

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Энергетический институт

Направление 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривода и электрооборудования (ЭПЭО)

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

<b>Тема работы</b>
<b>Частотно-регулируемый электропривод трубопроводной арматуры</b>
УДК 62 – 83 – 529:621.646.25

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Тепляков В.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.кафедрой ЭПЭО доцент	Дементьев Ю.Н.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП**  
**13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике <i>навыки и умения</i> в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах <i>научного познания и творчества</i> , роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением <i>современных информационных технологий</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Энергетический  
 Направление – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Кафедра Электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Ю.Н. Дементьев  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Магистерской диссертации</b>
<small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГМ5А	Тепляков Владимир Васильевич

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод трубопроводной арматуры
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <small>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</small></p>	
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <small>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</small></p>	<p><i>В магистерской диссертации проведены:</i>                  Обзор литературы, обзор различных видов трубопроводной арматуры ;                  Выбор оборудования и расчет основных характеристик;                  Имитационное моделирование системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель для дискового затвора;                  Экономическая часть;                  Социальная ответственность.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <small>(с точным указанием обязательных чертежей)</small></p>	<p>Презентация по защите магистерской диссертации</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <small>(с указанием разделов)</small></p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Основной общий и специальный	Научный руководитель Однокопылов И.Г.

<i>разделы ВКР</i>	
<i>Экономическая часть ВКР</i>	<i>Кузьмина Н.Г.</i>
<i>Раздел экология и техника безопасности</i>	<i>Дашковский А.Г.</i>
<i>Раздел на иностранном языке</i>	<i>Пташкин А.С.</i>
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<i>Основная и специальная части, «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность» – русский язык</i>	
<i>На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:</i>	
<i>Введение</i>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ЭПЭО	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Тепляков В.В.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5А	Тепляков Владимир Васильевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения.	Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. Помещение имеет искусственный и естественный источник освещения. Основное рабочее оборудование – ПЭВМ, ЭП, ТА. (*)
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов.	1) ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Технический регламент по социальной; 2) N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" 3) N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда"

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	Вредные факторы: 1. Шум от работы ЭВМ, ЭП; 2. Вибрации от ЭП;
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	Опасные факторы: 1. Поражение электрическим током;; 2. Пожаропасность;
3. Экологическая безопасность	Основным воздействием на окружающую среду являются бытовые отходы и отходы возникающие при обслуживании оборудования, которые должны подвергаться утилизации.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	Перечень возможных ЧС на объекте: Пожарная опасность(*)
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Социальные гарантии по компенсации для работника.

### Перечень графического и инструктивного материалов:

--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.	к.т.н., Доцент		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Тепляков Владимир Васильевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГМ5А	Теплякову Владимиру Васильевичу

<b>Институт</b>	<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	<b>Направление/специальность</b>	
	Магистр	Электроэнергетика и электротехника/Электроприводы и системы управления электроприводов

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Оклад инженера 9р – 17000 руб. Оклад НР – 26300 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы амортизации – 20 %</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Социальные отчисления – 30 %</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Планирование работ и их временной оценки</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Смета затрат на проектирование</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Смета затрат на оборудование</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Анализ полученных результатов</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5ГМ5А	Тепляков В.В.		

## Оглавление

Реферат .....	9
ВВЕДЕНИЕ.....	10
1. ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА .....	13
1.1. Общие сведения об арматуре .....	13
1.2. Классификация арматуры .....	15
1.3. Основные типы арматуры.....	23
1.3.1. Задвижки.....	23
1.3.1.1. Клиновые задвижки.....	25
1.3.1.2. Параллельные задвижки .....	26
1.3.2. Клапаны .....	26
1.3.3. Краны .....	29
1.3.4. Затворы .....	31
2. ДИСКОВЫЕ ЗАТВОРЫ .....	34
2.1. «Имена» дискового затвора .....	34
2.2. Классификация дисковых затворов .....	40
2.3. Конструктивное исполнение дисковых затворов.....	40
2.3.1. Дисковый затвор с симметричным диском.....	40
2.3.2. Дисковый затвор с одинарным эксцентриситетом .....	42
2.3.3. Дисковый затвор с двойным эксцентриситетом .....	44
2.3.4. Дисковый затвор с тройным эксцентриситетом.....	46
3. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	48
3.1. Расчет и определение параметров двигателя дискового затвора .....	50
3.1.1. Определение параметров Т – образной схемы асинхронного двигателя АИР 56В4У2 .....	50
3.2. Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик .....	55
4. СИЛОВОЙ КАНАЛ ЭЛЕКТРОПРИВОДА .....	58
4.2. Выбор преобразователя частоты.....	59
4.3. Выбор закона частотного управления .....	65

4.4. Расчёт искусственных механических и электромеханических характеристик привода при частотном регулировании .....	67
<b>5. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ДИСКОВОГО ЗАТВОРА .....</b>	<b>74</b>
5.1. Проверка адекватности расчетов параметров асинхронного двигателя АИР 56В4У.....	74
5.2. Разработка имитационной модели преобразователь частоты – асинхронный двигатель для дискового затвора.....	76
5.3. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора со скалярным управлением .....	78
5.4. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора с корректировкой вольт – частотной характеристики на низких частотах .....	82
5.5. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора со скалярным управлением с компенсацией с наблюдение за углом нагрузки. ....	85
<b>6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ГАЗА</b>	<b>88</b>
<b>7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....</b>	<b>103</b>
7.1. Планирование работ и их временной оценки .....	103
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>110</b>
Список используемой литературы: .....	111
Приложение А .....	115

## Реферат

Выпускная квалификационная работа с 136., рисунков 59, таблиц 11, источников 41, 1 приложение. Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, скалярное управление, трубопроводная арматура, дискового затвора, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, преобразователь частоты, регулирование скорости. Объектом исследования является частотно-регулируемый электропривод трубопроводной арматуры. Цель работы – имитационное моделирование частотно-регулируемого электропривода трубопроводной арматуры

В результате исследования был исследован частотно-регулируемый электропривод трубопроводной арматуры. Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: полностью соответствующие заданию.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 на листах белой бумаги формата А4 с помощью программных средств Matlab, Mathcad.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В современном мире нам трудно представить жизнь без такого важного инженерного сооружения как трубопровод. По ним транспортируются воздух, вода, газ и другие агрегатные состояния вещества. Трубопроводы являются основными рабочими «артериями» в нефтяной и газовой промышленности. Подобно кровеносной системе, они работают 24 часа в день, семь дней в неделю, 365 дней в году, непрерывно обеспечивая наши энергетические потребности. Системы трубопроводов жизненно важны для экономики большинства стран мира.

На эти трубопроводы мы возлагаем надежды, на удовлетворение наших потребностей в энергии. Сегодня почти каждый человек в мире является потребителем газа и бензина, и поэтому, так или иначе, зависит от нефтепроводов и газопроводов. Трубопроводные системы стали стратегическими транспортными инфраструктурами в большинстве стран. Например: в США, Департаментом внутренней безопасности, газопроводы определены как важнейшие объекты инфраструктуры, так как они обеспечивают около двух третей энергетических потребностей Америки, и имеют важное значение для обеспечения жизнедеятельности населения, функционирования обороны, экономики и промышленности [1].

Для такой страны как Россия, с ее суровым климатом и гигантскими расстояниями, нефте- и газопроводы являются ключевым элементом в обеспечении внутренней и внешней безопасности.

Неотъемлемой частью системы трубопровода является трубопроводная арматура, необходимая для управления потоками рабочей среды. Есть множество устройств для управления трубопроводной арматурой. В современном мире, имеет место тенденция к автоматизации промышленного процесса, то есть к установке автоматических средств, для управления арматурой. Одним из главных векторов, определяющих развитие промышленного оборудования, является растущая автоматизация

производственных процессов. Ее важнейший аспект – дистанционное управление трубопроводной арматурой, доля которой составляет не менее 10-15% от общей стоимости технологических установок. Успешное и эффективное решение этой задачи невозможно без применения приводов трубопроводной арматуры.

В нормативных документах трубопроводная арматура определяется как техническое устройство, предназначенное для управления потоком рабочей среды путем изменения проходного сечения. Для того, чтобы эффективно управлять, она сама должна быть хорошо управляемой, а, значит, снаряженной необходимыми для этого средствами.

На протяжении многих не веков даже, а тысячелетий, людям приходилось обходиться ручным управлением. В крайнем случае, можно было задействовать конную тягу. Ничего другого не оставалось. А при тогдашнем уровне развития технологий и не требовалось.

Но это «равновесие» отсутствия потребностей и невозможности их удовлетворения не могло продолжаться бесконечно. Конец ему положили две сначала никак не соприкасавшиеся между собой тенденции.

Начиная с изобретения паровой машины, заметно ускорил свое поступательное движение научно-технический прогресс. Важнейшей вехой на этом пути стало изобретение электродвигателя в XIX веке. Были придуманы и буквально на глазах совершенствовались конструкции пневмодвигателей и гидравлических машин. Появилась принципиальная возможность воздействовать на арматуру не только вручную, но и с помощью компактного, удобного и мощного механизированного привода.

С другой стороны, по мере увеличения размеров трубопроводной арматуры и роста давления рабочей среды, справляться с ее управлением привычными способами становилось затруднительно, а иногда и вовсе невозможно. И случилось то, что должно было случиться, — в трубопроводную арматуру пришел механизированный привод. Его использование придало ей новое качество. Трубопроводная арматура стала намного безопасней и удобней

в эксплуатации и обслуживании, а ее работа — более надежной. На порядок выросла эффективность управления процессами, протекающими с ее использованием. Это дало принципиально новую возможность устройства масштабных многокомпонентных технологических систем, состоящих из связанных в единую систему десятков, сотен и тысяч единиц арматуры. Наличие приводов позволило устанавливать трубопроводную арматуру в труднодоступных, неудобных местах.

О том, сколь значимый технологический скачок был совершен благодаря внедрению механизированного привода, можно судить на простом примере. Оснащение в начале XX столетия электроприводами задвижек Dn 500, 600 и 700 мм позволило сократить время их закрытия с получаса до полутора минут, т. е. в пятнадцать раз.

## **1. ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА**

### **1.1. Общие сведения об арматуре**

В настоящее время для транспортирования энергоносителей (нефть, газ) используют железнодорожный, водный, автомобильный и трубопроводный (газопроводы, нефтепроводы) транспорт. В Российской Федерации практически весь газ до потребителя доставляется по газопроводам. Исключениями являются - этан, пропан и бутан [2]. Их перевозят танкерами, а также в цистернах или баллонах.

Строительство и обслуживание трубопровода – дело затратное, но оно того стоит. Это наиболее дешевый способ транспортировки газа на небольшие и средние расстояния. Газопроводы обладают следующими преимуществами:

- перекачка газа и его продуктов на большие расстояния;
- высокий темп доставки сырья на заводы, пункты хранения, к потребителю;
- круглогодичная работа без перерывов (с возможной кратковременной остановкой, если произошла аварийной ситуации и необходим ремонт);
- потери при транспортировке сведены к минимуму, благодаря надежности и конструктивным особенностям трубопроводов, и их профилактическому обслуживанию;
- эффективное функционирование в различных климатических зонах, в том числе в районах Крайнего Севера и Сибири;
- комплексное наблюдение и управление за всеми процессами.
- высокая степень автоматизации, надежность и простота в эксплуатации;
- разгрузка традиционных видов транспорта (автомобильный, железнодорожный, морской).

При всех преимуществах трубопроводный транспорт имеет некоторые недостатки:

- большие начальные капиталовложения при строительстве газопроводной сети (поэтому строительство экономически оправдано лишь при условии большой и стабильной подачи газа);

- опасность нанесения ущерба экологии, особенно это наблюдается при транспортировании подводных трубопроводов;

- затруднения прокладки трассы в определенных районах.

- проложенный маршрут трубопровода сложно изменить. Если появляются новые потребители энергоносителей, то нужны дополнительные капиталовложения.

Все перечисленные преимущества трубопроводной транспортировки газа и продуктов переработки сложно недооценить. Существующие недостатки использования трубопроводов можно уменьшить путем повышения качества трубопроводов и его труб элементов, а также комплексом мер по их профилактике и обслуживанию.

Неотъемлемым элементом любой трубопроводной системы является арматура. Арматура это комплект вспомогательных устройств и деталей, которые не входят в состав основных частей машины, конструкции и сооружений, предназначенная для обеспечения их правильной работы. Трубопроводная система это взаимосвязанная система трубопроводов, их опоры, арматуры, все соединительные детали, связанные с ней системы защиты и система защиты от коррозии.

Значение арматуры, широко применяемой во всех областях технологий (промышленности), играет важную роль. В денежном исчислении, расходы на нее достигают 10-15% капитальных вложений и эксплуатационных затрат, идущих на строительство и поддержание в рабочем состоянии трубопроводных систем. Без арматуры невозможно успешное функционирование большинства промышленных предприятий и инфраструктуры во всех ее проявлениях: энергетической, транспортной, коммунальной, газовой, атомной и прочей. Также от неё зависят не только экономическая эффективность, но что еще

более важно - экологическая безопасность системообразующих для экономики, и при этом потенциально опасных для окружающей среды предприятий таких отраслей как тепло- и электроэнергетика (в т. ч. атомная), нефтегазовая и химическая промышленность, коммунальное хозяйство.

При работе в различных системах арматура подвергается самым различным воздействиям: высоким и низким температурам, значительным давлениям, вибрациям, воздействию агрессивных жидкостей. Вследствие этого требования, предъявляемые к арматуре, чрезвычайно разнообразны. Основные из них – прочность, высокий срок службы, надежность и долговечность, низкая стоимость и технологичность изготовления, взрывобезопасность, коррозионная стойкость – являются противоречивыми и не могут быть обеспечены одновременно. Поэтому на сегодняшний день существует огромное количество различных конструкций, каждая из которых представляет определенный компромисс между этими противоречивыми требованиями.

## **1.2.Классификация арматуры**

Различают следующие виды арматуры [3]:

- трубопроводная арматура - затворы, задвижки, конденсатоотводчики, краны, клапаны и др. (ТПА);
- водоразборная арматура - водоразборные колонки и краны, пожарные гидранты);
- электротехническая арматура - щитки, патроны, выключатели, некоторые детали электрических машин, приспособления для крепления изоляторов и др.);
- печная арматура - металлические части, увеличивающие прочность металлургической печи);
- арматура контактной сети - зажимы и детали для соединения проводов контактной сети между собой, с поддерживающими устройствами и опорами) и др.

Трубопроводная арматура любого класса включает три основных элемента: корпус, привод и рабочий орган (запорный, регулирующий и др.). Рабочий орган состоит из седла и затвора, который перемещается или поворачивается относительно седла.

Трубопроводную арматуру классифицируют по следующим признакам [4]:

- 1) по функциональному назначению;
- 2) по условиям работы - давление, температура, агрегатное состояние, химическая активность и токсичность транспортируемой среды, температура и особые свойства (например, взрывоопасность окружающей среды);
- 3) по диаметру условного прохода (номинальный размер арматуры);
- 4) по способу присоединения корпуса к трубопроводу;
- 5) по конструкции корпуса;
- 6) в зависимости от способа герметизации рабочего органа в корпусе;
- 7) в зависимости от конструкции привода рабочего органа.

Классификация арматуры по функциональному назначению.

По функциональному назначению арматуру делят на следующие основные классы [4]:

- Запорная арматура, предназначенная для полного перекрытия потока рабочей среды. Основное назначение запорной арматуры – полное перекрытие рабочего потока по трубопроводу и в зависимости от технологического процесса возможность дальнейшего пропускания рабочей среды. Также она должна обеспечивать герметичность в затворе и по отношению к внешней среде. Применительно к запорной арматуре говорят о двух состояниях – «открыто» и «закрыто». Промежуточное положение рабочего органа может не предусматриваться. Использование запорной арматуры во всей промышленности составляет 80 % всей арматуры. Задвижки являются самым распространенным представителем данного типа арматуры;

- Предохранительная арматура, предназначена для автоматической защиты оборудования и трубопроводов, от недопустимого превышения

давления, угрожающего прочности системы, посредством сброса избытка рабочей среды. Также данный класс арматуры предотвращает недопустимый по технологическим соображениям обратный поток среды. Сюда можно отнести следующие виды арматуры: предохранительные клапаны, мембранные разрывные устройства, перепускные клапаны;

- Регулирующая арматура, предназначена для распределения потока среды, регулирования различных параметров технологических процессов (давления, напора, температуры, количества подаваемого вещества и т.д.). Регулирование параметров осуществляется посредством изменения расхода рабочей среды;

- Запорно-регулирующая арматура это арматура, которая совмещает функции запорной и регулирующей арматуры;

- Контрольная арматура, предназначена для определения уровень рабочей среды (предназначенная для управления поступлением рабочей среды в контрольно-измерительную аппаратуру, приборы);

- Обратная арматура, предназначенная для автоматического предотвращения обратного потока рабочей среды.

- Прочая арматура, предназначена для различных конкретных операций: удаления конденсата; выпуск воздуха из трубопровода и впуск воздуха в него; приемо-раздаточные операции; сброса рабочей среды из резервуаров; разделения рабочих сред, находящихся в разных фазовых состояниях; распределения потока рабочей среды или смешивания потоков; снижение рабочего давления в системе и т. п.

Классификация арматуры по условиям работы.

По условиям работы к арматуре предъявляют следующие требования: прочность, надежность работы, герметичность, взрывобезопасность и коррозионная стойкость. Требуемая прочность арматуры зависит в основном от рабочего давления и температуры. Рабочие давления и температуры имеют довольно широкий диапазон значений, в зависимости от технологий

конкретных производств. Поэтому они могут принимать любые значения. Поэтому с целью стандартизации и унификации арматуры принята следующая система условных давлений [4].

Классификация арматуры по величине условного давления.

По величине условного давления арматуру можно разделить на 5 групп [5]:

- 1) вакуумная (давление среды ниже  $1 \text{ кгс/см}^2$  ( $0,098 \text{ МПа}$ ))
- 2) низкого давления на  $P_y$  до  $1,6 \text{ МПа}$ ;
- 3) среднего давления на  $P_y$  от  $1,6$  до  $10 \text{ МПа}$ ;
- 4) высокого давления на  $P_y$  от  $10$  до  $100 \text{ МПа}$ ;
- 5) сверхвысокого давления  $P_y$  более  $100 \text{ МПа}$ .

Условное давление  $P_y$  является единственным параметром для изготавливаемой арматуры, гарантирующим ее прочность и учитывающим как рабочее давление, так и рабочую температуру. Условное давление соответствует допустимому для данного изделия рабочему давлению при нормальной температуре.

Рабочей температурой является наивысшая длительная температура перекачиваемой по трубопроводам рабочего потока (без учета кратковременных превышений температуры, которые допускаются техническими условиями).

Классификация арматуры по температурному режиму.

По температурному режиму трубопроводную арматуру можно разделить на следующие классы [5]:

- Криогенная арматура (глубокий холод), рабочие температуры ниже  $-153 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Арматура для низких температур (холодильная техника), работающая при температурах от  $-153 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $-70 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Арматура для пониженных температур, работающая при температурах  $-70 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Арматура обычная (средние температуры), изготавливаемая из углеродистой стали, ковкого или серого чугуна; арматура из углеродистой стали применяется для температуры от  $-40$  до  $+450$  °С, арматура из ковкого чугуна от  $-30$  до  $400$  °С; арматура из серого чугуна от  $-15$  до  $300$  °С.

- Арматура для высоких температур, изготавливаемая из специальных сталей и применяемая для температур от  $450$  до  $600$  °С.

- Арматура жаропрочная, применяемая для температур свыше  $600$  °С.

Классификация арматуры по диаметру условного прохода. По диаметру условного прохода:

Один из основных параметров арматуры, диаметр условного прохода  $D_y$  - номинальный внутренний диаметр трубопровода, на котором устанавливается трубопроводная арматура. Различные типы арматуры при одном и том же диаметре условного прохода могут иметь разные проходные сечения (например, полнопроходный шаровой кран, конический кран с трапециевидным проходом и дроссельный игольчатый клапан) [4].

Не следует смешивать диаметр условного прохода с диаметром проходного сечения в арматуре. Диаметр проходного сечения в арматуре часто меньше  $D_y$  (арматура с сужением прохода) или больше  $D_y$  (затворы с кольцевым проходным сечением). И также условный проход арматуры не совпадает и с фактическим проходным диаметром трубопровода. Так, трубопровод из трубы размером  $325 \times 16$  мм имеет фактический внутренний диаметр (без учета допусков)  $293$  мм, а номинальный диаметр —  $300$  мм.

По диаметру условного прохода различают арматуру:

- 1) Малых проходов ( $D_y \leq 40$  мм). Применяется в разветвленной сети водопроводов, газопроводов, в аппаратах и т. д. Изготавливается в большом количестве;

- 2) Средних проходов ( $D_y = 50 - 250$  мм). Применяется для разводящих линий трубопроводов и отдельных магистралей, изготавливается крупносерийно;

- 3) Больших проходов ( $D_y > 250$  мм). Используется в основном в магистральных трубопроводах, изготавливается серийно или мелкосерийно.

Классификация арматуры по способу присоединения корпуса.

По способу присоединения корпуса к трубопроводу арматуру делят на [4]:

1. Фланцевая арматура. Фланец, элемент, дополняющий конструкции арматуры, представляет собой плоский элемент крепления в виде металлических плоских колец или дисков с отверстиями для резьбового крепежа (болтов или шпилек с гайками). Фланцевые соединения отличаются прочностью и надежностью, что позволяет использовать их для комплектации трубопроводных систем, работающих под высоким давлением. Недостаток данного типа соединения вытекает из его достоинств. Высокая прочность оборачивается значительными габаритными размерами и массой. Фланцевая арматура выпускается на диаметры от 50 до 500 мм [6];

2 Муфтовая арматура. Данный тип присоединения применяют для различных типов арматуры малого и среднего диаметра, работающих при низких и средних давлениях, корпус которых изготовлен из чугуна или сплавов цветных металлов. Муфтой называют трубку, обеспечивающую соединения цилиндрических частей машин. В присоединительных патрубках муфтовой арматуры резьба находится с внутренней стороны, а снаружи присоединительные концы оформляют в виде шестигранника, с целью удобства пользования ключом [6];

3. Под приварку. Под приварку подготавливают присоединительные концы арматуры больших диаметров, когда надежность всех других видов соединений становится недостаточной. Особенно востребована сварка при устройстве трубопроводных систем, в которых рабочей средой являются токсичные, ядовитые или радиоактивные жидкости и газы. В этом случае сварочное соединение, при правильном исполнении обеспечивающее 100% герметичность, может оказаться оптимальным, а зачастую и единственно приемлемым решением. Важными достоинствами сварных соединений являются: минимальный вес, компактность и экономия пространства [6];

4. Цапковая арматура. Цапковое соединение используется для арматуры высокого давления небольших размеров, в частности, приборов КИП. Данный тип соединения эффективен при ввинчивании арматуры в корпус машин, установок, сосудов или аппаратов. Герметичность соединения обеспечивается наличием прокладок и специальными смазками [6].

5. Штуцерная арматура. В штуцерном соединении присоединительный конец арматуры с наружной резьбой посредством накидной гайки подтягивается к трубопроводу. Его используют для арматуры малого и сверхмалого диаметров (до 5 мм). Как правило, это лабораторная или иная специальная арматура. Например, редукторы, устанавливаемые на баллонах со сжатым газом [6].

Классификация арматуры по конструкции корпуса.

По конструкции корпуса арматуру подразделяют на две основные группы [7]:

1. Проходная трубопроводная арматура. У проходной ТА оба присоединительных патрубка расположены на одной оси или со смещением на параллельных осях, и рабочая среда не меняет направления своего движения на выходе по сравнению с входом;

2. Угловая трубопроводная арматура. У угловой ТА присоединительные патрубки расположены под углом друг к другу, причем наиболее часто под прямым углом, рабочая среда меняет направление движения на угол до  $90^\circ$  (в случае прямого угла). Расположение патрубков под прямым углом позволяет в некоторых случаях упростить конструкцию арматуры и избежать необходимости установки на трубопроводе дополнительного отвода для поворота рабочего потока.

Классификация арматуры по способу герметизации.

В зависимости от способа герметизации рабочего органа в корпусе различают:

По способу уплотнения подвижного сопряжения шпindel - крышка арматура подразделяется на сальниковую, сильфонную и мембранную. Для

управления диском, клином, цилиндром или конусом, перекрывающим поток среды, из полости арматуры, заполненной средой, выводится наружу шпindelь или вал, образующий с крышкой или корпусом подвижное сопряжение, которое должно быть уплотнено. Для этой цели применяются сальники, сильфоны или мембраны [5].

Классификация арматуры в зависимости конструкции привода.

В зависимости от конструкции привода рабочего органа трубопроводную арматуру разделяют на:

1. Автоматически действующая (автономная) ТА. Управление рабочим органом и рабочий цикл определяется без каких-либо посторонних источников энергии, без участия оператора. Рабочая среда сама непосредственно воздействует на затвор или чувствительный элемент. К этому типу относятся обратные клапаны, срабатывающий под действием изменения направления потока, регуляторы давления и расхода, конденсатоотводчики, терморегуляторы и другие виды арматуры [7].

2. Управляемая ТА. Отличается тем, что перемещение рабочего органа осуществляется за счет внешнего силового воздействия от некоего внешнего источника энергии - ручного усилия, электрическим мотором, пневмоприводом или гидроцилиндром. Управление ТА можно иметь несколько типов приводов:

- Ручной привод. Ручное управление производится преимущественно, когда арматура переключается редко, используется как запасная или резервная, предназначенная на случаи аварии, ремонта трубопроводной сети и т. д. Управляется вручную вращением вентиля, который передает движение через редуктор [5];

- Механический привод. Данная арматура имеет привод, который приводит заслонку в движение через редуктор. Механический привод действует либо от постороннего источника энергии, либо использует энергию рабочей среды трубопровода. Привод может быть электрическим, электромагнитным, пневматическим или гидравлическим [5].

