современном этапе: межрегиональная научно-

практическая конференция».(26 апреля 2008 г) Сборник докладов – Набережные Челны: Изд-во ИНЭКА.,2008г.

84. *Хазиев Э. Л.* «Параметры состояния рабочего тела в процессе газообмена двигателя внутреннего сгорания с использованием золотникового газораспределительного механизма» // «Проектирование и исследование технических систем. Межвузовский научный сборник». Выпуск 12. – Набережные Челны: Изд-во ИНЭКА 2008 г.

85. *Хазиев Э. Л., Дмитриев С. В.* «Золотниковый газораспределительный механизм двигателя внутреннего сгорания с приводом от шагового двигателя». // "Сборка в машиностроении приборостроении". Издательство Машиностроение. Москва №2 – 2009г. 18-21стр.

86. *Хазиев Э. Л.* Математическое моделирование системы управления пневматического манипулятора промышленного робота/ *Хазиев Э.Л.*// «Научно-технический вестник Поволжья» -2011. Вып. №3. – с.173-177.

87. *Хазиев Э. Л.* Система управления пневматическим промышленным роботом/ *Хазиев Э.Л.*// «Научно-технический вестник Поволжья» -2012. Вып. №4. – с.216-222.

88. *Хазиев Э. Л.* Расчет основных параметров кранового пневмораспределителя промышленного робота/ *Хазиев Э.Л.*// «Научно-технический вестник Поволжья» -2012. Вып. №4. – с.223-226.

89. *Хазиев Э. Л.* Управление промышленным пневматическим манипулятором с применением кранового пневмораспределительного механизма с приводом от электрического шагового двигателя. // Сб-к док. «IV Камские чтения»: межрегиональная научно-практическая конференция. Ч. 3. 27 апреля 2012г. – 146-149стр.

90. *Хазиев Э. Л.* Система управления пневматическим роботом // Материалы Международной научно-технической конференции "Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2013"(МНТК "ИМТОМ-2013") и Форума "Повышение конкурентоспособности и энергоэффективности машиностроительных

предприятий в условиях ВТО". Ч.2. - Казань, Изд-во "Фолиант" 2013.-108-111стр.

91. *Хазиев Э.Л., Хазиев М.Л.* Система управления пневматическим роботом на основе нечеткой логики // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 3 (часть 1) – С. 74-78;; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35695>

92. *Ханк Г.* Турбодвигатели и компрессоры: справочное пособие / Герт Ханк, Лангкабель. – М.: Астрель: АСИ, 2007, - 351 с. ил.

93. *Ярушкина Н.Г.* Основы нечетких и гибридных систем: учеб. пособие /Н.Г. Ярушкина – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.: ил.

94. *Ярушкина Н.Г.* Прикладные интеллектуальные системы, основанные на мягких вычислениях /Н.Г. Ярушкина – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 139 с.

95. Измерители пути Micropulse VTL. Каталог продукции фирмы BALLUFF. - 93с.

96. Патент № 158927 Российская Федерация, МПК F 16 К 11/00. Пневматический распределитель / Хазиев Э.Л., Дмитриев С.В. – №2015110333/06; заявл. 23.03.15; опубл. 20.01.16, Бюл.№2 – 2 с.

97. Пневмоавтоматика. Основной курс TP101. Учебное пособие фирмы FESTODIDACTIC - 145с.

98. Распределители с пропорциональным управлением MPYE. Каталог продукции фирмы FESTO. - 2016. - 10с.

99. Робот МП-9С. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Волжский автомобильный завод. 1986. – 22с., ил.

100. Учебный курс гидравлики. Учебное пособие фирмы Mannesmann-Rexroth.- 227с.

101. CAMOZZI. Пневматика для всех. Учебное пособие фирмы CAMOZZI. - 2015. - 240с.

102. FMS-3000 УСТРОЙСТВО ЧПУ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЬЮТЕРА. Программирование управляющих программ. Учебное пособие фирмы ООО "Модмаш-Софт" г. Нижний Новгород - 92 с.

103. FMS-3000 УСТРОЙСТВО ЧПУ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЬЮТЕРА. Описание языка электроавтоматики Описание системы параметров. Учебное пособие фирмы ООО “Модмаш-Софт” г. Нижний Новгород - 126 с.

104. FMS-3000 УСТРОЙСТВО ЧПУ Руководство оператора. Учебное пособие фирмы ООО “Модмаш-Софт” г. Нижний Новгород - 64с.

Хазиев Э. Л.

Нечеткое управление пневматическими системами обрабатывающих станков. 2018.

Методы современного машиностроительного производства и требования по быстрому переналаживанию, имеющихся в наличии мелких и средних предприятий технологических установок, на выпуск малосерийных изделий, вынуждают к интенсификации и интеграции программного и технического оснащения. Предлагаемое решение системы управления пневматическим приводом подачи и слежения позволяет, на основе использования программных средств нечеткой логики и XML-процессора встраивать в систему числового программного управления любого типа металлообрабатывающего станка программные модули работы пневматического привода для обеспечения технологических операций погрузки и выгрузки заготовок и деталей.

Представленные в монографии результаты исследований выполнены на базе Казанского федерального университета.

**More
Books!** 



yes
I want morebooks!

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн - в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов!
Мы используем экологически безопасную технологию "Печать-на-Заказ".

Покупайте Ваши книги на
www.morebooks.de

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.morebooks.de

SIA OmniScriptum Publishing
Brivibas gatve 1 97
LV-103 9 Riga, Latvia
Telefax: +371 68620455

info@omniscrptum.com
www.omniscrptum.com

OMNI Scriptum