- Дистанционное управление (дистанционный привод). Управляемая ТА под дистанционно расположенный привод отличается наличием специальной механической передачи, позволяющей отнести источник силового воздействия от самой арматуры. Управляется арматура ручным либо механическим приводом, при помощи передачи, состоящей из системы валов, подшипников, зубчатых колес и тросов.

### **1.3. Основные типы арматуры**

Основных типов арматуры еще меньше, чем видов (классов). Выделим четыре типа арматуры: задвижка, клапан, кран, дисковый затвор. Принадлежность к каждому из них определяется конструктивными особенностями, выраженными в направлении перемещения запирающего или регулирующего элемента относительно потока рабочей среды. Они могут иметь различные принципиальные конструкции затвора. По этому признаку выделяют следующие основные типы трубопроводной арматуры: задвижки, клапаны, краны, затворы [7].

#### **1.3.1. Задвижки**

Задвижка - промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный орган перемещается возвратно-поступательно перпендикулярно оси потока рабочей среды [3]. Задвижки широко применяют во всех областях промышленности для перекрытия потоков газообразных или жидких сред в трубопроводах с диаметрами условных проходов от 50 до 2000 мм при рабочих давлениях 0,4 - 20 МПа и температурах среды до 450°C. Иногда задвижки изготовляют и на более высокие давления. Запирающий элемент обычно находится в крайних положениях «открыто» и «закрыто». Также возможно применение задвижек для двухпозиционного (дискретного) регулирования потока рабочей среды. Перекрытие рабочего потока в задвижках

осуществляется за счет запорного элемента, перегораживающего поток. Принципиальная схема задвижки представлена на рисунке 1 [7].

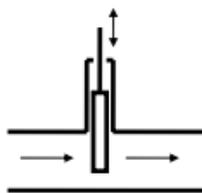


Рисунок 1 - Принципиальная схема задвижки

Задвижки устанавливаются на прямых участках трубопровода, разобщая трубопровод на две части.

По конструкции затвора задвижки могут быть квалифицированы два основных типа:

1) Клиновые задвижки: с цельным (жестким) клином, упругим или составным клином (двухдисковые);

2) Параллельные задвижки, однодисковые, двухдисковые, шиберные.

По сравнению с другими видами запорной арматуры задвижки имеют следующие преимущества и недостатки:

Преимущества задвижек:

- незначительное гидравлическое сопротивление при полностью открытом проходе;
- отсутствие поворотов потока рабочей среды;
- возможность применения для перекрытия потоков среды большой вязкости;
- относительно небольшая строительная длина;
- возможность подачи рабочей среды в любом направлении.

К недостаткам задвижек следует отнести:

- невозможность применения задвижек для рабочих сред с кристаллизующимися включениями;
- сравнительно небольшой допустимый перепад давлений на затворе;
- невысокая скорость срабатывания;
- опасность получения гидравлического удара в конце хода;

- трудности ремонта изношенных уплотнительных поверхностей затвора при эксплуатации.

### 1.3.1.1. Клиновые задвижки

К клиновым относятся задвижки с запорным элементом, который имеет вид клина. В клиновых задвижках седла и их уплотнительные поверхности параллельны уплотнительным поверхностям затвора и расположены под некоторым углом к направлению перемещения затвора. Конструкция клиновой задвижки представлена на рисунке 2 [3].

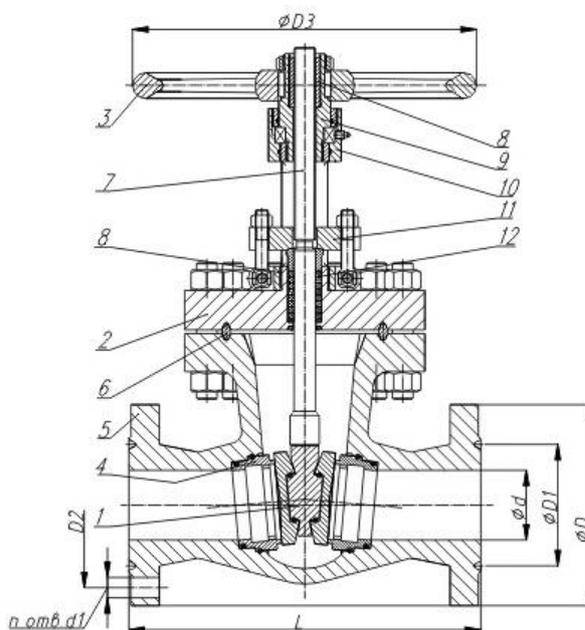


Рисунок 2 – Задвижка клиновая. 1 – клин, 2 – крышка, 3 – маховик, 4 – седло, 5 – корпус, 6 – кольцо уплотнительное, 7 – шпindelь, 8 – втулка резьбовая, 9 – втулка, 10 – стойка, 11 – фланец сальника, 12- сальниковое уплотнение из терморасширенного графита

Преимущества клиновых задвижек: повышенная герметичность в закрытом положении. Для обеспечения уплотнения необходимо приложить относительно небольшую величину усилия. Угол между направлением усилия привода и усилиями, которые действуют на уплотнительные поверхности

затвора, близок к  $90^\circ$ . Поэтому даже небольшая сила, передаваемая приводом шпинделю, может вызвать значительные усилия в уплотнении.

Недостатками этого типа задвижек являются необходимость использования направляющих для перемещения затвора, повышенные износ уплотнительных поверхностей затвора и технологических трудностей, связанных с получением герметичности в затворе.

### **1.3.1.2. Параллельные задвижки**

Параллельная задвижка – задвижка, у которой уплотнительные поверхности элементов затвора взаимно параллельны и расположены перпендикулярно к направлению потока рабочей среды. Затвор в параллельных задвижках обычно имеет вид диска, шибера или ножа. На всем пути движения затвора отсутствует трение уплотнительных поверхностей, что позволяет в двухдисковых задвижках уплотнить проход с помощью эластичных колец. Кольца монтируются на дисках затвора [3].

Преимуществами параллельной конструкции являются простота изготовления затвора, легкость сборки и ремонта, отсутствие заедания затвора в полностью закрытом положении.

Параллельные задвижки имеют существенные недостатки: на всем пути движения привод преодолевает трение между уплотнительными поверхностями седел и затвора, поэтому необходим большой расход энергии для того чтобы закрыть и открыть затвора. Отсюда вытекает следующий недостаток, значительный износ уплотнительных поверхностей.

### **1.3.2. Клапаны**

Клапан - промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный или регулирующий орган перемещается возвратно-поступательно параллельно оси потока рабочей среды. Затвор имеет вид плоской или конусной тарелки. В

некоторых конструкция затвор может двигаться по дуге. Принципиальная схема клапана представлена на рисунке 3 [7].

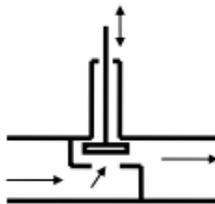


Рисунок 3 - Принципиальная схема клапана

Клапаны используются для создания перепада давления (дрессельные), для предотвращения обратного потока жидкости (обратные), для частичного выпуска рабочей среды при повышении давления сверх установленного уровня (предохранительные), для понижения давления и поддержания его постоянным (редукционные), для регулирования расхода потока (регулирующие). Также клапаны применяют как запорную арматуру для герметичного отключения трубопроводов, технологических аппаратов, энергетических установок и др.

Достоинства клапанов:

- возможность работы при высоких перепадах давлений на запорном органе и при больших значениях рабочих давлений;
- простота конструкции, обслуживания и ремонта в условиях эксплуатации;
- для полного перекрытия прохода необходим небольшой ход запорного органа ( $0,25 D$ );
- относительно небольшие габаритные размеры и масса;
- возможность использования в качестве регулирующей арматуры;
- возможность установки на трубопроводе в любом пространственном положении.

Недостатки клапанов:

- высокое гидравлическое сопротивление, возникающее из-за двукратного изменения направления движения рабочего потока внутри

корпуса. Еще одной причиной является проходное сечение седла меньше чем у задвижек;

- невозможность применения при работе с сильно загрязненными рабочими средами и средами с высокой вязкостью;

- подача рабочей среды возможна только в одном направлении. Это обусловлено конструкцией клапана.

По назначению клапана: предохранительные; обратные; смешивающие; поплавковые - для контроля и регулирования уровня жидкостей емкостях; регулирующие; балансировочные - для присоединения импульсной трубки к обратному трубопроводу.

По конструкции запорного элемента запорные клапана можно разделить: мембранные (диафрагмовые) и золотниковые.

Мембранные клапаны. Затвор представляет из себя упругую гибкую мембрану, которая под действием приложенного усилия прогибается в направлении, перпендикулярном оси движения потока [3]. Седло представляет из себя край перегородки, стоящую поперек канала для протока рабочей среды. При прогибе мембрана плотно примыкает к краю перегородки и перекрывает свободное сечение для прохода потока. Данный тип клапанов предназначен для перекрывания потоков рабочих сред при невысоких температурах и невысоких рабочих давлениях. Преимущество мембранных клапанов, отсутствие «застойных» зон и полная герметизация.

Золотниковые клапана. Основной частью клапана является золотник. Золотник может быть различной формы: тарельчатым, игольчатым, поршневым (цилиндрическим), сферическим. Его форма зависит от конструктивного исполнения уплотнительных поверхностей – конусные, плоские, сферические [3].

Золотник находится в цилиндрическом канале и при своем перемещении открывает или закрывает своей боковой поверхностью отверстия, которые имеются в цилиндрическом канале. Перемещение золотника может осуществляться сжатым воздухом, поступающим к торцу золотника, или

механическими тягами. Возврат золотника в начальное положение обычно осуществляется пружиной [8].

### 1.3.3. Краны

Кран - промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный или регулирующий орган имеет форму тела вращения, который поворачивается вокруг собственной оси, перпендикулярно направлению оси потока рабочей среды. Тело вращения (затвор) имеет отверстие для пропуска потока рабочей среды. Затвор часто называют пробкой [3].

Кран находится в открытом положении, если ось отверстия затвор совпадает с осью трубопровода. Поток может протекать через отверстие. Если же затвор повернуть на  $90^{\circ}$ , то ось отверстия станет перпендикулярна оси трубопровода и кран закроется. Поэтому для того чтобы открыть или закрыть кран, требуется совершить всего один поворот затвора на  $90^{\circ}$ . Поэтому краны, как правило, снабжают рукояткой. Любой кран состоит из двух основных деталей: неподвижный (корпус) и подвижный, вращающийся затвор. Принципиальная схема крана представлена на рисунке 4 [7].

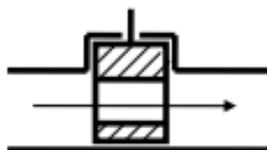


Рисунок 4 - Принципиальная схема крана

Классифицировать краны можно следующим образом [3]:

В зависимости от характера движения пробки:

- краны с вращением пробки без подъема;
- краны с вращением пробки и с её подъемом (отжимом) перед поворотом и последующим опусканием (прижимом) после поворота.

Корпуса и пробки кранов изготавливают из различных материалов: бронзовые, латунные, цинковоалюминиевые чугунные, стальные, титановые,

пластмассовые, керамические, графитовые и др. Уплотнительные поверхности изготавливают из металлических, пластмассовых, графитовых материалов.

По конструкции корпуса различают краны с разъемом параллельным, перпендикулярным или наклонным к оси трубопровода и с цельным корпусом (без разъема).

Область применения кранов ограничивается давлением в виду наличия скользящих рабочих элементов.

В зависимости от геометрической формы уплотнительных поверхностей пробки и затвора краны разделяют на три основных типа:

- шаровые или сферический затвор, рисунок 5-а;
- цилиндрические, рисунок 5-б;
- конусный, рисунок 5-в.

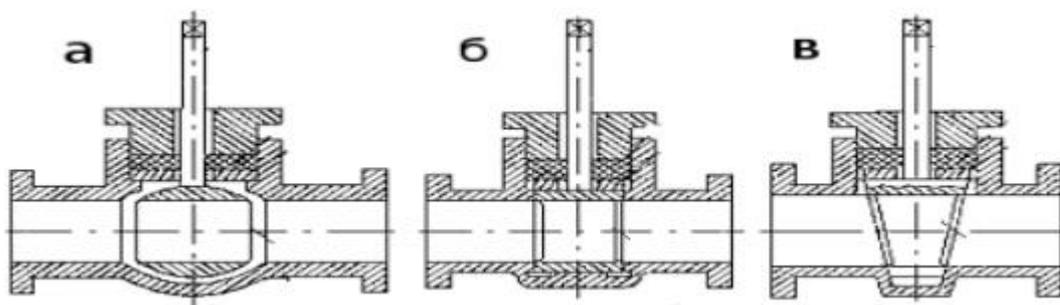


Рисунок 5 – Краны – а шаровой, б – цилиндрический, в – конический.

Достоинства кранов:

- малое время открытия и закрытия (для открытия/закрытия достаточно повернуть маховик на  $90^\circ$ )
- незначительная величина гидравлическое сопротивление;
- небольшая строительная высота и длина;
- полнопроходность, в шаровых кранах, допускающая возможность механизированной очистки трубопровода;
- простота конструкции и управления;
- возможность применения при работе с вязкими или загрязнёнными средами;

- универсальность (возможность использования в качестве запорного или регулирующего устройства).

Недостатки кранов:

- для управления кранами с большими условными диаметрами прохода, необходимы большие значения крутящих моментов;
- снижение герметичности в конусных кранах, из – за неравномерного износа по высоте пробок;
- необходимость применения (для некоторых разновидностей) неметаллических уплотнительных элементов;

#### **1.3.4. Затворы**

Затвор – промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный или регулирующий орган поворачивается вокруг оси, не являющейся его собственной осью. Это определение взято из недействительного ГОСТа 24856-81. В новом ГОСТе в трубопроводной арматуре осталось определение только дискового затвора [3].

Дисковый затвор – тип трубопроводной арматуры, в котором запирающий или регулирующий элемент имеет форму диска, поворачивающегося вокруг оси, расположенный перпендикулярно или под углом к направлению потока рабочей среды. Не рекомендуется употреблять термин заслонка, запорная заслонка, поворотный затвор. Не правильно откидной клапан, поворотный клапан, поворотно-дисковый клапан, клапан бабочка, дроссельный клапан.

Ходом дискового затвора, является вращательное перемещение запирающего (регулирующего) элемента (затвора). Управление такими затворами может осуществляться с помощью электропривода или вручную.

В промышленности такой тип арматуры используется в следующих вариантах:

•Запорно-регулирующая арматура в вентиляции (дроссельные заслонки). Дроссельная заслонка (рисунок 6) типа КР 150 используемая в вентиляции для контроля над потоком воздуха. Для предотвращения распространения продуктов горения из одного помещения в другое и огня по воздуховодам применяются противопожарные клапаны (рисунок 7);

•Запорная арматура при работе с сыпучими материалами (рисунок 8). Эта арматура служит для дозирования, транспортировки и обработке сыпучих материалов

•Запорно-регулирующая арматура применяется в различных областях промышленности;

•Обратный затвор (недопустимо - обратный клапан), рисунок 9. Обратный затвор препятствует обратному течению рабочей жидкости при порыве трубопровода. Главное различие обратного затвора и обратного клапан кроется в их конструкции, а именно в конструкции запорного элемента. Как было отмечено ранее, у клапана запорный элемент представлен в виде золотника, а у затвора используется круглый диск, который часто называют захлопкой. Еще одним различием является направление потока рабочей среды, обратные клапаны выполняются проходными (направление потока в них не изменяется) и угловыми (направление потока меняется на  $90^\circ$ ), а обратные затворы – только проходными;

•Дисковый затвор применяется в качестве запорно-регулирующего устройства на трубопроводах для регулирования (транспортировки) газ, воды, пара, нефти, масел, жидких неагрессивных нефтепродуктов. Затворы широко применяются в газоперерабатывающей, нефтяной, химической, металлургической и энергетической промышленности.



Рисунок 6 - Дроссельная круглая заслонка типа КР 150



Рисунок 7 - Клапан противопожарный систем вентиляции КЛОП-1



Рисунок 8 - Внешний вид затворов: а - откидной типа ТКВ; б - затвор для открытых резервуаров

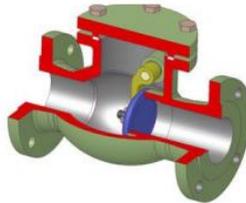


Рисунок 9 - Обратный затвор

## **2. ДИСКОВЫЕ ЗАТВОРЫ**

История изобретения дискового затвора теряется в глубине веков. Во всяком случае, т. н. захлопки или их прототипы использовались в водяных насосах, появившихся еще в цивилизациях Древнего мира - в Греции и Риме [9].

В период с 1774 по 1784 годы, знаменитый британский изобретатель Джеймс Уатт работал над совершенствованием паровой машины. В конструкцию созданного им технического устройства входил поворотный затвор.

В начале XX столетия, 1901 год, поворотный дисковый затвор под названием «дроссельная заслонка» был использован в топливной системе собранного в Германии автомобиля Mercedes.

На первом этапе своего существования дисковые затворы использовались преимущественно в качестве не очень герметичной арматуры на трубопроводах большого диаметра. Совершенствование конструкции позволило применять их при более высоких значениях температуры и давления, что обеспечило продвижение в области производства с тяжелыми условиями эксплуатации.

После появления новых материалов для изготовления уплотнительных элементов, это стало возможным после успехов в химической индустрии, еще больше расширили возможности дисковых затворов.

### **2.1.«Имена» дискового затвора**

Применительно к дисковому затвору всегда использовали самые разные названия: заслонка, дроссельная заслонка, дроссель-клапан, герметический клапан (гермоклапан), поворотный элемент и другие [9].

«ГОСТ 24856 – 81. Арматура трубопроводная промышленная. Термины и определения» именовал его предельно коротко – затвор.

В «СТ ЦКБА 011 – 2004. Арматура трубопроводная. Термины и определения» указано, что использовать названия «заслонка» и «затвор» не рекомендуется, а «клапан герметический» и «гермоклапан» – вообще недопустимо.

«ГОСТ Р 52720 – 2007 Арматура трубопроводная. Термины и определения» свое отношение к терминам «герметический клапан» и «гермоклапан» смягчил, «переведя» их из «недопустимых» в «нерекомендуемые».

В ГОСТ 24856 – 2014 они полностью «узаконены», но только для трубопроводной арматуры систем вентиляции. Именован затвор дисковый «заслонкой», «затвором поворотным», «поворотно-дисковым затвором» этот нормативный документ не рекомендует.

Название «дисковый затвор» может видоизменяться. Например, обратную арматуру, конструктивно выполненную в виде дискового затвора, предназначенного для предотвращения обратного потока рабочей среды, называют обратный затвор или, если он снаряжен диском, состоящим из двух половин, прижимающихся к седлу пружинами, – обратный двустворчатый затвор. Кстати, ГОСТ 24856 – 2014 не рекомендует называть его захлопка.

ГОСТ 24856 – 2014 дает следующее определение дисковому затвору:

Дисковый затвор – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент имеет форму диска, поворачивающегося вокруг оси, перпендикулярной или расположенной под углом к направлению потока рабочей среды, в ГОСТ 24856 – 2014, АРМАТУРА ТРУБОПРОВОДНАЯ. Термины и определения [10].

Дисковый затвор представляет (рисунок 16) собой короткий цилиндрический корпус, через который протекает рабочая среда. Внутри корпуса расположена подвижная часть (рабочий орган) – диск, имеющий возможность вращаться с помощью штока вокруг своей оси и таким способом, прижимаясь к седловому уплотнению, которое чаще всего выполнено с резиновым уплотнительным кольцом, и перекрывать проход рабочей среды.



Рисунок 10 - Устройство дискового затвора

Одной из тенденций развития научно–технического прогресса является разделение круга решаемых задач между используемыми «в связке» материалами. Один материал обеспечивает необходимую конструктивную прочность, другой – требуемые функциональные качества. Такое объединение усилий позволяет повысить эксплуатационные параметры деталей технических устройств и добиться существенного снижения материалоемкости.

Такая тенденция нашла свое применение и в конструкции дисковых затворах, в виде вкладышей. Вкладыши выполняют роль второго корпуса. Также вкладыши называют седлом и рубашкой. Он может быть съемным или монолитным с корпусом

Рабочая среда при наличии вкладыша контактирует только с диском и уплотнением. Поэтому задача подобрать материал корпуса для конкретной рабочей среды отпадает. В большинстве случаев можно остановиться на чугуне. Это значительно уменьшает стоимость готовых изделий.

Конструкция вкладыша позволяет отказаться от использования дополнительных уплотнений при монтаже дискового затвора между фланцами трубопровода.

Корпуса дисковых затворов выполняются преимущественно из чугуна и стали. Первый представлен серым чугуном и высокопрочным чугуном с шаровидным графитом. Сталь представлена разными видами: углеродистая,

низколегированная хладостойкая, нержавеющая, в т. ч. с повышенным содержанием молибдена. Реже используют цветные металлы: алюминиевые сплавы, бронзу, монель (сплав никеля и меди).

Рабочий орган (диск) преимущественно изготавливают из стали и чугуна. Они могут быть выполнены из титана и цветных металлов, например, бронзы. Бронзовые диски применяются, когда рабочей средой является морская вода. Нержавеющая сталь лучше других материалов подходит для контакта с пищевыми рабочими средами.

Для изготовления штоков применяют легированные или нержавеющие стали.

Для футеровки корпусов дисковых затворов способом вулканизации используют различные материалы: композитные армированные пластики, высокомолекулярный полиэтилен, поливинилдиенфторид, поливинилхлорид, политетрафторэтилен (фторопласт-4), полихлортрифторэтилен. В результате формируется несъемное монолитное стекло.

«Футеровка – специальная отделка для обеспечения защиты поверхностей от возможных механических, физических, термических и химических повреждений»

Съемные вкладыши изготавливают из различных каучуков – каучука на основе сополимера этилена ЭПДМ (EPDM), хлоропреновых каучуков (Neoprene), фторорганических каучуков (торговая марка Viton), а также нитрильной резины, полиэтилена (Nupalon), силикона и др.

Вкладыши могут быть как эластомерными, так и комбинированными – резинометаллическими.

Например, в компании АРМАТЭК для дисковых затворов серий «Эксклюзив» и «Эксклюзив-М» применяются резинометаллические вкладыши. Износостойкие резинометаллические вкладыши увеличивают надежность и ресурс дисковых затворов, помогают им выдерживать повышенные давление и температуру. Такие затворы применяются в горячем водоснабжении, при

перекачке агрессивных сред, содержащих абразивные включения и других сложных условиях.

Для защиты от агрессивного воздействия рабочей среды корпус и диск снаряжают дополнительной защитой, снаружи и изнутри наносят эпоксидное покрытие. Эпоксидное покрытие предохраняет дисковый затвор от влияния погодных условий снаружи и агрессивных (сред) испарений изнутри.

Используют полную футеровку корпуса и диска, покрывая их фторопластом, резиной и другими материалами.

Специальными покрытиями может быть защищена поверхность диска. Использование гуммированных (с резиновым покрытием) и футерованных (с полимерным покрытием) дисков позволяет эксплуатировать затворы в агрессивных средах или пищевых средах, крайне чувствительных к материалам, с которыми они контактируют. Если при изготовлении дисков можно применять углеродистые стали вместо легированных, можно снизить стоимость дисковых затворов без ухудшения их эксплуатационных параметров.

Гуммированные и футерованные диски использованы в дисковых затворах производства компании АРМАТЭК серий «Универсал», «Стандарт», «Эксклюзив»

Тщательно отполированная сферическая рабочая поверхность диска обеспечивает хорошую герметичность, меньший момент, необходимый для поворота диска, а также продолжительный срок службы уплотнения.

Дисковые затворы создают небольшое гидравлическое сопротивление потоку, обладают высокой герметичностью перекрытия потока в обоих направлениях, не требуют дополнительных прокладок в местах присоединения к трубопроводу, не требуют дополнительной смазки рабочих частей, ухода и регулировки.

Дисковые поворотные затворы позволяют соединить в одной конструкции две основные функции трубопроводной арматуры: регулирующие и запорные. Область применения дисковых затворов ограничена их

конструкцией, которая плохо приспособлена для работы при средних и высоких давлениях рабочей среды.

Преимущества дисковых затворов:

- Дисковые затворы можно применять на трубопроводах с большим диаметром;

- Затворы легко и просто монтируются и ремонтируются. Элементы уплотнения заменяются весьма быстро. Это можно сделать без демонтажа изделия;

- Затворы очень просты в эксплуатации;

- Затворы не нуждаются в постоянном уходе;

- Отсутствуют мест скопления грязи;

- Простота конструкции, малое количество деталей;

- Малозначительные значения гидравлических сопротивлений.

- Небольшие габариты и малый вес.

Недостатки дисковых затворов:

- Затруднение получения расчетных пропускных характеристик, если эксплуатировать дисковый затвор в качестве регулирующей заслонки;

- Дисковые затворы, полностью выполненные из металла (уплотнение металл) обладают низким уровнем герметичности;

- Ухудшенные гидравлические характеристики затвора в открытом положении. Диск в открытом положении заслоняет проход корпуса. За счет этого происходит ухудшение гидравлических сопротивлений. Очистка трубопровода механическими устройствами затруднена;

- Необходима установка редуктора для управления дисковым затвором, если он установлен на трубопроводе большого диаметра.

## **2.2.Классификация дисковых затворов**

1) По типу присоединения к трубопроводу [3]: фланцевые, под приварку, муфтовые; межфланцевые (стяжные).

2) По материалам уплотнения в затворе: эластичное уплотнение, металл по металлу.

3) По типу привода: электрический, пневматический, гидравлический, ручной, ручной с редуктором, под дистанционное управление.

4) По исходному положению запирающего (регулирующего) элемента (затвора):

- Нормально открытый, при прекращении подвода энергии, создающее перестановочное усилие, затвор открывается;

- Нормально закрытый, при прекращении подвода энергии, создающее перестановочное усилие, затвор закрывается.

5) По функциональному назначению: запорный, регулирующий; запорно – регулирующий.

## **2.3.Конструктивное исполнение дисковых затворов**

Дисковые затворы по конструкции «диск-уплотнение» могут изготавливаться в следующих вариантах: с симметричным диском; с одинарным эксцентриситетом; с двойным эксцентриситетом; с тройным эксцентриситетом [3].

### **2.3.1. Дисковый затвор с симметричным диском.**

Рассмотрим затворы с симметричным диском. Дисковые затворы с симметричным диском имеют в своей основе эластичный элемент уплотнения (вкладыш) и диск в различных исполнениях (металлический или с полимерным

покрытием). Тип присоединения к трубопроводу – межфланцевый (стяжной) [11].

Конструкция затвора с симметричным диском изображена на рисунке 11.

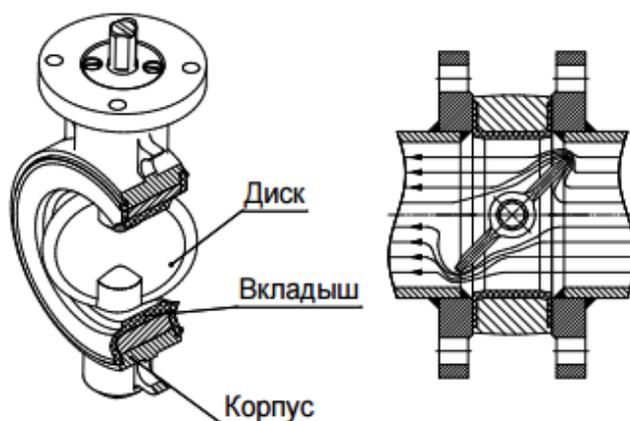


Рисунок 11 - Конструкция затвора с симметричным диском

Конструкция представляет собой помещенный в корпус из короткого отрезка трубы диск, который вращается на валу. Ось вращения диска пересекает ось уплотнительного седла. Угол полного поворота равен 90 градусам. При положении диска вдоль корпуса, поток почти не испытывает сопротивления при прохождении через затвор.

Устанавливают дисковые затворы с симметричным диском в трубопроводах с низким давлением.

Затворы поворотные с симметричным диском от других, широко применяемых типов трубопроводной арматуры, выгодно отличаются следующие преимущества:

- малый вес;
- малая строительная длина;
- герметичное перекрытие потока в обоих направлениях (класс А) по ГОСТ Р 54808-2011;
- ремонтпригодность;
- устойчивость к средам с содержанием механических примесей;
- высокая пропускная способность;
- запорная и регулирующая функция.

Значительным шагом вперед в развитии дисковых затворов стало расположение диска с эксцентриситетом. В этом случае ось, вокруг которой происходит вращательное движение диска, смещена относительно своего «классического» положения» (когда она пересекает ось уплотнения) [9]. Это решение помогло устранить трение уплотнительных поверхностей как в момент начала движения диска, так и в момент прижима. Это делает более плотное прилегание и гарантирует уплотнение затвора, а, следовательно, и его протечки. Выход диска из этого контакта происходит уже при минимальном угле открытия. При возвращении диска в положение «Закрото» снова обеспечивается очень высокая, вплоть до класса А, герметичность. Дисковые затворы изготавливаются с одинарным, двойным и тройным эксцентриситетом. Первый эксцентриситет вал вращения диска (1) смещается относительно уплотнительных поверхностей седла. Вал вращения диска смещается относительно центра оси трубопровода (2). Это первые два эксцентриситета. Третьим является наклон вершины конуса уплотнительной поверхности в сторону осевой линии трубопровода(3).

### **2.3.2. Дисковый затвор с одинарным эксцентриситетом**

Дисковые затворы с одинарным эксцентриситетом представляют собой промышленную арматуру, предназначенную для полного открытия или закрытия движения потока. Их можно применять и для регулирования потока рабочей среды. При длительном применении в режиме регулирования нельзя гарантировать 100% герметичность затвора при закрытии [12]

В конструкции затвора одинарный эксцентриситет (рисунок 12) – ось управляющего вала не совпадает с осью уплотнения.

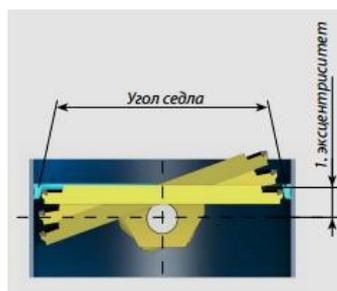


Рисунок 12 – Дискový затвор с одинарным эксцентриситетом

Рабочий орган (диск) закреплен на управляющем валу и цапфе, которые установлены в самосмазывающихся подшипниках скольжения. Вал уплотнен с помощью уплотнительного кольца круглого сечения (рисунок 13).

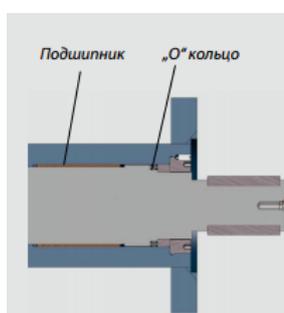


Рисунок 13 – Вал затвора с одинарным эксцентриситетом

Цапфа уплотнена плоской безасбестовой прокладкой (рисунок 14). Уплотнение прилегает к конической поверхности седла и совместно с диском дожимается давлением, которое развивает рабочая среда, в седло, за счет этого достигается абсолютная герметичность в этом направлении. В противоположном направлении герметичность ограничена.

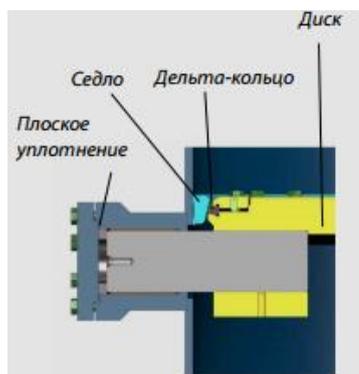


Рисунок 14 – Уплотнение дискового затвора с одинарным эксцентриситетом

Дискový затворы с одинарным эксцентриситетом в основном изготавливаются из чугуна и углеродистой стали.

К достоинствам затворов с одинарным эксцентриситетом можно отнести малые габариты и массу, отсутствие необходимости технического обслуживания, высокая ремонтпригодность, достаточно большой срок службы (10 – 15 лет), низкая стоимость.

### 2.3.3. Дискový затвор с двойным эксцентриситетом

Дискóвые затворы с двойным эксцентриситетом представляют собой промышленную трубопроводную арматуру, предназначенную для полного открытия или закрытия движения потока. Их можно применять и для регулирования расхода рабочей среды. При длительном применении в режиме регулирования нельзя гарантировать 100% герметичность затвора при его закрытии [12].

Конструкция дискóвого затвора с двойным эксцентриситетом представлена на рисунке 15. В его конструкции ось управляющего вала не совпадает с осью уплотнения диска (1) и ось управляющего вала не совпадает с осью потока (2).

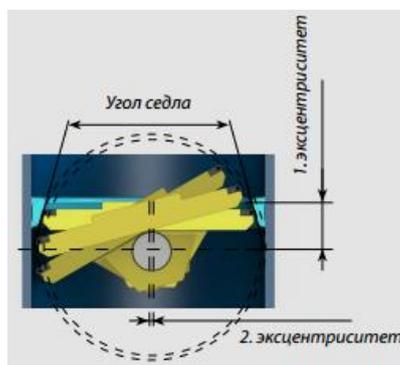


Рисунок 15 - Дискóвый затвор с двойным эксцентриситетом

Дискó закреплен на управляющем валу и цапфе (рисунок 16), которые поворотны установлены в самосмазывающихся подшипниках скольжения. Вал уплотнен с помощью сальникового уплотнения.

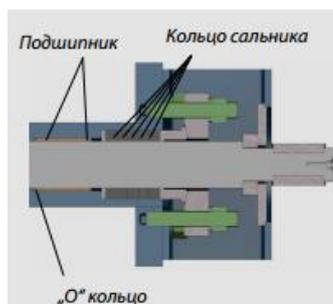


Рисунок 16 - Вал затвора с двойным эксцентриситетом

Цапфа уплотнена плоской безасбестовой прокладкой (рисунок 17). Уплотнение прилегает к конической поверхности седла и совместно с диском дожимается давлением, которое развивает рабочая среда, к седлу, за счет этого достигается абсолютная герметичность в этом направлении. В противоположном направлении герметичность ограничена.

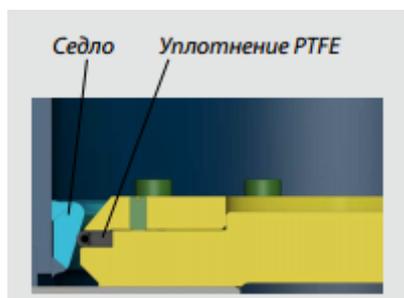


Рисунок 17 - Уплотнение дискового затвора с двойным эксцентриситетом

У дисковых затворов размером DN 80-125 главное уплотнительное кольцо в корпусе закрепляется с помощью прижимного кольца (рисунок 18).

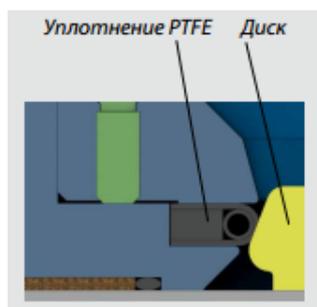


Рисунок 18 - Уплотнение дискового затвора с двойным эксцентриситетом с помощью прижимного кольца

### 2.3.4. Дискový затвор с тройным эксцентриситетом

Дискóвые затворы с тройным эксцентриситетом представляют собой промышленную трубопроводную арматуру, предназначенную для полного открытия либо закрытия движения потока рабочей среды. Также их можно применять для регулирования потока рабочей среды. При долгосрочном применении в режиме регулирования нельзя гарантировать данную герметичность. Затворы данного типа имеют в своей основе металлический диск с многослойным металлографитовым уплотнением и металлический корпус с седлом из легированной стали. Тип присоединения к трубопроводу – фланцевый. Конструкция затвора с тройным эксцентриситетом изображена на рисунке 25 [11].

Тройной эксцентриситет дискóвого затвора изображен на рисунке 19. Где первый эксцентриситет (1) ось управляющего вала не совпадает с осью уплотнения диска, второй эксцентриситет (2) ось управляющего вала не совпадает с осью протока и третий эксцентриситет (3) ось конуса седла не совпадает с осью протока.

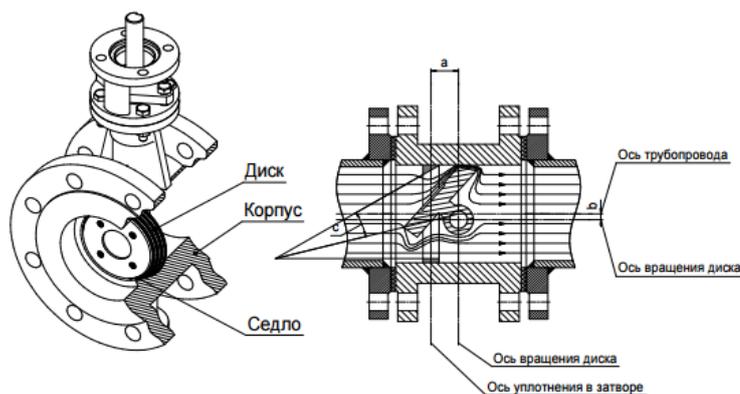


Рисунок 19 - Конструкция затвора с тройным эксцентриситетом

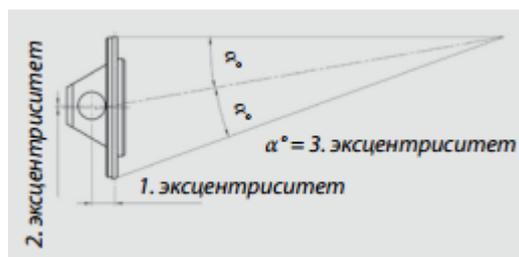


Рисунок 20 - Тройной эксцентриситет дискового затвора

Конструкция затвора с тройным эксцентриситетом обеспечивает следующие: уменьшается момент открытия и закрытия затвора, за счет того что уплотнение затвора мгновенно отделяется от уплотнительной поверхности корпуса, а при закрытие затвора прикасаются непосредственно перед закрытием. Также за счет этого открытие и закрытие происходит с минимальным трением уплотнительных поверхностей, и следовательно увеличивается срок службы. Затвор обеспечивает герметичность в обоих направлениях.

### 3. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Подбора надежной и долговечной трубопроводной арматуры, в нашем случае дискового затвора, на сегодняшний день не теряет своей актуальности. Ведь именно от работы качественного, удобного в эксплуатации и ремонте затвора зависит эффективность функционирования целой системы газо-, нефти-, водо-, и теплоснабжения [13].

Наиболее сильно на выбор затвора влияют физические свойства рабочей среды (потока), которая будет проходить через затвор в открытом состоянии. Рабочая среда определяет материал, из которого будет изготовлен поворотный диск и внутренняя поверхность затвора. Так, например, для пищевых продуктов используют затворы, элементы которых изготовлены из нержавеющей стали и специальных полимеров, химически инертных к подаваемому продукту. Для работы в условиях повышенной запылённости, необходимо использовать затворы специального взрывобезопасного исполнения.

Не менее важный фактор, который влияет на выбор затвора, это рабочее давление материала. Для дисковых поворотных затворов, используемых для работы с сухими сыпучими продуктами, давление обычно не превышает  $20.265 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$ , поскольку на продукт действуют только силы тяжести. Если предполагаемое давление превышает это значение, следует рассматривать поворотные дисковые затворы, имеющие чугунный корпус.

Геометрические параметры также являются существенным критерием выбора. Основным из них является условный диаметр проходного сечения дискового затвора (ДУ, DN), который выбирается из нормализованного размерного ряда ДУ100, ДУ150, ДУ200, ДУ250, ДУ300, ДУ350 и ДУ400мм. В соответствии с выходной горловиной бункера (силоса), подбирают наиболее подходящую форму монтажных фланцев.

В заключении, остаётся определиться с желаемым типом привода, который будет управлять работой дискового затвора.

Выбираем дисковый затвор фирмы ЗАО «АРМАТЭК». ЗАО «АРМАТЭК» – ведущий производитель современной запорно-регулирующей и защитной трубопроводной арматуры в Северо-Западном регионе, поставляющий свою продукцию на рынки России и зарубежья [11].

Благодаря разнообразию и универсальности представленного ассортимента продукция ЗАО «АРМАТЭК» нашла применение в различных областях современного промышленного производства: нефтегазоперерабатывающей и нефтегазодобывающей отраслях, теплоэнергетике, атомной, химической и металлургической промышленности, системах водоснабжения и ТЭК.

ЗАО «АРМАТЭК» производит два типа дисковых затворов:

- с симметричным диском (Серии «УНИВЕРСАЛ»; «СТАНДАРТ»; «ЭКСКЛЮЗИВ»; «ЭКСКЛЮЗИВ-М»);
- с тройным эксцентриситетом (Серия «АТЛАНТ»)

По каталогу фирмы ЗАО «АРМАТЭК» выбираем дисковый затвор УНИВЕРСАЛ – 250. К нему предлагается электропривод «МЭОФ». Мощность электропривода «МЭОФ» равняется 170 Ватт с номинальным крутящим моментом на выходе 250 Н·м. Время открытия затвора (поворот на 90<sup>0</sup>) 63 сек. Внешний вид УНИВЕРСАЛ – 250 изображен на рисунке 21.



Рисунок 21 - Внешний вид дискового затвора УНИВЕРСАЛ 250

На кафедре электропривода и электрооборудования имеется оборудование для лабораторного стенда, состоящего из асинхронных

двигателей, двух центробежных вентиляторов, различных датчиков. Выберем в качестве исполнительного механизма трубопроводной арматуры асинхронный двигатель АИР 56В4У2 мощностью 180 Вт.

Для достижения требуемого крутящего момента на выходном звене ЭП и обеспечения требуемого времени открытия затвора 40...63 необходимо выбрать редуктор. Выберем червячный редуктор Ч2-40/63М1 с передаточным отношением 1600. Момент на выходе редуктора равен 244 Н·м [14].

Габаритные и присоединительные размеры редукторов Ч2-40/63 представлены на рисунке 22.

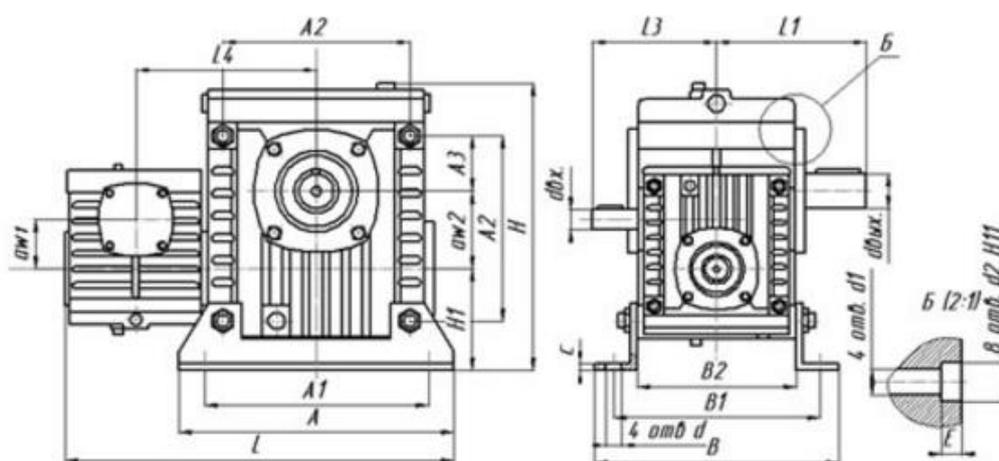


Рисунок 22 - Габаритные и присоединительные размеры редукторов Ч2-40/63

### 3.1. Расчет и определение параметров двигателя дискового затвора

#### 3.1.1. Определение параметров Т – образной схемы асинхронного двигателя АИР 56В4У2

Справочные технические данные асинхронного двигателя АИР 56В4У2 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные АИР 56 В4У2

$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	$n_{\text{НОМ}}$ , об/мин	$n_0$ , об/мин	КПД( $\eta$ ), %	$\cos\varphi$ , о.е.	$I_{\text{пуск}}/I_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{пуск}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{макс}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{мин}}/M_{\text{НОМ}}$	J, кг·м <sup>2</sup>
0,18	1350	1500	56	0,67	5	2,2	2,2	1	0,0008

Для расчёта характеристик асинхронного двигателя, как правило, пользуются его математической моделью, которая в общем случае представлена различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчётов асинхронного двигателя является Г - образная схема замещения (рисунок 23) [15].

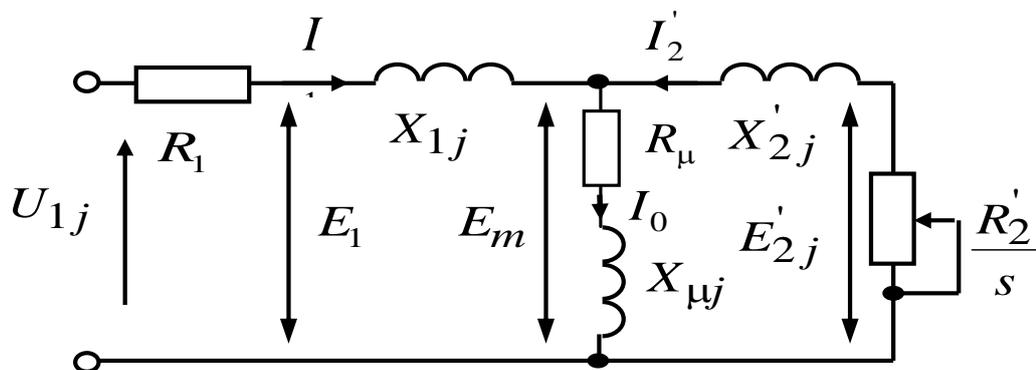


Рисунок 23 - Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке приняты следующие обозначения:

$U_j$  – фазное напряжение статора;

$R_1$  – активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

$I_1$  – ток обмотки статора;

$E_1$  – ЭДС обмотки статора;

$R'_2$  – активное сопротивление обмотки ротора, приведённое к обмотке статора;

$X'_{2\sigma}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведённое к обмотке статора;

$E_m$  – ЭДС от главного магнитного поля машины;

$E'_2$  – ЭДС обмотки ротора, приведённая к обмотке статора;

$I_0$  – ток холостого хода асинхронного двигателя;

$s$  – скольжение.

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие выбранной схеме замещения:

Синхронная угловая частота вращения:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{1500}{30} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Номинальная частота вращения:

$$\omega_n = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0,10) \cdot 157,08 = 141,372 \text{ рад/с.}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left( p_{жс} \cdot I_{1н} \cdot \frac{1 - s_n}{1 - p_{жс} \cdot s_n} \right)^2}{1 - \left( p_{жс} \cdot \frac{1 - s_n}{1 - p_{жс} \cdot s_n} \right)}} = \sqrt{\frac{0,64^2 - \left( 0,75 \cdot 0,727 \cdot \frac{1 - 0,1}{1 - 0,75 \cdot 0,1} \right)^2}{1 - \left( 0,75 \cdot \frac{1 - 0,1}{1 - 0,75 \cdot 0,1} \right)}} = 0,524 \text{ А,}$$

где  $p_{жс} = 0,75$  - коэффициент загрузки двигателя.

Номинальный ток статора:

$$I_{1н} = \frac{P_{двн} \cdot 1000}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{0,18 \cdot 1000}{3 \cdot 220 \cdot 0,67 \cdot 0,56} = 0,67 \text{ А.}$$

Номинальный момент двигателя:

$$P_n = \frac{P_{двн} \cdot 1000}{\omega_n} = \frac{0,18 \cdot 1000}{141,372} = 1,273 \text{ Н·м.}$$

Ток фазы статора при частичной нагрузке:

$$I_{11} = \frac{p_{жс} \cdot P_{двн}}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_z \cdot \eta_z} = \frac{0,75 \cdot 180}{3 \cdot 220 \cdot 0,612 \cdot 0,522} = 0,64 \text{ А.}$$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке, принимаем согласно:

$$\cos \varphi_z = \cos \varphi + \Delta \cos \varphi_z = 0,67 - 0,058 = 0,612.$$

Коэффициент полезного действия при частичной нагрузке, принимаем согласно:

$$\eta_z = \eta + \Delta \eta_z = 0,56 - 0,038 = 0,522.$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведённое к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot m_k \cdot P_n \cdot c1^2 \cdot \left( \beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,1)}{2 \cdot 2,2 \cdot 180 \cdot 1,072^2 \cdot \left( 1 + \frac{1}{0,555} \right)} = 51,246 \text{ Ом.}$$

Определим коэффициенты:

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{0,524}{2 \cdot 5 \cdot 0,727} = 1,072.$$

Критическое скольжение:

$$s_{\kappa} = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} = 0,1 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,555.$$

где ( $\beta$ ) - коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6 - 2,5, принимаем ( $\beta = 1$ ).

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = c_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,072 \cdot 51,246 \cdot 1 = 54,943 \text{ Ом.}$$

Определим параметр ( $\gamma$ ), который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания ( $X_{\kappa}$ ):

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_{\kappa}^2}\right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,555^2}\right) - 1^2} = 1,498,$$

тогда:

$$X_{\kappa H} = \gamma \cdot c_1 \cdot R_2' = 1,498 \cdot 1,072 \cdot 51,246 = 82,297 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1H} = 0,42 \cdot X_{\kappa H} = 0,42 \cdot 82,297 = 34,565 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{1H} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{34,565}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,11 \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведённое к статорной, может быть рассчитано:

$$X_{2H}' = \frac{0,58 \cdot X_{\kappa H}}{c_1} = \frac{0,58 \cdot 82,297}{1,072} = 44,52 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L'_{2H} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{44,52}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,142 \text{ Гн.}$$

По данным значениям  $C_1, R'_2, X_{KH}$  определим критическое скольжение:

$$s_{k1} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1,066 \cdot 2,164}{\sqrt{2,164^2 + 48,969^2}} = 0,555.$$

Если рассчитанные значения  $s_{k1}, s_k$  не равны, то необходимо внести поправку, которая будет находится в диапазоне 0,6 - 2,5.

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания  $E_1$ , наведённая потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi_H - I_{1H} \cdot X_{1H})^2} = \\ \sqrt{(220 \cdot 0,67 - 0,727 \cdot 54,943)^2 + (220 \cdot 0,742 - 0,727 \cdot 34,565)^2} = 175,06$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{175,06}{0,524} = 333,777 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания):

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{175,06}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,062 \text{ Гн.}$$

*Проверка адекватности расчётных параметров двигателя:*

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя  $M_{\text{эм.н}}$ ;  $M^*_{\text{эм.н}}$ :

$$M_{\text{эм.н1}} = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[ X_{KH}^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \text{Н} \cdot \text{м.}$$

$$\frac{3 \cdot 220^2 \cdot 51,246}{157,08 \cdot 0,1 \cdot \left[ 82,297^2 + \left( 54,943 + \frac{51,246}{0,1} \right)^2 + \left( \frac{54,943 \cdot 51,246}{0,1 \cdot 333,777} \right)^2 \right]} = 1,411.$$

$$M_{\text{эм.н2}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_\mu}{(L_\mu + L_{2\delta})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{1,062}{(1,062 + 0,142)} \cdot 0,788 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{0,727^2 - 0,524^2} = 1,485 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где,  $\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_\mu = \sqrt{2} \cdot 0,524 \cdot 1,062 = 0,788 \text{ Вб}$ .

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н1}} \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}} \equiv 1,273 < 1,411 < 1,401 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\text{эм.н1}} \approx M_{\text{эм.н2}} \equiv 1,411 \approx 1,485.$$

По результатам расчёта эти условия выполняются.

Таблица 2 – Параметры схемы замещения АИР56ВУ4

$R_s$	$R_r$	$L_s$	$L_r$	$L_m$
54,943	51,246	0,11	0,142	1,062

### 3.2. Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик.

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику [15]:

$$M(\omega_r) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega_r}{\omega_0} \cdot [X_{\text{кн}}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega_r} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{\omega_0 - \omega_r} \cdot X_\mu \right)^2]};$$

$$\omega_r = (\omega_0 + 0,0001), (\omega_0 - 2) \dots \text{а};$$

Рассчитаем критический момент двигателя по его рассчитанным параметрам:

$$M_{\text{эмк}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{кр}} \cdot \left[ X_{\text{кн}}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{кр}}} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{кр}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 51,246}{157,08 \cdot 0,525 \cdot \left[ 82,297^2 + \left( 54,943 + \frac{51,246}{0,525} \right)^2 + \left( \frac{54,943 \cdot 51,246}{0,525 \cdot 333,777} \right)^2 \right]} = 2,977 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Критический момент по паспортным данным рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{ном}} \cdot k_{\text{макс}} = 1,273 \cdot 2,2 = 2,801 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент пусковой:  $M_{\text{п}} = M_{\text{ном}} \cdot k_{\text{п}} = 1,273 \cdot 2,2 = 2,801 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

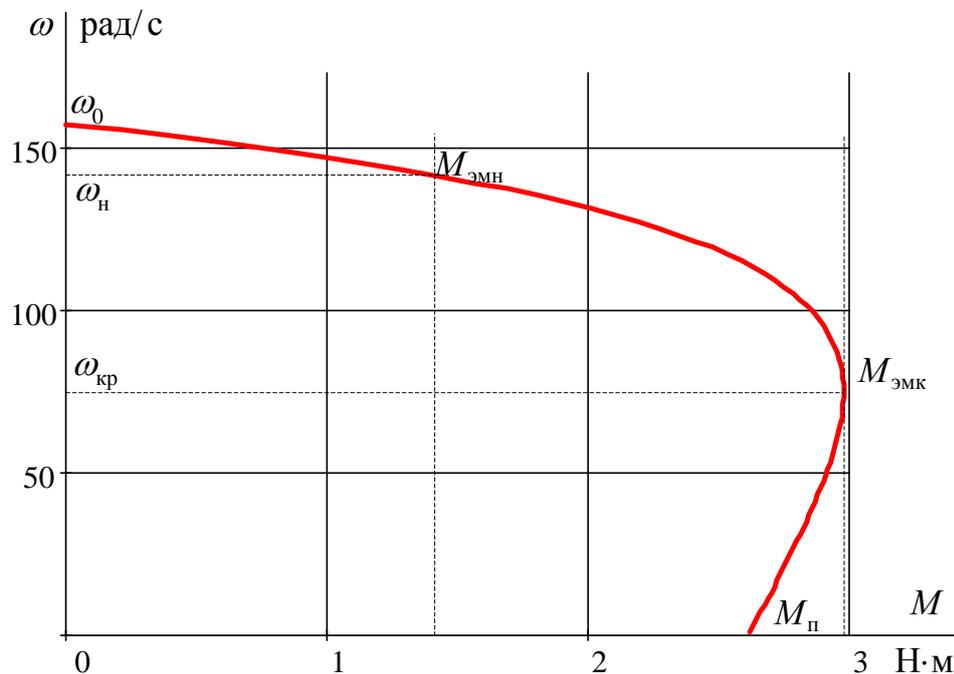


Рисунок 24 - Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику:

$$I_1(\omega_i) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega_i)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega_i) \cdot \sin \phi_2};$$

$$\sin \phi_2(\omega_i) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_0}} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2}};$$

$I'_2(\omega)$  - значение приведенного тока ротора от скольжения;

$$I'_2(\omega_i) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R'_2}{\omega_0 - \omega_i} \right)^2 + X_{кн}^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{\omega_0 - \omega_i} \cdot X_\mu \right)^2}};$$

$$\omega_i = (\omega_0 + 0,0001), (\omega_0 - 2)..0.$$

По вышеприведенным формулам рассчитывается естественная электромеханическая характеристика, приведенная на рисунке 25.

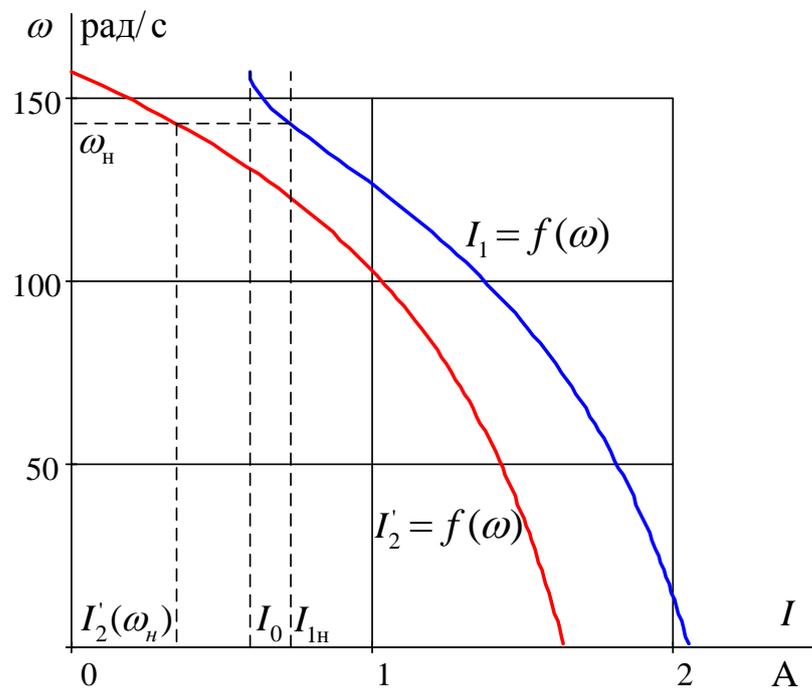


Рисунок 25 - Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

## 4. СИЛОВОЙ КАНАЛ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 4.1. Обзор систем управления и способов регулирования электропривода

Силовая преобразователь частоты с инвертором напряжения приведена на рисунке 26. Силовая часть преобразователя частоты состоит из следующих элементов [15]:

1. Неуправляемы выпрямитель, который формирует пульсирующее выпрямленное напряжение;
2. Промежуточная цепь, которая представляет фильтр, содержащий конденсатор, предназначенный для сглаживания выпрямленного напряжения. Индуктивность  $L$  представляет собой коммутационный дроссель, в цепи постоянного тока;
3. Инвертор, который формирует напряжение необходимой амплитуды и частоты;
4. Блок торможения, который состоит из силового ключа (транзистор) и нагрузочного резистора. Резистор может быть встроенным в ПЧ или внешним.



Рисунок 26 – Схема силовой части преобразователя частоты с инвертором напряжения

Выходной каскад инвертора выполняется в виде IGBT – транзисторов и методом ШИМ осуществляется преобразование постоянного напряжения в систему переменного трёхфазного напряжения.

#### 4.2. Выбор преобразователя частоты

Главным недостатком асинхронного электродвигателя до недавнего времени являлась сложность и неэффективность регулирования их частоты вращения. Плавное регулирование двигателей с короткозамкнутым ротором было практически невозможно. При этом регулирования частоты вращения была особенно важно для приводов механизмов, которые применялись для изменения расходов и работающих с переменной нагрузкой [16].

Благодаря развитию силовой полупроводниковой и микропроцессорной техники удалось создать устройства частотного регулирования электроприводов с асинхронными двигателями.

Преобразователь частоты (ПЧ) в электроприводе является силовым регулятором, на вход которого подаются нерегулируемые значения напряжения  $U_1$  и частоты  $f_1$ , а на выходе обеспечиваются регулируемые значения этих напряжения  $U_2$  и частоты  $f_2$  в зависимости от задания и управляющих сигналов  $U_y$ .

Эти устройства позволяют экономично и точно управлять скоростью и моментом двигателя.

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) состоит из асинхронного электродвигателя М и преобразователя частоты ПЧ (рисунок 27):

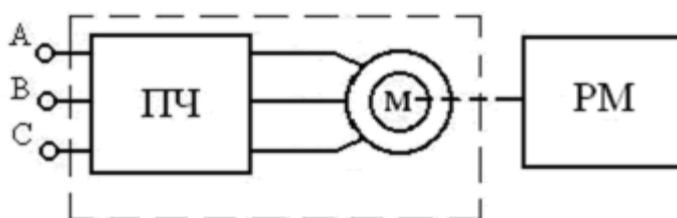


Рисунок 27 - Общая структура частотно регулируемого электропривода

Асинхронного электродвигатель приводит в движение рабочий механизм РМ (арматуру, вентилятор, конвейер и т.п.). На выходе преобразователя формируется электрическое напряжение с регулируемой частотой и амплитудой. В результате чего преобразователь частоты управляет электрическим двигателем.

При изменении частоты вращающегося магнитного поля, создаваемого статором двигателя, происходит регулирование частоты вращения ротора асинхронного электродвигателя.

В наиболее распространенном частотно-регулируемом приводе на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором применяют два вида управления – скалярное и векторное.

При скалярном управлении одновременно изменяют частоту и амплитуду напряжения подводимого к двигателю.

Преобразователь частоты состоит из системы управления, выпрямителя и шины постоянного тока. Входное синусоидальное напряжение с постоянной амплитудой и частотой выпрямляется в звене постоянного тока В, сглаживается фильтром который состоит из дросселя  $L_B$  и конденсатора фильтра  $C_B$ . Затем выпрямленное напряжение вновь преобразуется инвертором АИН в переменное напряжение изменённой частоты и амплитуды. Регулирование выходной частоты  $f_{\text{вых}}$  и напряжения  $U_{\text{вых}}$  осуществляется в инверторе за счет высокочастотного широтно-импульсного управления.

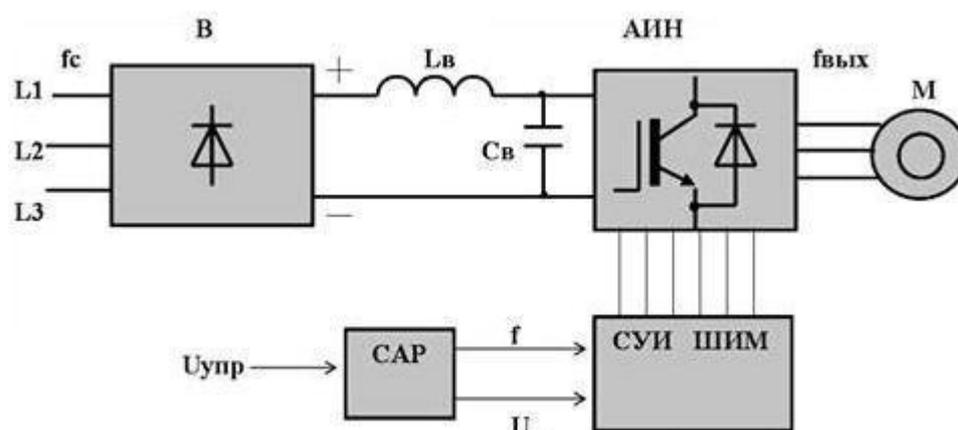


Рисунок 28 - Структурная схема частотного преобразователя

Длительность подключения каждой обмотки в пределах периода следования импульсов модулируется по синусоидальному закону. Наибольшая ширина импульсов обеспечивается в середине полупериода, а к началу и концу полупериода уменьшается. Таким образом, система управления СУИ обеспечивает ШИМ напряжения, прикладываемого к обмоткам двигателя. Амплитуда и частота напряжения определяются параметрами модулирующей синусоидальной функции. Таким образом, на выходе преобразователя частоты формируется трехфазное переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды.

Рассмотрим несколько вариантов преобразователей частоты.

#### 1. Micromaster 420

Область применения:

Преобразователь MICROMASTER 420 может использоваться для решения многочисленных задач, требующих применения приводов с изменяемыми скоростями вращения. Более всего он подходит для использования в насосах, вентиляторах и транспортерах. Преобразователь отличается высокой производительностью и комфортабельным использованием. Большой диапазон сетевого напряжения позволяет использовать его в любой части света. Технические данные преобразователя Micromaster 420 представлены в таблице 3 [17].

Таблица 3 – Технические данные Micromaster 420

Сетевое напряжение и диапазон мощностей	3 AC 380 В – 480 В ± 10% 0,37 кВт ... 11 кВт
Частота сети	47 Гц ... 63 Гц
Коэффициент мощности	≥ 0,95
КПД преобразователя	96
Перегрузочная способность	1,5
Пусковой ток	Не выше расчетного входного тока (1,5 А, при мощности 0,37)

Законы управления	Линейная зависимость $U/f$ ; квадратичная зависимость $U/f$ ; прямое управление потоком (FCC), параметрируемая зависимость $U/f$ .
Последовательный интерфейс	RS – 485, в качестве принадлежности RS – 232
Стоимость	12200 р.

Частотный преобразователь Siemens 6SE6420-2UD13-7AA1 ток 1,2А 0.37кВт 380В 3ф. Данный преобразователь частоты является представителем серии MICROMASTER 420 [18].

В таблице 4 приведены технические характеристики преобразователя частоты Siemens 6SE6420-2UD13-7AA1

Таблица 4 – Технические характеристики

Артикул	6SE6420 - 2UD13-7AA1
Напряжение, В	380
Мощность, кВт	0,37
Ток, Ином., А	1,2
Расчетный входной ток, А	1,5
Расчетный выходной ток, А	1,2
Степень защиты	IP 21
Стоимость	21258 р

## 2. Преобразователь частоты Innovert ISD251M43B

Высокоэффективный, универсальный преобразователь частоты INNOVERT серии ISD представляет собой многофункциональный частотный преобразователь, отличающийся удобством в управлении и настройках [19].

Отлично подходит для работы с электродвигателями и мотор-редукторами в промышленных установках, конвейерных системах,

экструдерах, металлорежущих станках, системах водоснабжения, кондиционирования и вентиляции воздуха.

Таблица 5 – Технические характеристики ПЧ Innovert ISD251M43B

Номинальное напряжение	3x380/400V
Производитель	INNOVERT
Мощность	0,25 кВт
Режим управления	U/f (скалярное, вольт-частотное)
Перегрузка	150% в течение 1 мин.
Интерфейс	RS-485
Выходной ток	1,2 А
Стоимость	10100 р

### 3. Преобразователи частоты Danfoss

Частотный преобразователь Danfoss VLT Automation Drive FC-300 (FC-301, FC-302) - универсальный преобразователь частоты, который подходит для решения широкого круга задач. Преобразователь частоты VLT AutomationDrive имеет гибкую модульную конструкцию, способную обеспечить универсальное техническое решение управления двигателями [21].

Привод Danfoss AutomationDrive поставляется в двух вариантах, отличающихся по алгоритму управления и характеристике на валу двигателя. Более дешевый (поставляется в базовой версии) VLT AutomationDrive FC301 применяет алгоритмы от U/f до управления вектором напряжения (VVC+), а усовершенствованная модель VLT AutomationDrive FC302 — от U/f до управления вектором магнитного потока и управления двигателями с постоянными магнитами, имеет дополнительные функциональные возможности.

Данная модель преобразователей частоты Danfoss имеют различные встроенные и встраиваемые опции: дроссель и ЭМС-фильтр, логистический контроллер SLC, опционально встраиваемые сетевые интерфейсы, различные

опции входов и выходов, возможность подключения энкодера, sin/cos датчика, резольвера, а также опционально встраиваемый контроллер движения (PLC).

VLT AutomationDrive FC-301 Danfoss может управлять только асинхронными двигателями. В таблице 7 ниже приведены технические характеристики FC-301.

Таблица 7 – Технические характеристики VLT AutomationDrive FC-301

Типовая мощность на валу, кВт	0,37
Напряжение сети, В~	380 – 480
Выходной ток	
Длительный (3 x 380-440 В), А	1,3
Прерывистый (3 x 380-440 В), А	2,1
Длительная мощность (400 В~), кВА	0,9
Макс. входной ток	
Длительный (3 x 380-440 В), А	1,2
Прерывистый (3 x 380-440 В), А	1,9
Стоимость	39248,35 р.

Из всех рассмотренных типов преобразователей частоты выбирается MICROMASTER 420 типа Siemens 6SE6420-2UD13-7AA1. Используемые модели преобразователей частоты Siemens отличаются высокой надежностью и универсальностью применения, включая вентиляторы, насосы, компрессора, транспортеры и так далее. КПД моделей составляет порядка 97%. Вместе с тем комплексная система торможения, включающая в себя динамический, комбинированный и генераторный надежно защищает аппарат от перегрева, блокировки и короткого замыкания. Также есть функция подключения энкодера. Схема подключения преобразователя частоты Siemens 6SE6420-2UD13-7AA1 представлена на рисунке 29. Привод работает с высокой точностью даже во время торможения и в режимах резкого замедления скорости. Это возможно благодаря интегрированному тормозному резистору.

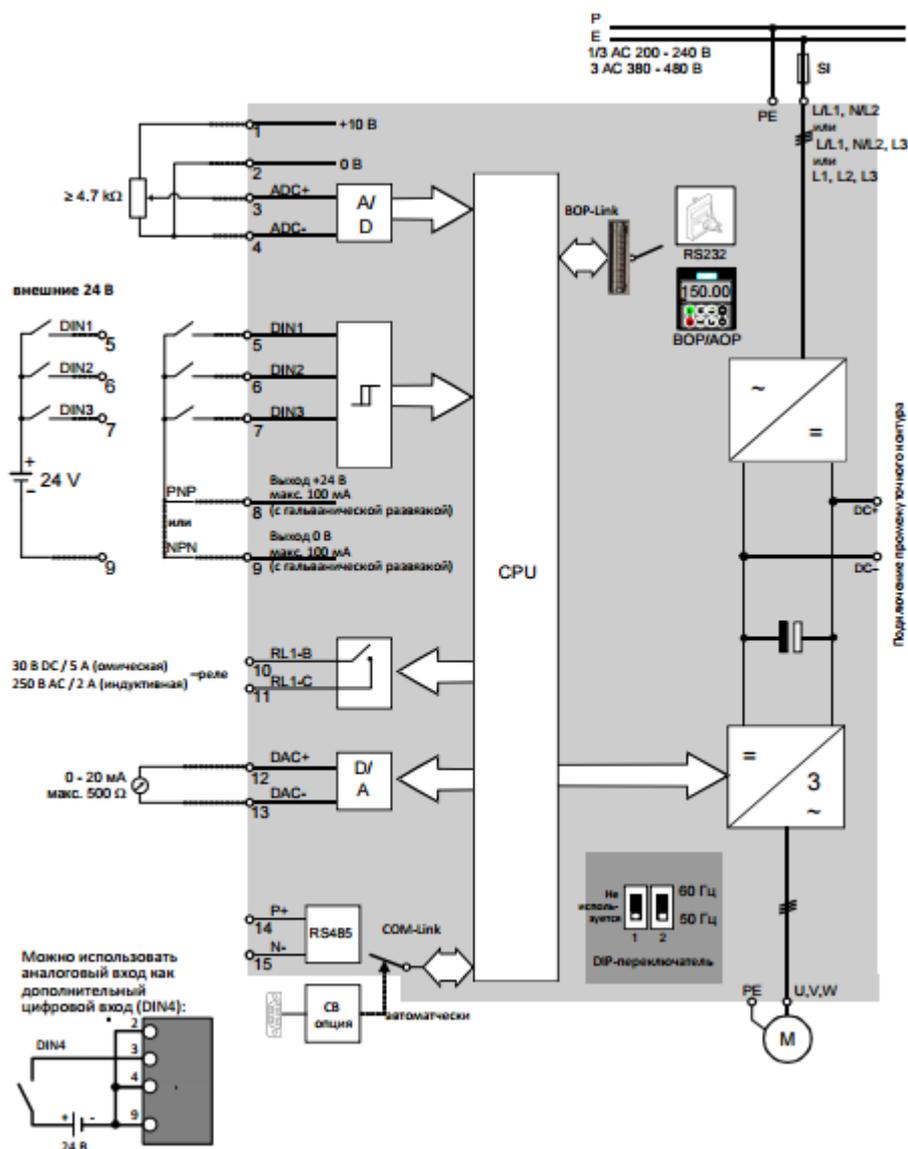


Рисунок 29 - Схема подключения Siemens 6SE6420-2UD13-7AA1

### 4.3. Выбор закона частотного управления

Если одновременно изменять частотой питающей сети  $f_{ij}$  и переменное напряжение  $U_{ij}$  обмоток статора асинхронного двигателя, то можно реализовать в системах преобразователь частоты – асинхронный двигатель различные законы регулирования скорости [22].

По характеру зависимости момента механизма от его скорости  $M_C = f(\omega)$  можно выделить следующие механические характеристики производственных механизмов:

$M_C = \text{const}, P_C = k \cdot \omega$ , механическая характеристика не зависит от угловой скорости;

$M_C = k \cdot \omega^{-1}, P_C = \text{const}$ , механическая характеристика нелинейно спадающая, работа с постоянной мощностью;

$M_C = k \cdot \omega^2, P_C = k \cdot \omega^3$ , механическая характеристика нелинейно возрастающая, вентиляторная нагрузка.

Управление напряжением и частотой тока статора асинхронного двигателя в зависимости от механической характеристики производственного механизма осуществляется по следующим законам:

- $U_{1j} / f_{1j} = \text{const}$ , при постоянном моменте нагрузки  $M_C = \text{const}$ ;
- $U_{1j} / \sqrt{f_{1j}} = \text{const}$ , при нелинейно спадающей нагрузке  $M_C = k \cdot \omega^{-1}$ ;
- $U_{1j} / f_{1j}^2 = \text{const}$ , при нелинейно возрастающей или вентиляторной нагрузке  $M_C = k \cdot \omega^2$ .

Таким образом, для того, чтобы наиболее эффективно реализовать принципы частотного управления асинхронным двигателем, необходимо в соответствии с видом нагрузки на валу двигателя выбрать соответствующий закон управления напряжения, подводимого к статору и частоты тока статора.

Функциональная схема скалярного частотного управления скоростью асинхронного двигателя, реализующая различные законы управления класса  $U_{1j} / f_{1j}$  приведена на рисунке 30 [22].

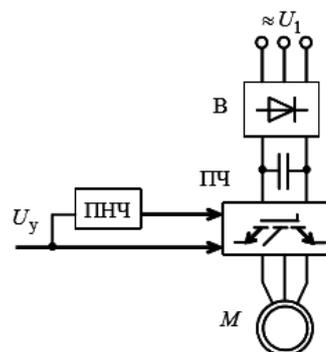


Рисунок 30 - Функциональная схема скалярного частотного управления скоростью асинхронного двигателя

Производственный механизм трубопроводная арматура, а именно дисковый затвор имеет постоянную механическую характеристику  $M_C = \text{const}$ , и, следовательно, необходимо выбрать закон изменение напряжения и частоты  $U_{1j} / f_{1j} = \text{const}$ .

#### 4.4.Расчёт искусственных механических и электромеханических характеристик привода при частотном регулировании

Момент от сил трения механизма [15]:

$$\Delta_{MC} = M_{эм.н1} - M_{двн} = 1,411 - 1,273 = 0,137.$$

Постоянная нагрузка:

$$N_{agr} = 0,5 \cdot M_{двн} = 0,636.$$

$$M_{C1} = N_{agr} + \Delta_{MC} = 0,636 + 0,137 = 0,773.$$

Принимаем максимальный момент:

$$M_{\max}(\omega_n) = 1,5 \cdot M_{двн} + \Delta_{MC};$$

$$M_{1\max} = M_{\max}(\omega_n) = 2,046 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент нагрузки:

$$M_{нагр} = 1,273 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Механические характеристики нагрузки механизма строятся по уравнениям:

$$M_{C2}(\omega_{нагр}) = M_C(\omega_{нагр}) + \Delta_{MC};$$

$$M_{нагр}(\omega_{нагр}) = M_{C2}(\omega_{нагр});$$

$$M_{C3}(\omega_{нагр}) = M_C(\omega_{нагр});$$

$$\omega_{нагр} = 0,5..1,05 \cdot \omega_0.$$

На рисунке 31 изображена механическая характеристика постоянной нагрузки механизма (дисковый затвор).

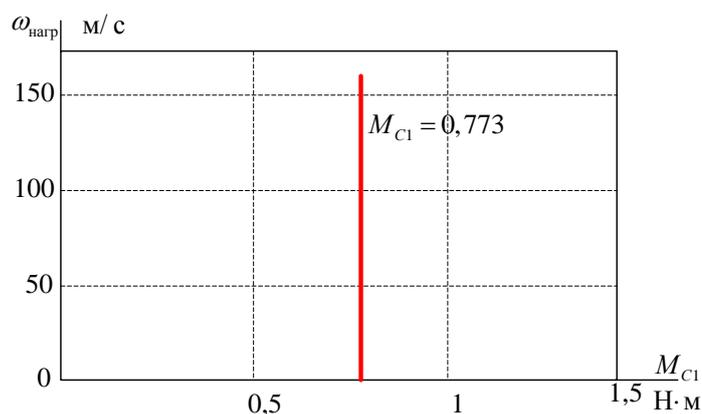


Рисунок 31 - Механическая характеристика постоянной нагрузки механизма

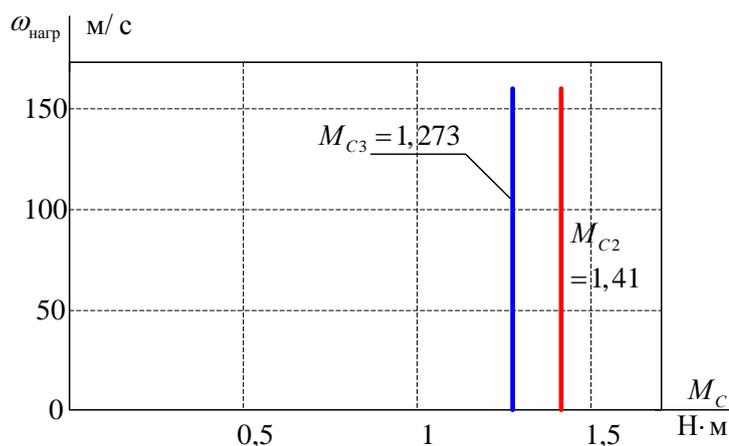


Рисунок 32 - Механическая характеристика механизма с учетом сил трения

Коэффициент, определяющий закон частотного регулирования, при законе регулирования:

$$\frac{U}{f} = const, \lambda_{ui} = \left( \frac{f_i}{f_{1H}} \right).$$

$$\lambda_1 = \frac{f_1}{f_{1H}}, \lambda_2 = \frac{f_2}{f_{1H}}, \lambda_3 = \frac{f_3}{f_{1H}}, \lambda_4 = \frac{f_4}{f_{1H}}, \lambda_5 = \frac{f_5}{f_{1H}}, \lambda_6 = \frac{f_6}{f_{1H}}, \lambda_7 = \frac{f_7}{f_{1H}}.$$

Механические и электромеханические характеристики строятся при частотах:

$$f_1 = 50, f_2 = 40, f_3 = 30, f_4 = 20, f_5 = 20, f_6 = 10, f_7 = 5.$$

Механические характеристики без компенсации по напряжению асинхронного электродвигателя рассчитывается по выражению:

$$M(s, \lambda) = \frac{3 \cdot (U_1(\lambda_{ui}))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(\lambda_i) \cdot s \cdot \left[ X_{\text{KH}}^2 \cdot \lambda_i^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu\text{H}} \cdot \lambda_i} \right)^2 \right]}$$

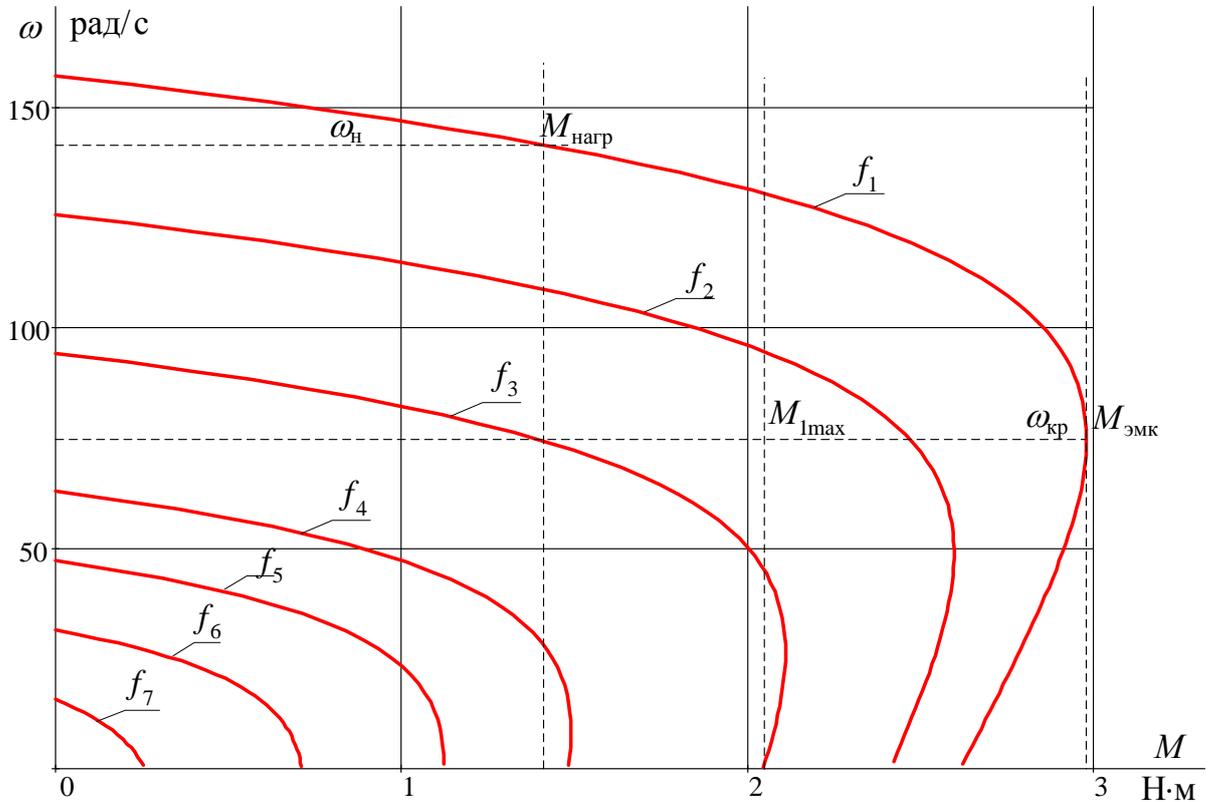


Рисунок 33 - Механические характеристики при законе регулирования

$$\frac{U}{f} = \text{const}$$

Бывает так, что после расчета механических характеристик при выбранной начальной частоте пуск двигателя не удастся обеспечить. Анализируя механические характеристики видно что, двигатель не будет работать на малых частотах. Для решения данной проблемы необходимо изменить параметры начального участка вольт – частотной характеристики. Механические характеристики, представленные на рисунке 33 были получены при вольт – частотной характеристике  $U=f(f_{\text{час.}})$  (рисунок 34).

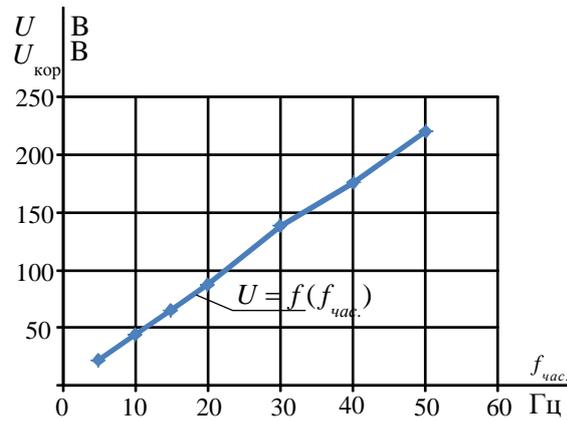


Рисунок 34 – Вольт – частотная характеристика преобразователя при законе регулирования  $U / f = const$

Для увеличения диапазона регулирования введем добавку по напряжению при следующих значениях частоты, которые представлены в таблице 8. В результате получим следующую вольт – частотную характеристику, которая изображена рисунке 35.

Таблица 8 – Значения добавочных напряжений

$f, \text{Гц}$	40	30	20	15	10	5
$\Delta U, \text{В}$	4	12	23	28	34	42

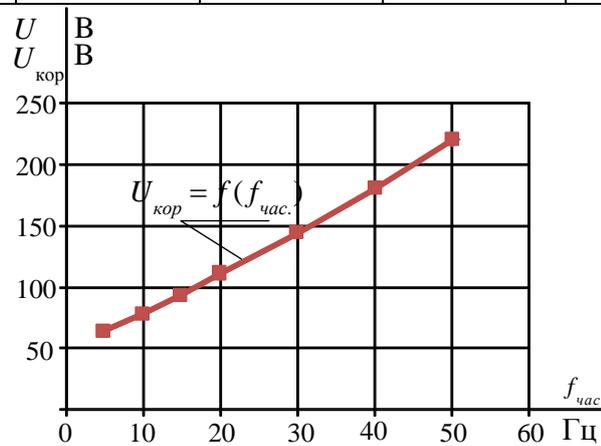


Рисунок 35 – Скорректированная вольт – частотная характеристика

Механические характеристики асинхронного электродвигателя с компенсацией по напряжению рассчитывается по выражению:

$$M(s, \lambda) = \frac{3 \cdot (U_1(\lambda_{ui}) + \Delta U)^2 \cdot R'_2}{\omega_0(\lambda_i) \cdot s \cdot \left[ X_{\text{кн}}^2 \cdot \lambda_i^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu\text{н}} \cdot \lambda_i} \right)^2 \right]}$$

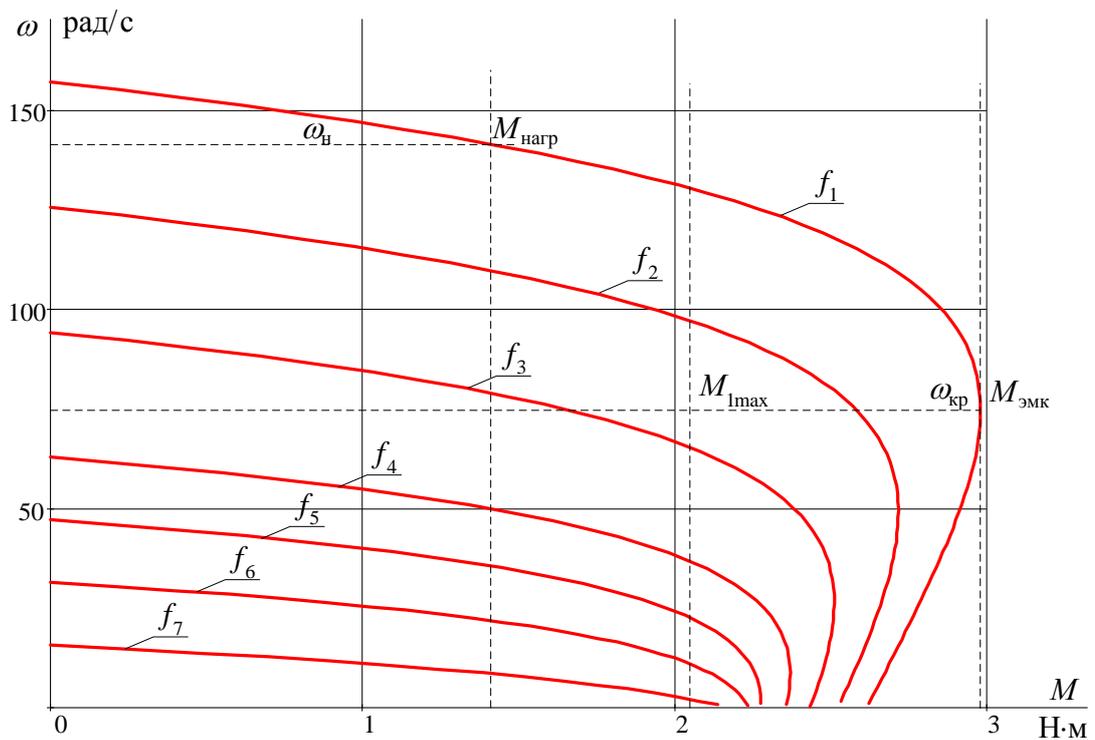


Рисунок 36 - Механические характеристики при законе регулирования  $U / f = const$  с IR компенсацией

С помощью коррекции вольт – частотной характеристики (смотри рисунок 35) удалось обеспечить пуск двигателя на малых частотах.

Естественные электромеханические характеристики электродвигателя рассчитывается для значения частоты  $f_{и} = f_{1H} = 50$  Гц по выражению:

$$I_1(\omega_i) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(\omega_i) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega_i) \cdot \sin \varphi_2(\omega_i)}, \text{ где}$$

$$I_2'(\omega_i) = \frac{U_{1фн} \cdot \lambda_{ui} + \Delta U_i}{\pm \sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 \cdot \lambda_i - \omega_i} \right)^2 + (X_{кн} \cdot \lambda_i)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \lambda_i - \omega_i \cdot X_{\mu} \cdot \lambda_i} \right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(\omega_i) = \frac{X_{кн} \cdot \lambda_i}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 \cdot \lambda_i - \omega_i} \right)^2 + (X_{кн} \cdot \lambda_i)^2}};$$

$$\omega_i = (\omega_0 \cdot \lambda_i + 0,0001), (\omega_0 \cdot \lambda_i - 2)..0;$$

$$I_{0i} = \frac{U_{1\text{фн}} \cdot \lambda_{ui} + \Delta U_i}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} \cdot \lambda_i + X_\mu \cdot \lambda_i)^2}}$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики  $I_1 = f(\omega)$ . Электромеханические характеристики приведены на рисунке.

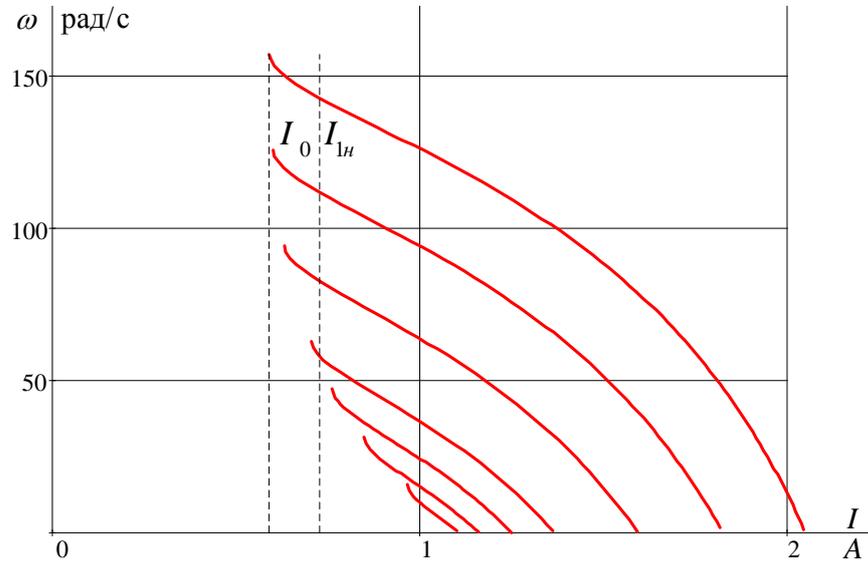


Рисунок 37 – Электромеханические характеристики при законе регулирования  $U / f = const$

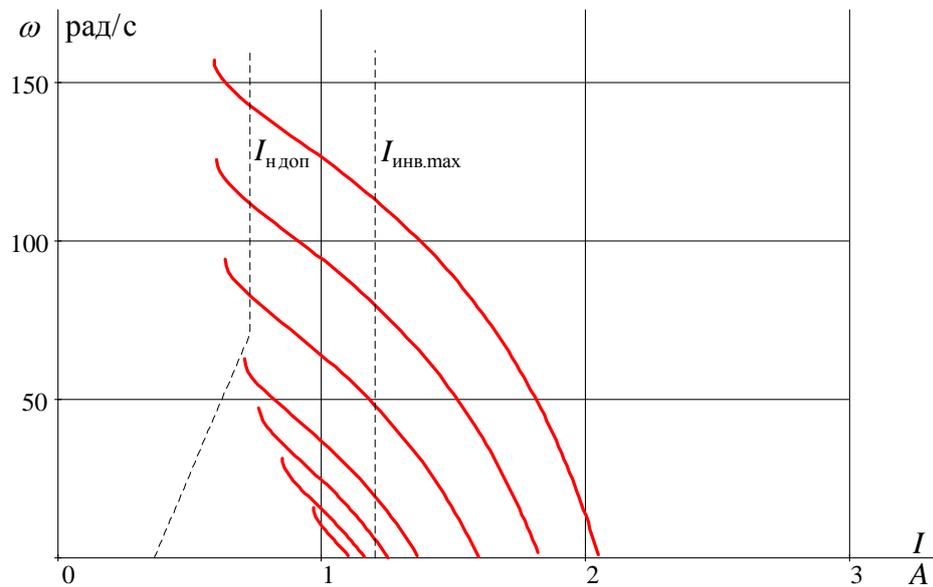


Рисунок 38 - Электромеханические характеристики при длительно допустимом и максимальном токе

Анализируя характеристики на рисунке 38 видно, что допустимый ток уменьшается при снижении частоты. Асинхронные двигатели могут охлаждаться различными способами. Это естественные и искусственные системы охлаждения. Асинхронный двигатель с самовентиляцией, имеет на своем валу вентилятор который и охлаждает двигатель. Частота вращения вентилятора напрямую зависит двигателя. Чем медленнее двигатель вращается, тем медленнее вращается вентилятор, тем самым не обеспечивая его охлаждения. В результате этого допустимый ток необходимо уменьшить на малых частотах, так как двигатель не будет иметь возможность охлаждения.

## 5. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ДИСКОВОГО ЗАТВОРА

### 5.1. Проверка адекватности расчетов параметров асинхронного двигателя АИР 56В4У

Для проверки адекватности расчетов параметров асинхронного двигателя АИР56В4У2 соберем имитационную модель прямого пуска асинхронного электродвигателя с помощью программы MATLAB Simulink (рисунок 39). Для создания имитационной модели прямого пуска найдем следующие параметры двигателя [15]:

Индуктивность фазы обмотки статора:

$$L_{1H} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{34,565}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,11 \text{ Гн.}$$

Индуктивность фазы обмотки ротора:

$$L'_{2H} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{44,52}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,142 \text{ Гн.}$$

Индуктивность цепи намагничивания:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{175,06}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,062 \text{ Гн.}$$

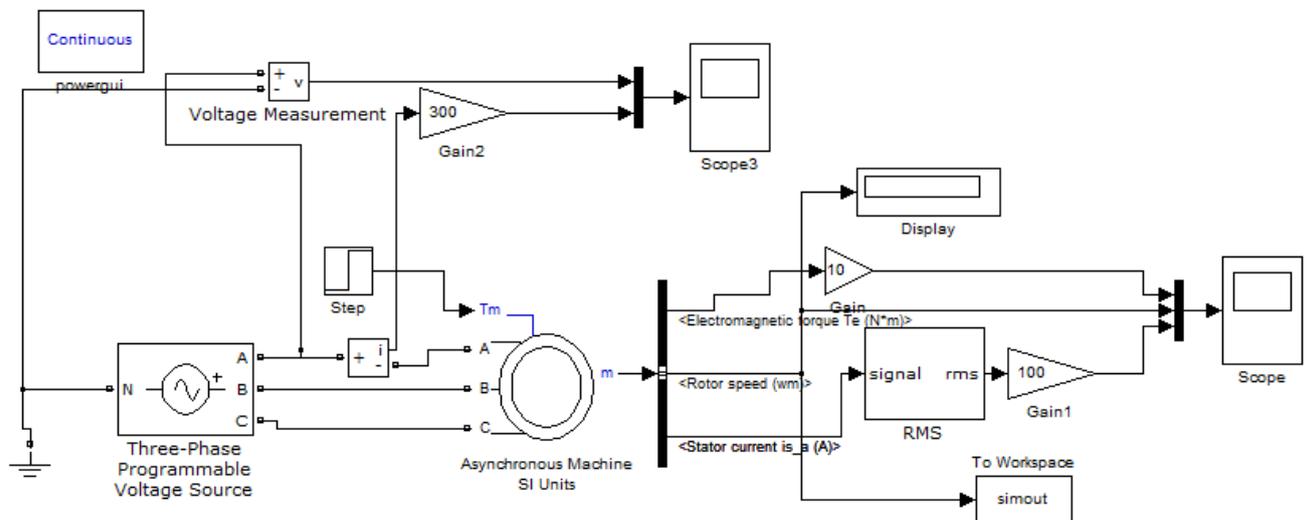


Рисунок 39 – Библиотечная модель пуска асинхронного двигателя

Configuration	Parameters	Advanced
Nominal power, voltage (line-line), and frequency [ Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz) ]:		
[180 380 50]		
Stator resistance and inductance [ Rs(ohm) Lls(H) ]:		
[54.943 0.11]		
Rotor resistance and inductance [ Rr'(ohm) Llr'(H) ]:		
[51.246 0.142]		
Mutual inductance Lm (H):		
1.062		
Inertia, friction factor and pole pairs [ J(kg.m^2) F(N.m.s) p0 ]:		
[0.0008 0.0 2]		
Initial conditions		
[1 0 0 0 0 0]		

Рисунок 40 - Параметры асинхронного двигателя

В результате моделирования были получены переходные характеристики двигателя (рисунок 41). Время наброса нагрузки было задано 0,25 сек.

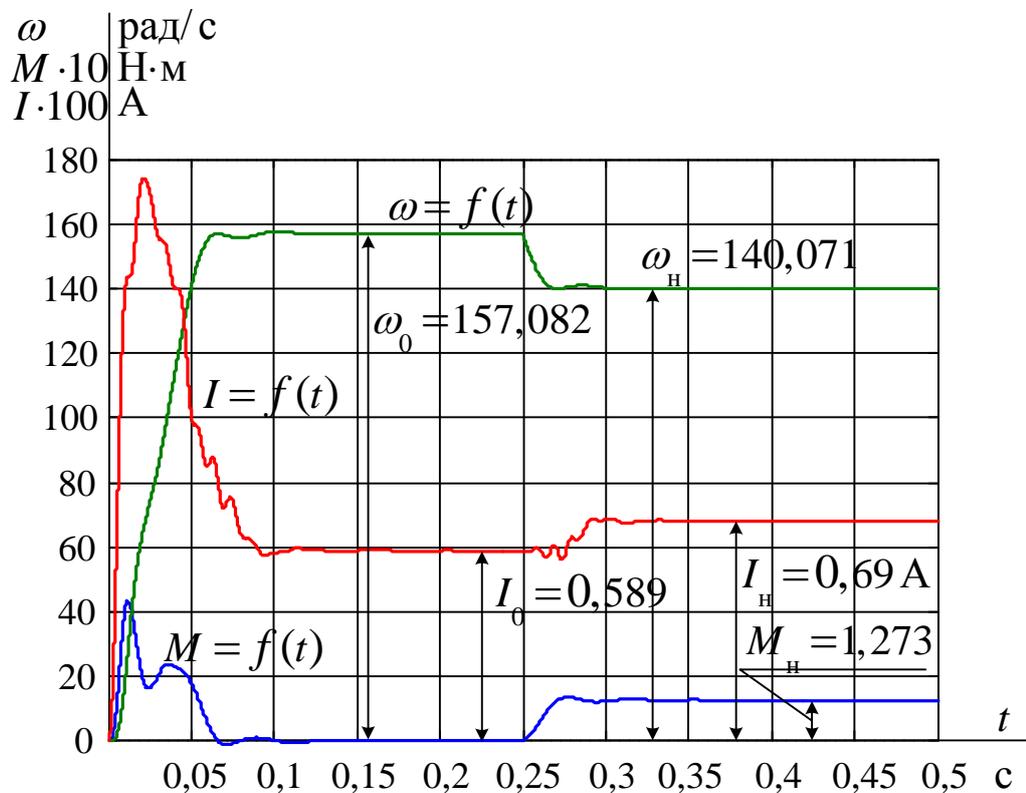


Рисунок 41 - Переходные характеристики скорости, момента и тока двигателя, при прямом пуске



$\omega$  - фактическое значение угловой скорости вращения ротора;

ЗИС – задатчик интенсивности скорости;

РС – регулятор скорости;

ФНУ 1 – формирователь напряжений управления двухфазным АД.

ФНУ 1 применительно к структурной схеме АД в неподвижной системе координат статора  $\alpha$  и  $\beta$  формирует два напряжения переменного тока  $u_\alpha^*$  и  $u_\beta^*$ .

ФНУ 2 – преобразователь напряжений управления двухфазным АД в напряжения управления трехфазным двигателем.

$\Delta f_{1k}^*$ ,  $U_{1k}^*$ , - компенсация (компенсирующие сигналы управления в канале частоты и напряжения);

Символом звездочка \* обозначены сигналы задания и управления.

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 42, составим имитационную модель привода в среде Simulink системы MatLab.

Данная имитационная модель представлена на рисунке 43. Модели асинхронного электропривода дискового затвора с частотным скалярным управлением на базе модели двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат  $\alpha$  и  $\beta$  без датчика тока. В модели предусмотрены две отключаемые модели некорректируемой и корректируемой  $U/f$  вольт – частотной характеристики,  $IR$ -компенсации,  $s$ -компенсации.

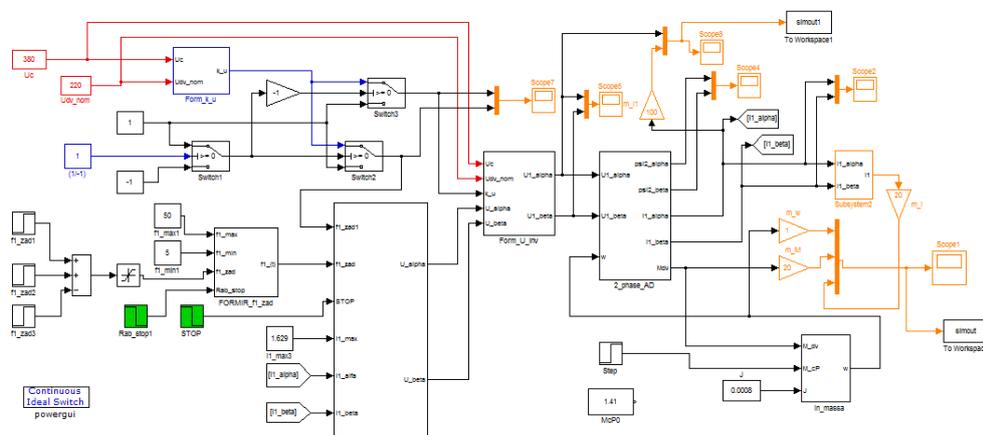


Рисунок 43 – Имитационная модель частотно – регулируемого асинхронного двигателя в  $\alpha$ ,  $\beta$  координат

Она состоит из следующих блоков:

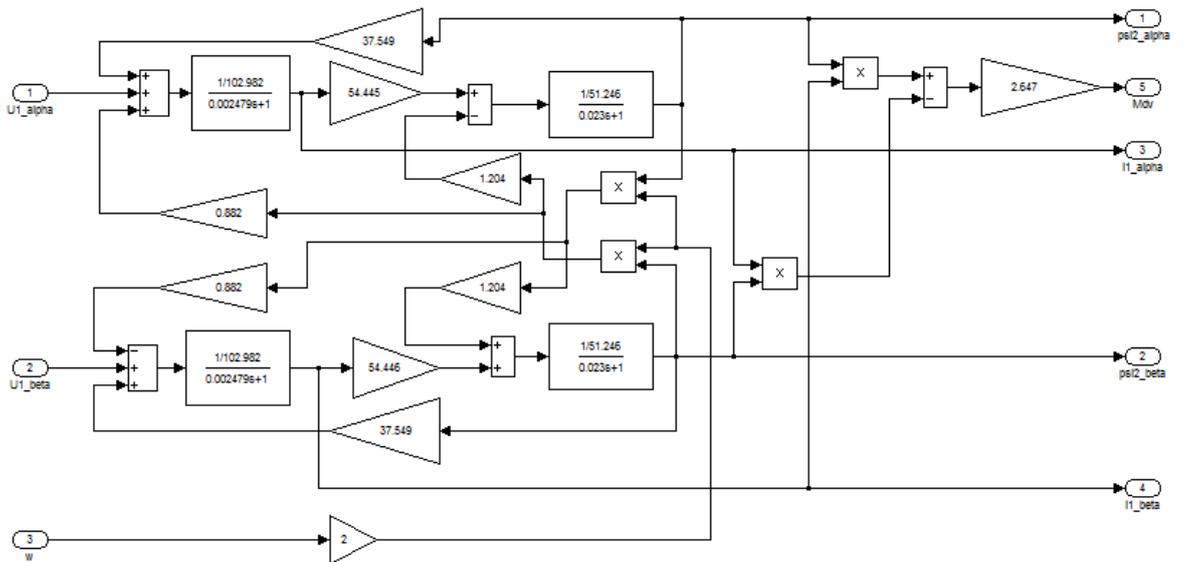


Рисунок 44 – Имитационная модель асинхронного двигателя в  $\alpha, \beta$  координатах



Рисунок 45 – Имитационная модель постоянной нагрузки

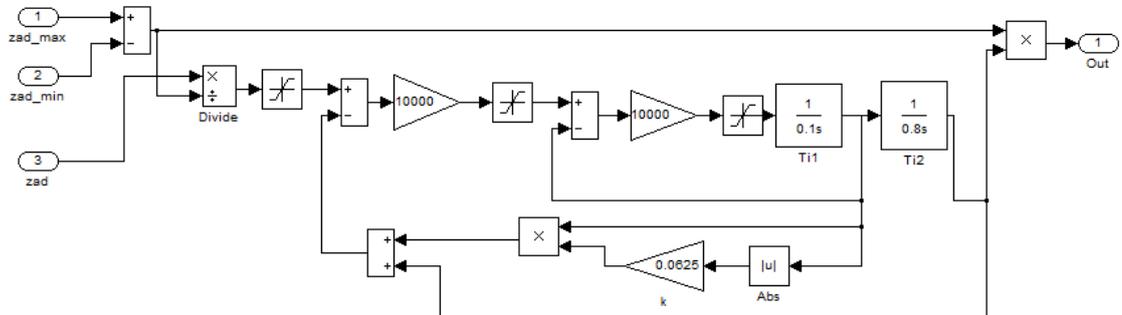


Рисунок 46 - Имитационная модель задатчика интенсивности

### 5.3. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора со скалярным управлением

В качестве примера смоделирована работа электрическим приводом дискового затвора следующего цикла:  $f_{\min} = 5\text{Гц}$ ,  $f_1 = 20\text{Гц}$ ,  $f_{\text{ном}(\max)} = 50\text{Гц}$ .

Первый опыт проведем со стандартной вольт частотной характеристикой изображенной на рисунке 47. Эту характеристику вводим в блок формирования напряжения.

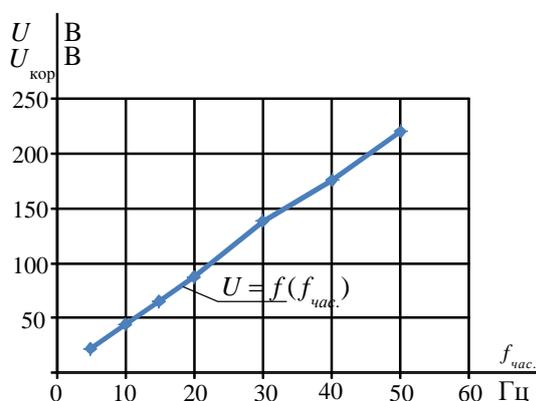


Рисунок 47 – Вольт частотная характеристика для закона  $U/f$

В результате моделирования были получены следующие переходные характеристики скорости, момента и тока, представленные на рисунке 48.

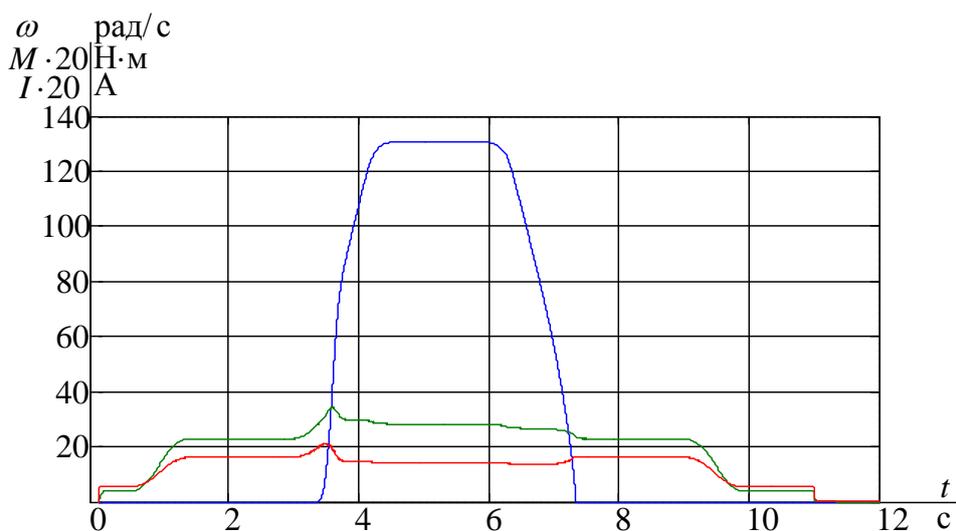


Рисунок 48 – Переходные характеристики асинхронного двигателя АИР 56В4У

Двигатель пускается при постоянной нагрузке при частоте 5 Гц. В 0,5 секунд добавляется 20 Гц, а 6 секунд добавляем еще 30 Гц и выходим на номинальную скорость. Как видно из графиков двигатель не работает на малых частотах. При данных частотах невозможно обеспечить пуск двигателя. Поэтому необходимо изменить начальный участок вольт – частотной характеристики. Скорректированная вольт – частотная характеристика изображена на рисунке 49 (см. главу 4.4).

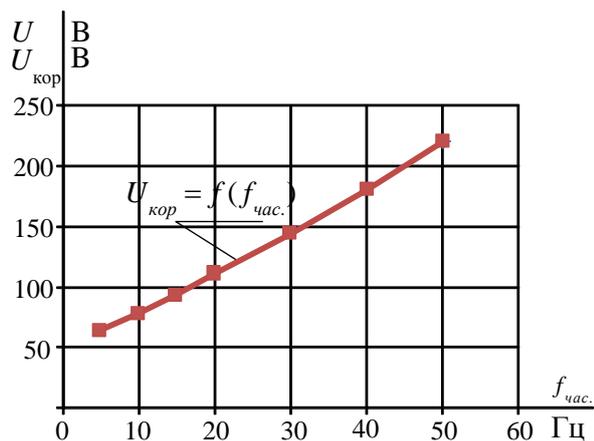


Рисунок 49 - С скорректированная вольт частотная характеристика

В результате моделирования были получены следующие переходные характеристики, представленные на рисунке 50.

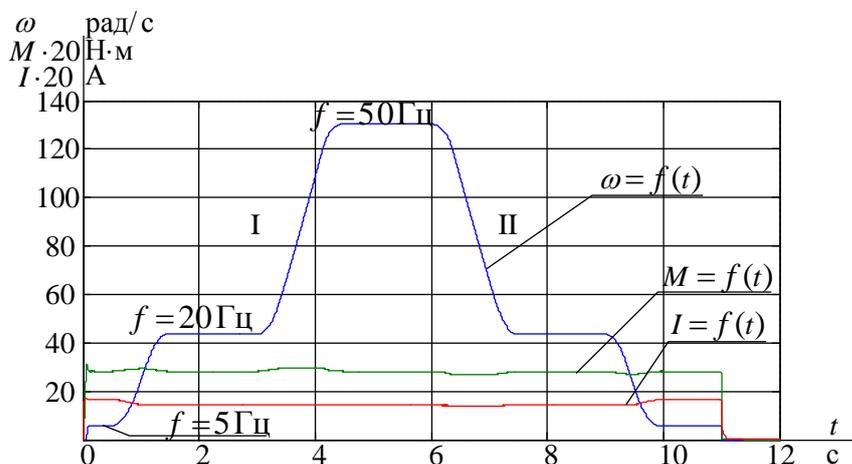


Рисунок 50 - Переходные характеристики асинхронного двигателя АИР 56В4У

Как видно из рисунка с скорректированной вольт частотной характеристикой двигатель работает на всех частотах.

Когда увеличивается отношение  $U/f$ , двигатель перейдет в состояние магнитного насыщения. Насыщенный двигатель характеризуется неравномерным вращением вала и рывками. Температура двигателя также повышается, и увеличится намагничивающий ток, и потери в стали. То есть не рационально постоянно завышать вольт – частотную характеристику (повышать значение напряжения), на всем участке работы двигателя.

Альтернативой коррекции вольт – частотной характеристики, является  $IR$  – компенсация (компенсация момента). Функциональная схема частотного

управления асинхронным двигателем с компенсацией момента и скольжения представлена на рисунке 51 [22].

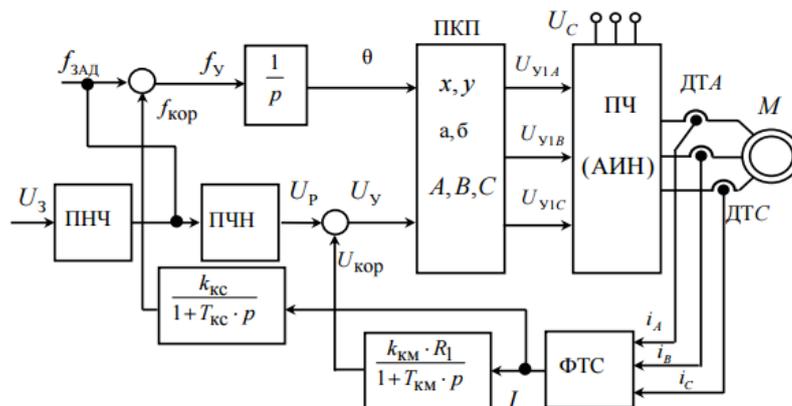


Рисунок 51 - Функциональная схема частотного управления асинхронным двигателем с компенсацией момента и скольжения

Схема, изображенная на рисунке 51, работает следующим образом. При увеличении момента на валу двигателя, ток каждой фазы статора двигателя возрастает и сигнал  $I$  (действующее значение тока) формирователь тока статора (ФТС) тоже возрастает. В результате увеличивается корректирующее напряжение положительной обратной связи  $U_{кор}$ , вычисляемое по действующему значению тока звеном с передаточной функцией  $W(p) = k_{км} / (1 + T_{км} \cdot p)$ , где  $k_{км}$  - коэффициент компенсации момента,  $T_{км}$  - постоянная времени задержки компенсации момента. С ростом сигнала положительной связи возрастает сигнал управления  $U_y$  канала напряжения и соответственно к росту фазного напряжения. В случае если при увеличении момента происходит сильное проседание скорости, то для поддержания скорости на требуемом уровне при малых значения фазного напряжения необходимо включить компенсацию скольжения. То есть дополнительное воздействие на канал частоты.

## 5.4. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора с корректировкой вольт – частотной характеристики на низких частотах

Так как требуемый диапазон регулирования 1:10 и асинхронный двигатель адекватно работает на 50 Гц, будем проводить имитационное моделирование проводить на 5 Гц. Введем два ограничения:

1. Напряжение не должно превышать 40 В;
2. Ток не должен превышать номинальное значение 0,7 А

В результате моделирования были сняты переходные характеристики пуска двигателя без нагрузки с последующим увеличением момента нагрузки на валу двигателя в 0,5 секунд. С ростом момента скольжение увеличивается. Механический момент оказывается больше максимально момента, скольжение увеличивается, приближается к 1 и двигатель останавливается. Переходные характеристики скорости, момента и тока без компенсации представлены на рисунке 52.

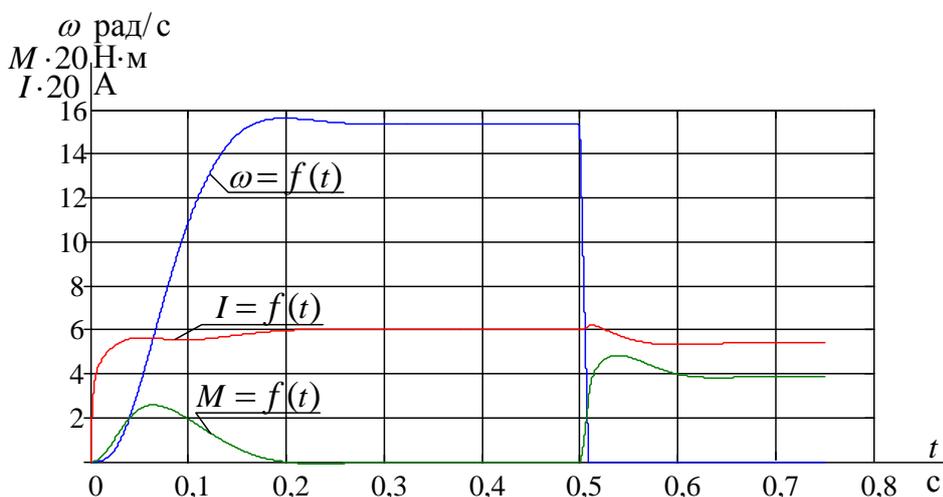


Рисунок 52 –Переходные характеристики пуска двигателя на минимальную скорость с последующим набросом нагрузки

Чтобы избежать остановки двигателя необходимо ввести  $IR$  – компенсацию. В данном случае при увеличении момента на валу, ток изменяется не значительно, а изменяется угол между напряжением и током.

Поэтому невозможно адекватно использовать  $IR$  – компенсацию и компенсацию по скольжению. В результате было решено проводить компенсацию не по изменению величины тока, а по изменению скорости вращения двигателя и углу между током и напряжением (угол нагрузки).

Блок  $IR$  – компенсации и  $s$  – компенсации представлен на рисунке 53.

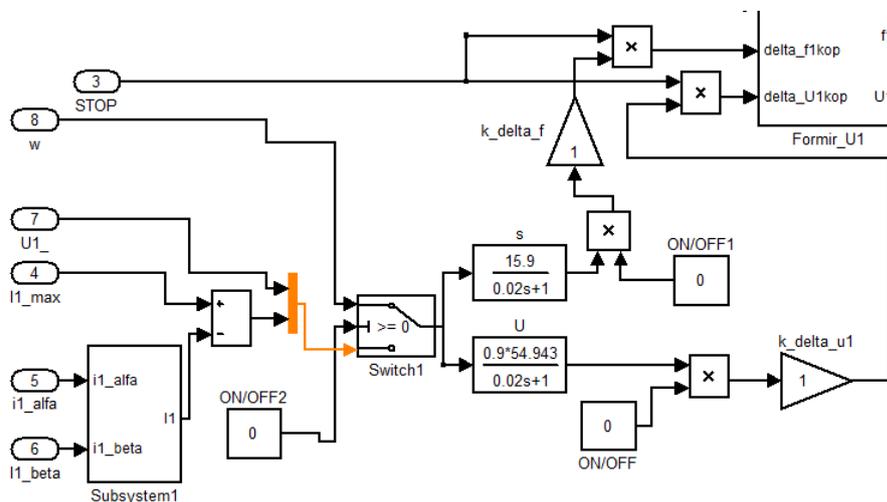


Рисунок 53 – Имитационная модель компенсации момента и скольжения

Проведем  $IR$  – компенсацию по изменению скорости. Это возможно только при наличии датчика скорости.

В момент времени  $t = 0,5$  секунд увеличиваем момент на валу двигателя. По датчику скорости фиксируем сильно проседание скорости двигателя. Далее вводим  $IR$  – компенсацию, происходит линейное увеличение напряжения с 0 до 40 В (см. рисунок 54). В результате двигатель после наброса нагрузки продолжает работать. Полученные в результате моделирование переходные характеристики представлены на рисунке 55.

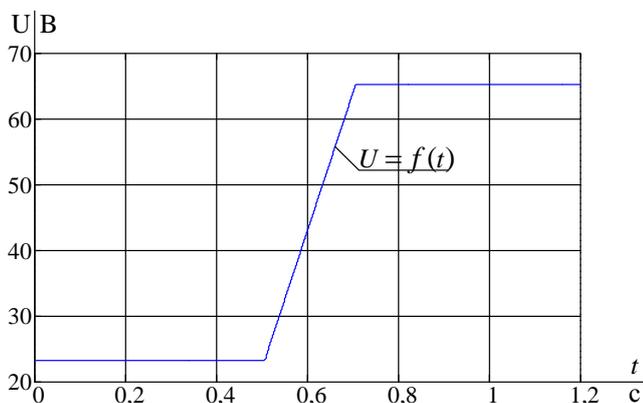


Рисунок 54 – Переходная характеристика напряжения

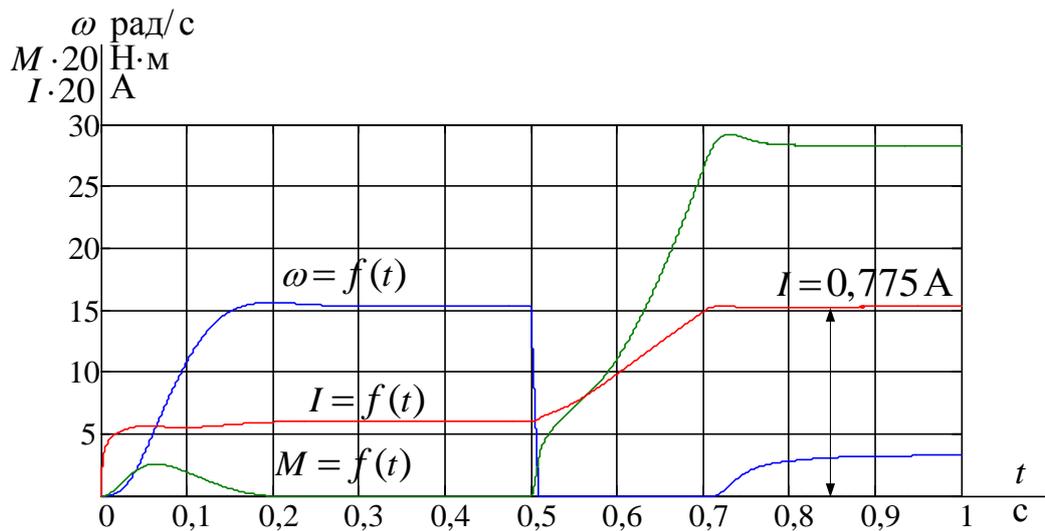


Рисунок 55 - Переходные характеристики пуска двигателя при набросе нагрузки, с  $IR$  – компенсацией

Анализируя полученные характеристики (рисунок 55) видно, что происходит значительно проседание скорости (так как двигатель имеет мягкие механические характеристики). Поэтому введем компенсацию по скольжению. Полученные переходные характеристик в результате моделирования представлены на рисунке 56.

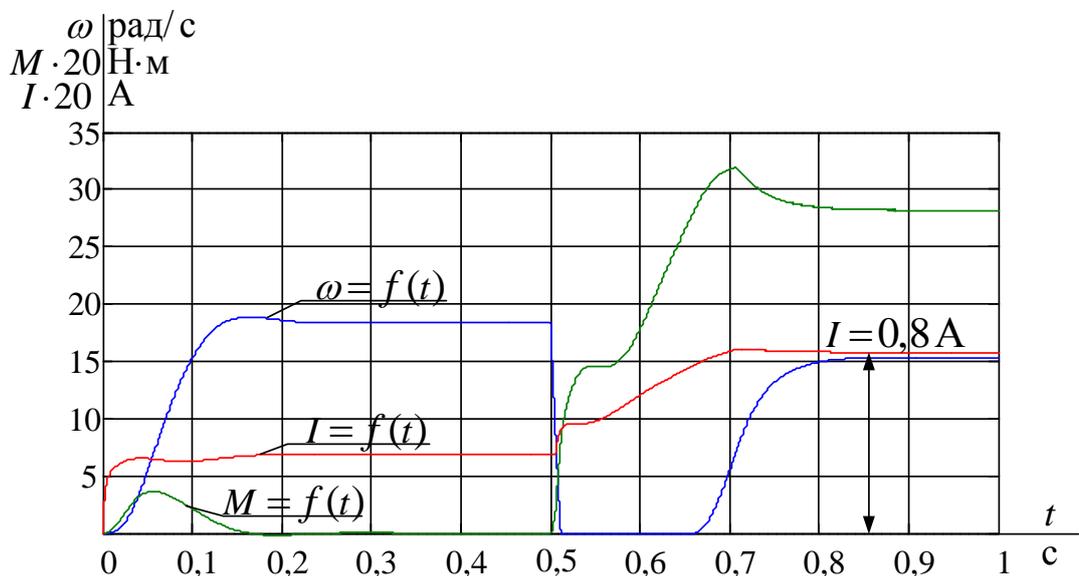


Рисунок 56 - Переходные характеристики пуска двигателя в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  при набросе нагрузки, с  $IR$  и  $s$ – компенсацией

## 5.5. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора со скалярным управлением с компенсацией с наблюдением за углом нагрузки.

Предыдущий способ компенсации имеет недостаток – наличие энкодера. Поэтому проведем  $IR$  – компенсации с отслеживанием за изменением угла нагрузки. При данном способе будем отслеживать изменение угла между напряжением и током. После увеличения момента на валу двигателя происходит уменьшения угла. Так как ток и напряжения, а соответственно и угол между ними меняются через период (на 5 Гц период равен 0,2 секунды), то после увеличения момента на валу необходимо время равное периоду для того чтобы увидеть необходимые изменения. На рисунке 57 представлены переходные характеристики тока и напряжения. I – режим ХХ, II – наброс нагрузки и время определения угла нагрузки, III – режим нагрузки, введение компенсации.

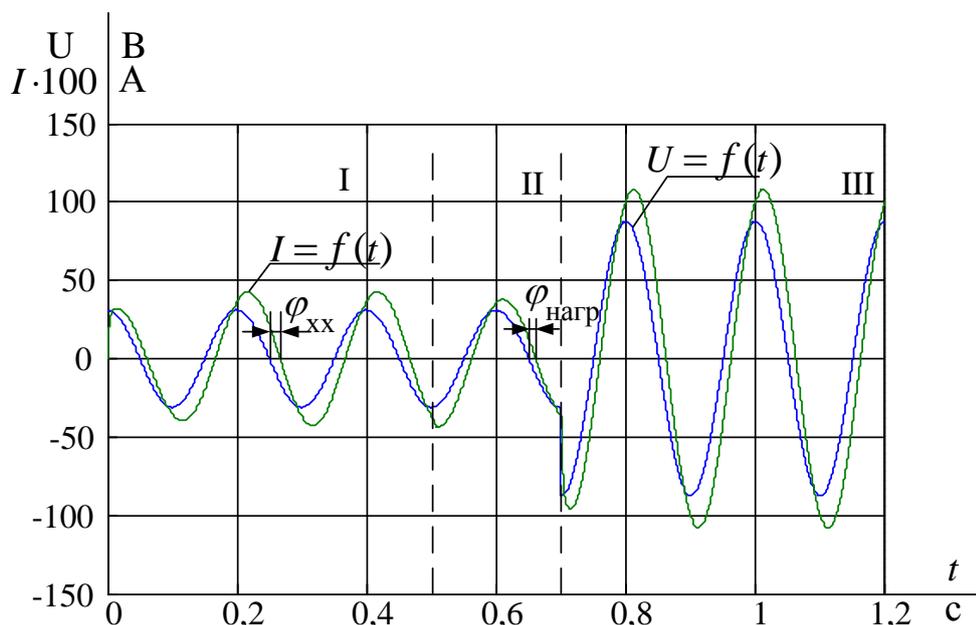


Рисунок 57 - Переходные характеристики тока и напряжения двигателя в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  при набросе нагрузки, с  $IR$  –компенсацией

Анализируя переходные характеристики видно, что угол между током и напряжением в режиме холостого хода  $\varphi_{xx} = 30,6^\circ$  и в режиме наброса нагрузки

$\varphi_{\text{нарг}} = 22,05^\circ$ . Угол между током и напряжением уменьшился. Необходимо ввести компенсацию. В результате моделирования были сняты следующие характеристик рисунок 58 и рисунок 59.

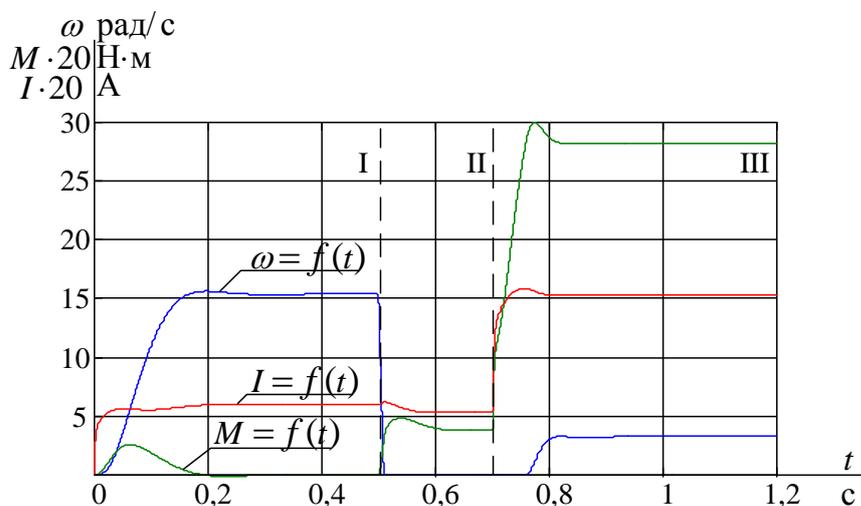


Рисунок 58 - Переходные характеристики скорости, момента и тока двигателя в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  при набросе нагрузки, с компенсацией по моменту (углу).

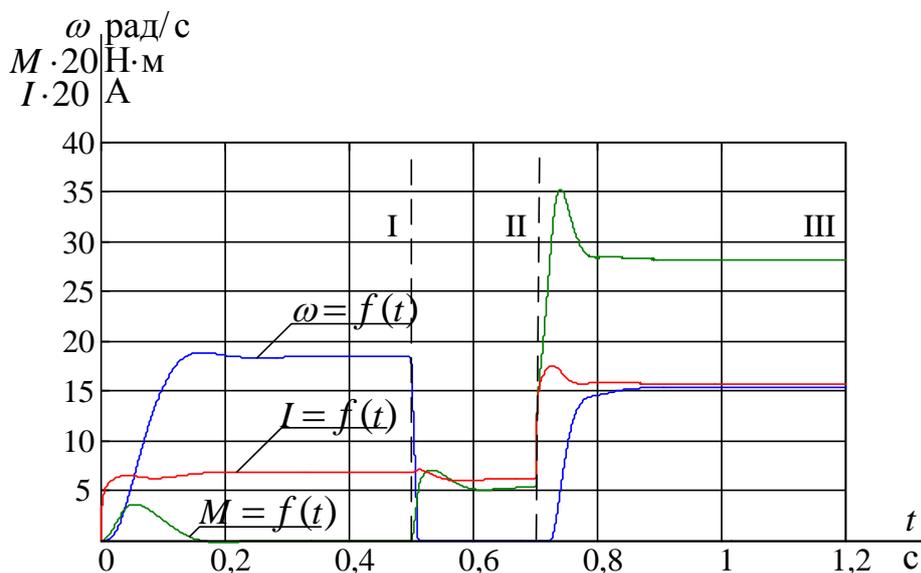


Рисунок 59 - Переходные характеристики скорости, момента и тока двигателя в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  при набросе нагрузки, с  $IR$  и  $s$  – компенсацией

Вывод: Проведен выбор оборудования и расчет основных характеристик. Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод дискового затвора при

скалярном управлении с законом управления  $U/f$  обеспечивает работу электропривода с начальной частоты  $f = 5$  Гц и требуемый диапазон регулирования скорости. Это удалось добиться с помощью корректировки вольт – частотной характеристики,  $IR$  – компенсации и  $s$  - компенсацией по изменению скорости и углу. Переходные процессы в электроприводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Первый способ имеет недостаток, необходимость применения датчика скорости, энкодер. Применение энкодера способно увеличить стоимость и габариты электропривода.

## **6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ГАЗА**

При анализе рассматриваются эксплуатационные характеристики электропривода трубопроводной арматуры для регулирования расхода газа.

В данном разделе рассматривается возможное влияние используемого оборудования, сырья, энергии, продукции и условий работы на человека и окружающую среду; техника безопасности при работе с оборудованием и действия при чрезвычайных ситуациях.

### **6.1. Производственная и экологическая безопасность и обеспечение безопасности в ЧС**

Эксплуатация электропривода ТА для транспортировки (регулирования расхода) газа является работой повышенной опасности, вследствие потенциальной возможности влияния опасных и вредных факторов.

#### **Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению**

##### **Вредные факторы.**

Рассмотрим вредные производственные факторы, которые действуют или могут воздействовать на организм человека при эксплуатации и обслуживании электропривода для ТА для транспортировки газа, а также рассмотрим нормативные значения этих факторов и мероприятия, направленные на снижение или устранение этих факторов.

##### Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе, рабочей зоны.

В настоящее время для оценки допустимости проведения работ и их нормирования на открытом воздухе в условиях крайнего севера применяется понятие предельной жесткости погоды: эквивалентная температура, численно равная сумме отрицательной температуре воздуха в градусах Цельсия и

удвоенной скорости ветра в м/с. Понятие предельной жесткости погоды устанавливается для каждого района решением местных региональных органов управления [14].

Предельная жесткость погоды, ниже которой не могут выполняться работы на открытом воздухе, колеблется в пределах от  $-40$  до  $-45$  °С. При эквивалентной температуре наружного воздуха ниже  $-25$  °С работающим на открытом воздухе или в закрытых не обогреваемых помещениях работникам, ежечасно должен быть обеспечен обогрев в помещении. В этом помещении необходимо поддерживать температуру около  $+25$  °С [13].

Работающие на открытом воздухе в зимнее время должны быть обеспечены спецодеждой и спецобувью с повышенным суммарным тепловым сопротивлением, а также защитными масками для лица. При работах, связанных с ограниченностью движения, следует применять спецодежду и спецобувь со специальными видами обогрева [14].

Работники должны быть обучены мерам защиты от обморожения и оказанию первой помощи. В рабочих зонах помещения и площадки обслуживания температура воздуха различна в теплый и холодный периоды года. Для поддержания микроклимата предусматриваются приточная и вытяжная вентиляции, нагреватели.

Профилактика перегревания работников осуществляется организацией рационального режима труда и отдыха путем сокращения рабочего времени для введения перерывов для отдыха, использования средств индивидуальной защиты.

#### Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны.

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях. Этот контроль осуществляется посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК).

Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет  $1,1-10 \text{ мг/м}^3$ , для смеси газа пропан-бутана ПДК равно  $300 \text{ мг/м}^3$  [16]. ПДК транспортируемых газов, вредных примесей и некоторых применяемых веществ [15]:

– Смесь пропан-бутана по санитарным нормам относится к 4-му классу опасности (малоопасные вредные вещества со значением ПДК в пересчете на углерод) –  $300 \text{ мг/м}^3$ .

– ПДК сероводорода в присутствии углеродов (C1–C5) –  $3 \text{ мг/м}^3$  (3-ой классу опасности).

– ПДК сернистого газа ( $\text{SO}_2$ ) в воздухе рабочей зоны  $10 \text{ мг/м}^3$  (3 класс – умеренно опасные вредные вещества).

– ПДК метанола ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) в воздухе рабочей зоны (по санитарным нормам) –  $5 \text{ мг/м}^3$ . (3 – класс опасности)

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

Уменьшение неблагоприятного воздействия запыленности и загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны [15].

Работающие в условиях пылеобразования должны быть в противопыльных респираторах, защитных очках и комбинезонах. При загазованности траншеи или котлована в результате утечки газа необходимо прекратить работу и вывести людей, запретить пользоваться открытым огнем и обеспечить средствами индивидуальной защиты.

#### Повышение уровней шума.

Допустимый уровень шума на площадках скважин и на рабочих местах составляет 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБА [11]. Источниками звукового давления и уровней шума являются движение тяжелого (в том числе

грузового) автотранспорта, работа насосного оборудования и приводной арматуры.

К коллективным средствам и методам защиты от шума относятся:

–Своевременное обслуживание оборудования и совершенствование технологии ремонта;

–Использование средств звукоизоляции (звукоизолирующие кожухи), средств звукопоглощения.

Также необходимо использовать рациональные режимы труда и отдыха работников.

В качестве СИЗ Государственным стандартом предусмотрены заглушки–вкладыши (многократного или однократного пользования, вкладыши "Беруши" и др.), заглушающая способность которых составляет 6–8 дБА. В случаях более высокого превышения уровней шума следует использовать наушники. Наушники могут быть встроенными в головной убор или в другое защитное устройство [12].

#### Повышение уровней вибрации.

Объектами повышения уровней вибрации являются площадки скважин и рабочие места. Источниками вибраций являются движение тяжелого (в том числе грузового) автотранспорта, работа насосного оборудования и приводной арматуры (задвижки, дисковые затворы и т.п.).

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Для первой категории общей вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116 дБ. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц [8].

Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены:

–применением вибробезопасного оборудования и инструмента;

–применением средств виброзащиты, снижающих воздействие на работающих вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения;

–организационно-техническими мероприятиями (поддержанию в условиях эксплуатации технического состояния машин и механизмов на уровне, предусмотренном НТД на них; введение режимов труда, регулирующих продолжительность воздействия вибрации на работающих; вывод работников из мест с превышением ДУ по вибрации) [8].

### **Опасных факторы.**

Рассмотрим вредные производственные факторы, которые действуют или могут воздействовать на организм человека при эксплуатации и обслуживании электропривода для ТА для транспортировки газа, а также рассмотрим нормативные значения этих факторов и мероприятия, направленные на снижение или устранение этих факторов.

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные).

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикосновения к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование.

Также необходимо соблюдать технику безопасности при работе оборудования, машин и механизмов, а их эксплуатацию должны выполнять только лица имеющие на это право [1]. В нашей работе движущимися частями обладают асинхронный привод и арматура, которые находятся в закрытом корпусе и защищены от попадания посторонних предметов.

### Поражение электрическим током

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека, не должны превышать следующих значений:

- переменный (50 Гц) –  $U$  не более 2,0 В,  $I$  не более 0,3 мА;
- переменный (400 Гц) –  $U$  не более 3,0 В,  $I$  не более 0,4 мА;
- постоянный –  $U$  не более 8,0 В,  $I$  не более 1,0 мА.

Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25°C) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза[16].

Для предупреждения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением, используют защитные сетчатые и смешанные ограждения (переносные временные ограждения и плакаты). Ограждению подлежат неизолированные токоведущие части выключателей, подающих напряжение на установки.

Предусмотреть технических средств электробезопасности: применение малых напряжений (12 - 42 В), защитное заземление (4 - 10 Ом), устройство защитного отключения [18].

Для защиты от поражения электрическим током персонала используются следующие средства индивидуальной защиты: диэлектрические перчатки и галоши (дежурные), резиновые коврики, изолирующие подставки.

Для защиты от электрической дуги и металлических искр при сварке необходимо использовать: защитные костюмы, защитные каски или очки и т.п.

Защита взрывоопасных сооружений и наружных установок от прямых ударов молнии выполняется отдельно стоящими стержневыми молниеотводами и прожекторными мачтами с молниеотводами. Все металлические, нетоковедущие части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции, заземляются, т.е. присоединяются к многократно заземляющемуся нулевому проводу.

Для защиты от электрической индукции и отвода зарядов статического электричества все технологическое оборудование и аппараты заземляются путем присоединения к защитному контуру заземления или специально сооружаемому для этой цели очагу заземления.

Предусматривается глухое заземление нейтрали силовых трансформаторов на стороне низкого напряжения. Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала от поражения электрическим током предусматривается защитное зануление и устройства защитного отключения (УЗО).

Все металлические части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением, подлежат занулению путем электрического соединения с глухозаземленной нейтралью источника питания посредством нулевых защитных проводников.

#### Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением

При несоблюдении правил безопасности при изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудование работающее под высоким давлением обладает повышенной опасностью.

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия, старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды (газа); неисправности в контрольно–измерительных, регулирующих, запорных (трубопроводная арматура) и предохранительных устройствах; ошибки обслуживающего персонала и т. д.[7].

Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования, работающего под давлением, распространяются:

- работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;
- на баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа;
- на цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа;
- на цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически [19].

Основным требованием к конструкции оборудования работающего под высоким давлением является: надежность обеспечения безопасности при эксплуатации, возможность осмотра и ремонта. Специальные требования предъявляются к сварным швам. Они должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации, располагаться вне опор сосудов.

Сварные швы делаются только стыковыми. Ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов должна быть возложена на специалиста, которому подчинен персонал, обслуживающий сосуды (начальник компрессорной, начальник участка, старший мастер участка и т. д.).

### Пожарная опасность

Металлический сборно-разборный трубопровод относится к взрывоопасным, пожароопасным и вредным производственным объектам.

Опасность эксплуатации связана с наличием в трубопроводе газопродуктов, которые при утечках способны образовывать с воздухом взрывоопасные и пожароопасные смеси.

Вещества, обращающиеся в трубопроводе, являются вредными веществами III, IV класса опасности и представляют опасность для здоровья персонала и третьих лиц.

Трубопровод, находящийся под давлением свыше 0,07 МПа, может привести в аварийном случае к выбросу вредных, взрывопожароопасных веществ в окружающую среду и к различным поражающим факторам.

В соответствии с принятой классификацией трубопровод объекта относится к объектам транспорта с приемлемым уровнем риска. Основными факторами, способными привести к чрезвычайным ситуациям техногенного

происхождения на объекте, являются:

- нарушение технологии строительства;
- отступление от проектных решений;
- нарушение правил эксплуатации и технологических регламентов;
- несанкционированные действия посторонних лиц;

-умышленное или непреднамеренное повреждение оборудования и технических средств;

-нарушение правил противопожарной безопасности и норм безопасности труда;

-террористический акт.

## **6.2. Экологическая безопасность**

Рассмотрим воздействие вредных факторов на окружающую среду и природоохранные мероприятия при эксплуатации электропривода трубопроводной арматуры для транспортирования газа:

1) Земельные ресурсы, засорение почвы производственными отходами. Приказом по предприятию назначается лицо, ответственное за сбор, временное хранение и организацию своевременного вывоза отходов образующихся в результате проведения работ. На участке должен проводиться постоянный контроль за состоянием рабочих емкостей и контейнеров с отходами. Места временного хранения и накопления отходов должны соответствовать требованиям техники безопасности, санитарно-гигиеническим нормам и выше перечисленным инструкциям. Места сбора и накопления отходов должны быть оборудованы углекислотными огнетушителями, ящиками с песком, лопатой, войлоком, кошмой или асбестом.

2) Воздушный бассейн. Выбросы пыли и различных газов в процессе транспортировки газа. Основные источники загрязнения слоя атмосферы при трубопроводном транспорте газа - аварийные выбросы газа при отказах линейной части магистральных газопроводов и выбросы при проведении технологических операций. Отказы газопроводов вызываются использованием некондиционных исходных материалов (арматура, сварочная проволока и т.п.), нарушением технологии строительно-монтажных работ, ремонта и эксплуатации, коррозией и т.д. Для предупреждения неблагоприятных последствий загрязнения воздуха содержание вредных веществ в атмосфере регламентируется соответствующими нормативными документами. Для предотвращения возможных выбросов необходимо поддержание всей

трубопроводной системы, арматуры в исправном состоянии, контроль над состоянием оборудования, своевременный ремонт.

3) Вода и водные ресурсы. При эксплуатации магистральных газопроводов основными загрязнителями являются газоконденсат и метанол. Загрязнение сточными водами и мусором. В качестве мероприятий необходимо соблюдение согласованных мест расположения и границ площадок, расположенных от водоемов и водотоков на нормируемом расстоянии с целью исключения попадания загрязнений в поверхностные воды. Емкости с отработанными ГСМ должны временно храниться на специально отведенной площадке на металлических поддонах, с оборудованным герметичным бордюром, позволяющим предотвратить разлив хранящегося количества отходов ГСМ за пределы площадки.

### **6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **Пожарная опасность.**

Пожарная опасность электроустановок, каковыми являются щиты и пульты управления, а также шкафы питания и коммуникаций, которые применяются в проекте, обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляции обмоток, различных электромагнитов (контакты, реле, контрольно-измерительные приборы), проводов и кабелей.

Согласно строительным нормам и правилам [НПБ 105-2003] в зависимости от характеристики и количества веществ обращающихся в производстве, производства подразделяются по пожарной и взрывной опасности на категории А, Б, В, Г, Д. Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий следует определять для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода, исходя из вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологических процессов. Потенциально опасные производства подразделяются на категории, указанные в [ППБ 01-03].

Помещение, где реализована автоматизированная система учёта и управления энергопотребления здания по пожарной и взрывной опасности относится к категории Г: Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; ГГ, ГЖ и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

При строительстве зданий и сооружений с учётом категории производства применяют строительные материалы и конструкции, которые подразделяются на три группы: сгораемые; трудносгораемые; несгораемые. Помещение, где реализована система автоматизации относится к трудносгораемым.

К противопожарным мероприятиям в помещении относят следующие мероприятия:

- помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, ведра, стендом с противопожарным инвентарем);

- средства связи в помещении должны быть постоянно исправны. К средствам сигнализации относятся ручные пожарные извещатели;

- каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнить номера телефонов для сообщения о пожаре; уметь пользоваться средствами пожаротушения.

Помещение обеспечено средствами пожаротушения в соответствии с нормами. На 100 м<sup>2</sup> пола имеется:

- порошковый огнетушитель ОП-5 – 1 шт.;
- углекислотный огнетушитель ОУ-5 – 1 шт.;
- ящик с песком на 0,5 м<sup>3</sup> – 1 шт.;
- железные лопаты – 2 шт.

Каждый работник, заметивший загорание, задымление и другие явления, могущие привести к пожару в цехе, обязан:

– немедленно вызвать пожарную часть по телефону 01 , 051 или при помощи ручного пожарного извещателя;

– вызвать к месту пожара начальника смены, начальника участка, начальника цеха;

Чрезвычайные ситуации могут возникнуть в результате разгерметизации линейной части трубопровода, возникновения взрыва и развитие пожара.

Основными факторами, способными привести к чрезвычайным ситуациям техногенного происхождения на объекте, являются:

- нарушение технологии строительства;
- отступление от проектных решений;
- нарушение правил эксплуатации и технологических регламентов;
- несанкционированные действия посторонних лиц;
- умышленное или непреднамеренное повреждение оборудования и технических средств;

- нарушение правил противопожарной безопасности и норм безопасности труда;

- ускоренная амортизация оборудования вследствие несоблюдения правил и норм технического обслуживания и ремонта;

- террористический акт.

К основным причинам чрезвычайных ситуаций природного происхождения на трубопроводе для транспортирования газа могут быть отнесены:

- повреждение технологического оборудования в результате ледоходов и наводнений при весенних паводках;

- массовые лесные пожары и возгорания торфяников на прилегающих к объектам территориях;

- стихийные катастрофические тектонические процессы в районе размещения объектов системы.

Основными последствиями чрезвычайных ситуаций на объекте могут быть:

-загрязнение почв, поверхностных водотоков и подземных источников в результате утечек транспортируемого сырья при нарушении герметичности трубопровода и резервуаров;

-уничтожение растительного покрова и загрязнение атмосферы в результате утечек сырья, при авариях и неисправностях на трубопроводе и его объектах;

-неблагоприятное воздействие на популяцию животных в районе расположения объекта.

Наибольший ущерб окружающей среде может быть нанесен при авариях, связанных с разрывом линейной части, так как в этих случаях масштабы загрязнения земли и поверхностных вод являются самыми значительными.

При условии полного выполнения положений и требований технической документации по сооружению и эксплуатации трубопровода, реализации мер по эффективному и постоянному контролю герметичности трубопровода, соблюдению режимов деятельности в полосе отвода вероятность аварий сводится к минимально возможному уровню для объектов такого вида.

Аварии на магистральном и внутриплощадочных трубопроводах могут происходить в виде свищей, трещин, реже в виде порывов. Для предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера предусматривается периодический контроль за состоянием тела трубы, швов с помощью средств диагностики. При проведении своевременных диагностик, ревизий и капитальных ремонтов трубопроводов, аварийные ситуации с негативными последствиями для окружающей среды могут быть сведены до минимальных.

### **Социальные гарантии для работника**

Социальные гарантии - это социально-экономические нормативы, гарантирующие населению признанный обществом уровень потребления, то есть обеспечивающие минимальный стандарт уровня жизни в соответствии с возможностями экономики.

Система социальных гарантий должна удовлетворять следующим требованиям:

- необходимый и достаточный объем;
- обеспеченность финансовыми и материальными ресурсами;
- адресность;
- учет территориальных особенностей;
- механизм доведения до получателя.

Социальные гарантии могут быть общенациональными, региональными, отраслевыми, а источниками их финансирования — федеральный бюджет, бюджетная система субъекта Российской Федерации и внебюджетные фонды. Социальные гарантии обеспечиваются гражданам страны в соответствии с Конституцией.

В отношении трудоспособного населения социальные гарантии должны обеспечивать условия трудовой и деловой активности, защиту прав и свобод наемного работника, нанимателя.

Для основной части населения наемный труд является главным источником средств существования, поэтому система социальной защиты трудоспособного населения должна обеспечивать гарантии в сфере занятости и оплаты труда. Для этого государством устанавливается минимальная оплата труда. В большинстве стран устанавливается минимальная часовая зарплата.

Социальные гарантии в отношении нетрудоспособного населения должны создавать условия для его потребления, учитывая особенности каждой группы.

Поступления из системы социальной защиты делят на три группы:

- денежные выплаты (пенсии, пособия);
- льготы, проявляющиеся в праве на снижение налогов, получение трансфертов в натуральной форме;
- социальные услуги, потребляемые бесплатно или по ценам, не имеющим экономического значения.

Социальные гарантии выполняют различные функции:

- алиментарно-компенсационную, которая обеспечивает поддержание потребления на определенном уровне;
- защитную, которая обеспечивает сохранение условий труда и проживания;
- стимулирующую, которая стимулирует получателя на рост трудовой и деловой активности.

## **7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Существует проблема испытаний новых современных алгоритмов управления электроприводом запорной арматуры на имитационной модели. Но экспериментальным путем эти проблемы можно решить. В данной работе решается задача создания экспериментальной установки для исследования регулировки газообразных сред. Соответственно целью данной работы является разработка экспериментального стенда имитации газообразного потока.

### **7.1. Планирование работ и их временной оценки**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического задания;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения работ.

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер. На каждый вид запланированных работ установлена соответствующая должность исполнителя. Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень работ и оценка времени их выполнения

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Продолжительность выполнения работ, дней
Разработка технического задания и его выдача	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер 9р	1
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер 9р	20
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер 9р	3
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер 9р	3
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер 9р	14
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер 9р	18
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер 9р	8
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер 9р	6
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер 9р	30
	10	Проверка полученных результатов	Научный руководитель Инженер 9р	2

Всего 105 дн., в том числе НР 9 дн.

НР участвует в проекте 8,57%.

## 7.2.Смета затрат на научно-техническое проектирование

Месячный оклад работников – Таблица 10

№	Проектная группа	Оклад
1	Инженер 9р	17000
2	Научный руководитель	26300

Смета затрат на проект ( $K_{пр}$ ) включает в себя материальные затраты, амортизацию, затраты на заработную плату, на социальные нужды, прочие и накладные затраты.

$$K_{пр} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{з/пл} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \text{ где} \quad (7.2.1)$$

$K_{\text{мат}}$  – материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$  – затраты на амортизацию;

$K_{з/пл}$  – затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о}}$  – затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$  – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$  – накладные затраты.

### 7.2.1. Материальные затраты

Материальные затраты - это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции, принимаем в размере 1000руб. на канцелярские товары.

### 7.2.2. Затраты на амортизацию

Амортизация, это процесс переноса стоимости основных средств на стоимость произведенной и проданной конечной продукции по мере их износа, как материального, так и морального.

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ где} \quad (7.2.2.1)$$

$T_{\text{исп.кт}}$  – время использования компьютерной техники

$T_{\text{кал}}$  – календарное время (365дней)

$C_{\text{кт}}$  – цена компьютерной техники (14000 руб)

$T_{\text{сл}}$  – срок службы компьютерной техники (5 лет)

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кг}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кг}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} = \frac{40}{365} \cdot 14000 \cdot \frac{1}{5} = 307 \text{ руб}$$

### 7.2.3. Затраты на заработную плату

Заработная плата – вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные и стимулирующие выплаты.

ЗП исполнителей в месяц с учетом коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ :

$$ЗП_{\text{мес}} = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ где } (7.2.3.1.)$$

$ЗП_0$  – месячный оклад работника;

$K_1 = 1,1$  – коэффициент, учитывающий отпуск (10%);

$K_2 = 1,3$  – районный коэффициент (30%).

$$ЗП_{\text{мес(инж)}} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24300 \text{ руб/мес.};$$

$$ЗП_{\text{мес(НУ)}} = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб/мес. В месяце 21 рабочий день.}$$

Тогда заработная плата  $ЗП_{\text{ор}}$  каждого участка в соответствии план-графиком:

$$ЗП_{\text{ор}} = \frac{ЗП_{\text{мес}}}{21} \cdot n, \text{ где } (7.2.3.2)$$

$n$  – количество дне в проекте.

$$ЗП_{\text{ор}} = \frac{ЗП_{\text{мес(инж)}}}{21} \cdot n = \frac{24300 \cdot 105}{21} = 121500 \text{ руб};$$

$$ЗП_{\text{ор}} = \frac{ЗП_{\text{мес(НУ)}}}{21} \cdot n = \frac{37609 \cdot 9}{21} = 16118 \text{ руб.}$$

Основные затраты на заработную плату исполнителей за весь период работы составит:

$$K_3 / \text{пл} = ЗП_{\text{инж}} + ЗП_{\text{нр}} = 121500 + 16118 = 137618 \text{ руб. } (7.2.3.3)$$

### 7.2.4. Затраты на социальные нужды

Затраты организации по обязательным и добровольным взносам в органы государственного страхования, пенсионного фонда, фонда медицинского

страхования от затрат на оплату труда работников, занятых в производстве продукции, работ, услуг в непроизводственной сфере в соответствии с порядком, установленным законодательством. Затраты на социальные нужды (отчисления) берем 30% от  $K_3/нл$ .

$$K_{c.o.} = \frac{K_3 / нл \cdot 30\%}{100\%} = \frac{137618 \cdot 30}{100} = 41285 \text{ руб.} \quad (1.2.4.1)$$

### 7.2.5. Прочие затраты

Прочие затраты, принимаются в размере 10% от суммы: материальных затрат, затрат на амортизацию, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{пр} = \frac{(K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_3 / нл + K_{c.o.}) \cdot 10\%}{100\%} = \frac{(1000 + 307 + 137618 + 41285) \cdot 10}{100} = 18021 \text{ руб.} \quad (7.2.5.1)$$

### 7.2.6. Накладные затраты

Затраты, не связанные прямо с производством отдельного изделия или вида работы и относимые на весь выпуск продукции. К ним относятся: расходы на содержание, эксплуатацию и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования; отчисления на социальное страхование и другие обязательные платежи; содержание и заработную плату административно-управленческого персонала; расходы, связанные с потерями от брака и простоев и др. Накладные расходы, принимаются в размере 200% от  $K_3/нл$ .

$$K_{\text{накл}} = \frac{K_3 / нл \cdot 200\%}{100\%} = \frac{137618 \cdot 200}{100} = 275236 \text{ руб.} \quad (7.2.6.1)$$

Смета затрат на проект:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_3 / нл + K_{c.o.} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}} = 1000 + 307 + 137618 + 41285 + 18021 + 275236 = 473467 \text{ руб} \quad (7.2.6.2)$$

Таблица 11 – Результаты полученных данных

№	Элементы затрат	Стоимость, руб.
1	Материальные затраты	1000
2	Амортизация компьютерной техники	307
3	Затраты на заработную плату	137618
4	Затраты на социальные нужды	41285
5	Прочие затраты	18021
6	Накладные расходы	275236
	Итого:	473467

### 7.3.Смета затрат на оборудование

Расчет затрат на оборудование для научных (экспериментальных) работ.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблице 4.

Таблица 4 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Количество, шт	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, руб
ПК	1	14000	14000
Преобразователь частоты	1	22000	22000
Двигатель	1	3440	3440
Датчики	6	25000	150000
Дисковый затвор	1	2000	2000
Итого	10	66440	191440

Чтобы посчитать монтажные работы ( $M_{\text{раб}}$ ), берем 20% от стоимости оборудования.

$$M_{\text{раб}} = \frac{C_o \cdot 20\%}{100\%} = 191440 \cdot 0,2 = 38288 \text{ руб.}, \text{ где } (7.3.1)$$

$C_o$  – общая стоимость оборудования.

Анализ полученных результатов

Данный технический проект направлен на расчет параметров схемы замещения АД и его математическое и имитационное моделирование с определенными параметрами, требуемыми заказчиком:

- диапазон регулирования 1:10;
- открытие затвора за 63 секунд;
- ограничение бросков тока и момента;

В результате проделанной работы, на выходе проекта достигаем необходимый результат, тем самым можно сделать вывод, что проект реализован верно:

После расчетов параметров АД, выбора редуктора требуемое время открытия 63 было достигнуто. Оно составило 60 секунд, что не является критичным.

На имитационной модели с помощью задатчика интенсивности удалось ограничить броски момента и тока, в результате пуск двигателя проходит плавно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной магистерской работы является исследование электропривода трубопроводной арматуры, обеспечение требуемого диапазона регулирования. Были рассмотрены различные виды трубопроводной арматуры, из которых в качестве исследуемого объекта выбран дисковый затвор. Дисковый затвор является серьезной альтернативой использованию задвижек, вентилях и кранов. Дисковый затвор может объединять как регулирующие, так и запорные функции.

Для обеспечения требуемого времени открытия дискового затвора был выбран асинхронный двигателя АИР56В4У и червячный редуктор.

Результатами расчета параметров двигателя являются статические механические и электромеханические характеристики. Также были построены вольт частотные характеристик для закона регулирования  $U/f$ , которые были использованы для моделирования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора со скалярным управлением. Работа двигателя на 5 Гц была обеспечена с помощью компенсации вольт – частотный характеристики различными способами.

Смоделированная система удовлетворяет требованиям технического задания.

В экономической части произведена оценка затрат на проектирование. В разделе безопасности и экологичности проанализированы опасные и вредные производственные факторы, рассмотрена социальная ответственность, даны практические рекомендации по технике безопасности и производственной санитарии.

## Список используемой литературы:

1. Магистральные трубопроводы для нефти, газа и нефтепродуктов [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://rgk-palur.ru/magistralnye-truboprovody-istoriya-razvitiya-i-vozniknoveniya/> (дата обращения 05.04.17);
2. Трубопроводный транспорт газа [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://gaz-prof.ru/gas-stream/transportation/> (дата обращения 05.04.17);
3. В.Т. Новиков. Трубопроводная арматура. – Томск, : Издательство Томского политехнического университета, 2013. – 290 с;
4. С. А. Ахметова, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / под ред. С. А. Ахметова – СПб.: Недра, 2006 – 868 с;
5. Классификация трубопроводной арматуры [Электронный ресурс] – Режим доступа [http://www.techgidravlika.ru/view\\_post.php?id=22](http://www.techgidravlika.ru/view_post.php?id=22) (дата обращения 06.04.17);
6. Разновидности арматуры по присоединению к трубопроводу [Электронный ресурс] – Режим доступа [http://armatek.ru/about/truboprovodnaya\\_armatura/raznovidnosti\\_armatury\\_po\\_prisoedineniyu\\_k\\_truboprovodu/](http://armatek.ru/about/truboprovodnaya_armatura/raznovidnosti_armatury_po_prisoedineniyu_k_truboprovodu/) (дата обращения 07.04.2017);
7. Трубопроводная арматура. Курс лекций [Электронный ресурс] – Режим доступа [http://armtorg.ru/files/books/trub\\_armatura\\_lek/Truboprovodnaya\\_armatura\\_kurs\\_lek\\_ciy.pdf](http://armtorg.ru/files/books/trub_armatura_lek/Truboprovodnaya_armatura_kurs_lek_ciy.pdf) (дата обращения 07.04.2017);
8. Золотниковые клапаны гомку серии трс [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.aberika.ru/airtec-controls/kolbenventile-TPC/> (дата обращения 08.04.17.);
9. Дисковые затворы [Электронный ресурс] – Режим доступа [http://armatek.ru/about/truboprovodnaya\\_armatura/diskovye\\_zatvory/](http://armatek.ru/about/truboprovodnaya_armatura/diskovye_zatvory/) (дата обращения 08.04.17.);

10. ГОСТ 24856-2014 Арматура трубопроводная. Термины и определения [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200115380> (дата обращения 08.04.17.);

11. Каталог продукции ЗАО «АРМАТЭК» [Электронный ресурс] – Режим доступа [http://armatek.ru/files/katalog/katalog\\_armatek\\_2014\\_1\\_04\\_2016.pdf](http://armatek.ru/files/katalog/katalog_armatek_2014_1_04_2016.pdf) (дата обращения 08.04.17.);

12. Затворы дисковые запорные и регулирующие [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://baumgroup.ru/catalog/Каталог%20AG.%20Затворы%20стальные.pdf> (дата обращения 08.04.17);

13. Поворотные дисковые и шиберные затворы [Электронный ресурс] – Режим доступа [http://www.zatvor.org/zatvor\\_vybor.html](http://www.zatvor.org/zatvor_vybor.html) (дата обращения 08.04.17);

14. Червячные двухступенчатые редукторы [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://reduktor58.ru/> (дата обращения 08.04.17);

15. Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин, Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно – регулируемый электропривод: Учебное пособие. Томский политехнический университет. 2 – е. изд., перераб. и доп., - Томск: Изд – во Томского политехнического университета, 2014. – 648 с.

16. Частотные преобразователи [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.110volt.ru/text/invertor> (дата обращения 09.07.17);

17. MICROMASTER преобразователи частоты [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.siemens-pro.ru/doc/documentation/micromaster.pdf> (дата обращения 09.04.17);

18. Частотные преобразователи [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://elleron.ru/catalog/chastotnye-preobrazovateli/siemens/micromaster-420/chastotnyu-preobrazovatel-siemens-6se6420-2ud13-7aa1-tok-1-2a-0-37kvt-380v-3f/> (дата обращения 09.04.17);

19. Преобразователи частоты [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://rusautomation.ru/privodnaya-tehnika/innovert-mini-isd251m43b> (дата обращения 09.04.17);

20. Частотные преобразователи [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.invt.su/katalog/chastotnye-preobrazovateli/seriya-chf100a/preobrazovatel-chastoty-invt-chf100a-0r7g-4.html> (дата обращения 09.04.17);

21. Преобразователи частоты [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://vlt-invertor.ru/preobrazovatel-chastoty-vlt-automationdrive-fc301-i-fc302/> (дата обращения 09.04.17);

22. А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев, Электропривод переменного тока: учебное пособие/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд – во Томского политехнического университета, 2011. – 213с;

23. ГОСТ 12. 0. 003 – 74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;

24. ГОСТ 12. 1.004 – 91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92);

25. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003;

26. ГОСТ 12. 1. 030 - 81 ССБТ. Защитное заземление, зануление;

27. ГОСТ 12. 1. 010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования;

28. ФЗ №123 от 22.07.2008г. "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности";

29. РД 03-29-93 «Методические указания по проведению технологического освидетельствования сосудов работающих под давлением»;

30. ГОСТ 12. 1. 012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования;

31. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
32. ГОСТ 12. 1.005 – 88 (с изм. №1 от 2000г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).
33. ГОСТ 12. 1. 003 – 83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
34. ГОСТ 12. 1. 003 – 83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
35. ГОСТ 12. 1. 007 – 76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изм. 1990г.).
36. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
37. СТП-001-05. Нормы и правила проектирования, строительства и эксплуатации металлических сборно-разборных трубопроводов.
38. ГОСТ 12. 1. 038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
39. ГОСТ 12. 1. 019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
40. ГОСТ 12. 1. 030 - 81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
41. ПБ 10-115-96 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов работающих под давлением»

## Приложение А

### Раздел (8) Types of pipeline control valves

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Тепляков Владимир Васильевич		

Консультант кафедры ЭПЭО \_\_\_\_\_:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Краснов И.Ю.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пташкин А.С.	к.ф.н.		

## **Introduction**

The pipeline is important engineering construction in the modern world. Gas, oil, water, air and other aggregate states of substance are transported on pipelines. Tubing is very important for economy of the majority of the countries of the world. Gas and petrol are consumed by every human around the world. Therefore the person depends on oil pipelines and gas pipelines. Tubing became strategic transport infrastructures in the majority of the countries. Integral part of tubing is the pipeline control valves. The pipeline control valves operate flows of an actuation service.

There is a tendency to automation of the industrial process in the modern world. Practically all gas is delivered on pipelines to the consumer.

### **Pipeline valves**

#### **The general information about pipeline control valves**

Power supplies transport a railway, water, motor and pipeline transportation. Construction and service of the pipeline costs rather much. But transportation of gas through pipelines on long distances is the cheapest way.

Gas pipelines have the following advantages:

- Gas and gas products can be transported on larger distances;
- Rate of delivery of raw materials to the consumer is high;
- Transportation of gas is continuum within a year;
- Losses on a trass are minimized. The design of the pipeline is very reliable;
- The pipeline can function in various climatic areas;
- All processes proceed with high extent of automation;
- Pipeline maintenance is prime and reliable;
- Loading decreases by traditional means of transport.

The pipeline transportation has some disadvantages:

- The high cost of initial capital investments at construction of the gas pipeline system;
- Danger of causing damage of ecology;
- In particular areas it is difficult to lay the route;
- It is difficult to change the laid route of the pipeline.

The existing defects of use of pipelines are eliminated by upgrading of pipes and other elements of pipelines.

Pipeline valves are the main element of the pipeline system. Pipeline control valves are applied in various fields of the industry: power, transport, municipal, gas, atomic and other. Pipeline control valves are a set of auxiliaries and details which are not a part of the main parts of the car, a design and constructions. Fittings ensure the exact functioning of the main parts.

Pipeline valves are exposed to the most various influences during the work in various systems:

- High and low values of temperature;
- The considerable values of pressure;
- Vibration;
- Influence of different aggressive liquids.

Various requirements are imposed to a pipeline valves. Pipeline valves have to be the strong, reliable and long-lived.

### **Classification of fittings**

We distinguish the following types of fittings: pipeline control valves, tapware, electric fixtures, furnace accessories.

Fittings are used in the construction. Rebar or rebar reinforcement is a collection of elements connected together. They are combined with beton in a concrete construction to perceive tensile stresses (beams) and can also be used to augment the beton in the compressed zone (column). Rebar's surface is often

patterned to form a better bond with the concrete. Fittings include three basic elements: case, drive and actuating element.

Fittings are classified by functional appointment to classes such as:

1. Isolation valves. Isolation valves block a stream of an actuation medium [1]. Actuating element can't stop in the intermediate position. Therefore isolation valves can be in two provisions: it is open or closed. Most linear motion valves can have rising or non-rising stems. When a rising stem is fitted, a portion of the stem which is inside the valve or outside in the local environment, is moved to the packing area each time the valve is cycled. The fluid in the valves may not corrode in the packing when air is available. Conversely the stem may be attacked by the environment and not the product. Both situation lead to packing leakage problems when the stem is at extremes of its travel. A good stem material, or corrosion/wear resistant coating, may prove very worthwhile in the long-term. Screw threads can be cup or rolled. Rolled threads are stronger and have a better surface finish than cut threads. Rolled threads are less prone to shearing and require less friction torque. Specifying rolled threads can also be a long-term benefit. Gate valve is the most widespread representative of this type of details. It is easy to understand the concept of an insulated valve, you can imagine the valves under the kitchen or the bathroom that absorbs a typical household. These valves usually leave open so that the user could operate flow of water with a plug above drainage, and should not have reached under in a contradiction from the beginning or stop water flow. However, if the plug has to be replaced (id est service has to happen on system), isolation valves are closed to stop flow of water when the plug is removed. In this system isolation valves and a plug can even be the same type of the valve. However because of their function they are classified as isolation valves and, in case of a plug, control valves;

2. Different systems, even if they function normally, may create undue pressure In many industries. For example, when there is an unusually strong resistance to the workspace. Safety valves are used to control excess pressure. Relief valves protect the equipment and pipelines from inadmissible excess of pressure. Most safety valves are simply lifted (open) at the pressure set and dropped (closed) when the pressure is

slightly lower than the lift pressure. They do not support the flow or pressure on a given magnitude, but do not allow the pressure to grow above a certain level when the system is temporarily overloaded. Relief valves dump surplus of an actuation medium, thereby protecting flowing system. Relief valve is developed or going to open with the predetermined set pressure to protect high pressure chambers and other inventory from being subjected up to the pressure which exceed their limits of design. When pressure of set is exceeded, relief valve becomes "line of least resistance" as the valve is called open, and a part of liquid is rejected through an auxiliary route. Refracted liquid (liquid, mix of gas or condensed gas) usually breaks through the system of the pipeline known as heading of flash or auxiliary heading to central, lifted gas flash where it is usually incinerated, and the turning-out combustion gases are released to the atmosphere [2]. As liquid is rejected, pressure in the vessel will stop increasing. As soon as it reaches pressure valve rearrangement, the valve will be closed. In gas systems with high pressure it is recommended that an exit of relief valve was under the open sky. In systems where an exit is bound to the pipeline, opening of relief valve will give pressure, grow in system of the pipeline downstream relief valve. It often means that relief valve will repeatedly not be fixed as soon as pressure of set is reached. These systems are often referred to as "distinctive" relief valves. It means that pressure only works on area which is much less, the openings area of the valve;

3. Control valves regulate various parameters of technological process (pressure, lift, temperature, amount of the given substance) [3]. These settings are controlled by changing the flow rate of transported moving stream. Parameters of an actuation medium are regulated by change of the discharge transported environment. The opening or closing of automatic control valves occurs normally [5] by electric, hydraulic, or pneumatic actuators. It is observed normally with the modulation valve which can be installed in any situation between full opening and completely closed part. Valve positioners are used to guarantee that the valve reaches desirable extent of opening.

4. Check valves are intended for automatic prevention of a backflow of an actuation medium. Fluid or gas can flow only in one direction through a check valve or the non-return valve. Check valves are valves with two ports, meaning what at them is obese two opening, one for liquid to enter also another for liquid to leave. Check valves work automatically, and do not operate the majority the person or any external monitoring; respectively, the majority has no handle of the valve or a basis. Bodies (external sinks) of the majority of check valves are made of plastic or metal. Check valves are often used with some types of pumps. Operated by the piston and diaphragm pumps, such as metering pumps and pumps for a chromatography usually use an inlet opening and cut-off valves of a sphere of an exit. These valves are often similar to the small cylinders attached to a pump bonnet on lines of an exit and an inlet opening. It is a lot of similar to the pump of mechanisms for moving volumes of liquids around check valves of use, such as check valves of a sphere. Feed pumps or injectors which deliver water to soar coppers, are equipped with check valves to prevent a back-flow.

Check valves are used in many fluid systems, such as those in chemical and power plants, and in many other industrial processes.

Typical applications in the nuclear industry are control systems of feed water, dump lines, a makeup water, different systems of process, the N<sub>2</sub> system and the controlling and trying systems [4]. Check valves where high vibration, larger temperature extremes and the corrosion liquids are present are used on the plane and space. For example, the spaceship and control of carrier rocket push fuel for control systems of reaction (RCS) and Attitude Control Systems (ACS) and hydraulic systems of the plane.

Check valves are also often used when multiple gases are mixed in one gas stream. Check valve is established on each of separate gas streams to prevent interfusing of gases in the primary source. For example, if fuel and an oxidizer have to be mixed, then cut-off valves will be usually used both on fuel and on oxidizer sources to guarantee that original gas bottles remained clear and therefore nonflammable.

Check valves used in internal systems of heating to prevent a vertical convection, especially in combination with solar thermal installations, are also called gravity brakes. Systems of preparation of rain water which are installed upright in the main water supply of the service supplier can be required to have one or more checkered values adapted to prevent pollution of the main delivery by rain water. Hydraulic jacks use check valves of a sphere to construct pressure upon the rising party of a jack.

The important concept of check valves is the breaking-up pressure which is minimum upstream pressure in which the valve will work. As a rule, the check valve is developed for and can therefore to be defined for a particular pressure of breaking up.

Check valves have to meet the following requirements such as: work duration, leakproofness, reliability of work, safety of explosion and rust resistance.

Fittings can be divided into 5 groups On the size of the conditional pressure:

1. Airvoid fittings. Pressure reached by the environment is lower than 1 kgf/cm<sup>2</sup>;
2. Fittings of low pressure. Actuation medium develops pressure to 1,6Mпа;
3. Fittings of middle pressure. Actuation medium develops pressure to 10 Mпа;
4. Fittings of high pressure. Actuation medium develops pressure to 100 Mпа;
5. Fittings of extreme pressure pressure. Actuation medium develops pressure more 100 Mпа.

Depending on an industry a pipeline control valves it is possible to divide the following classes: steam water pipeline valves, power pipeline valves, petroleum pipeline valves, gassy pipeline valves, chemic pipeline valves, sewage pipeline valves, ventilating pipeline valves, airvoid pipeline valves, reservoir pipeline valves.

### **Main types of PIPELINE VALVES**

There are four main types of pipeline valves: gate valve, shutter, stopcocks, butterfly valve.

## Gate valve

Gate valve is the production pipeline valves . Closure member (запорный элемент) moves perpendicular to an axis of a stream of an actuation medium. Gate valve apply to overlapping of streams of gaseous or fluid service (среда, перекачиваемая по трубопроводу). Closure member serves for overlapping of a stream actuation medium which proceeds on the pipeline. Schematics a gate valve is represented in the figure A.1.

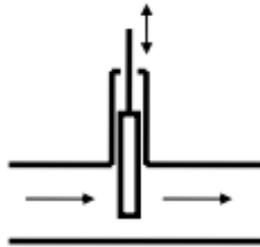


Figure A.1 - Schematics a gate valve

A gate valve is the valve which opens, lifting a round or a wedge from a way of liquid. When the valve is wide open, the gates are fully developed into the bonnet valve. This leaves the opening for the flow through the valve with the same size as the pipe in which the valve is installed figure A.2.

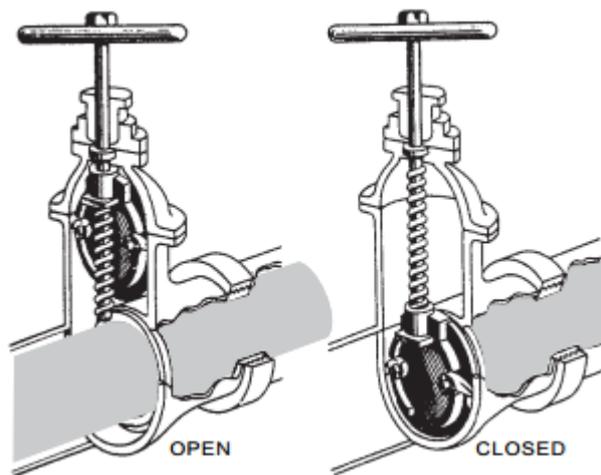


Figure A.2 - Operation of a gate valve

Excellent feature of a gate valve are the sealing hermetically surfaces between gate, and places are flat, thus, latches often are used when rectilinear flow of fluid and minimum restriction are desirable. The gate faces can be parallel, but usually

wedge forms. A gate valve, first of all, are used to resolve or prevent a stream of liquids, but typical a gate valve should not be used for flow control if they are not expressly intended for this purpose. The control of flow is difficult because of the valve's design, and the flow of fluid slapping against a partially open gate can cause extensive damage to the valve. Gate valves should not be used for throttling.

A gate valves are often used in oil industry because of their ability to cut through liquids. For extremely heavy-bodied liquids the specialty valve, often known as, the latch of a knife is used to cut through liquid [5]. When opening a gate valve the path of a current is increased in very non-linear way concerning opening percent. It means that the flow rate of liquid does not change evenly with a basis travel. Besides, partially open gate valves to vibrate from a fluid flow. The majority of change of a stream happens about shutdown to rather high fluid high-speed gate of generation and wear of the place and possible leak if is used to adjust a stream. Typical latches usually have fully open position or a fully closed position [6].

A gate valves, as a rule, are under construction of cast iron, pliable iron, carbon steel of a throw, bronze alloy, stainless steel, alloy steels and forged by staly.

Gate valve are established in direct sections of the pipeline, separating the pipeline on two parts.

Gate valves have the following advantages:

- Hydraulic resistance has slight measure at full opening closure member;
- Gate valves can block streams of the environment of big viscosity;
- Actuation medium can proceed in any direction through a gate valve;

Gate valves have the following disadvantages:

- Gate valves are not applicable for actuation mediums with the crystallizing inclusions;
- No high speed of operation;
- Closure member can receive a water hammer;

- Sealing surface it is difficult to repair in use gate valve. The sealing surface is the surface of the interfaced element contact with the sealing material or directly to the surface of another interfaced element during the sealing process;
- The larger difference of pressure is not allowed on a gate valve.

### **Wedge gate valve**

A wedge gate valve closure member has a wedge. Wedge moves perpendicularly to a pipeline axis, falls by rings seal of a housing, blocks a stream of an actuation medium. Wedge moves by means of a spindle. The wedge valve is one of the first choices of isolating valve, with good sealing capabilities and low fluid friction losses.

Wedge gate valves have the following advantages such as:

- Wedge gate valves have the increased leakproofness in a closed position;
- Rather small value of effort is necessary for ensuring squeezing.

Wedge gate valves have the following disadvantages such as:

- Seals have the increased wear;
- There is a need of application of guides (направляющие) for movement of a wedge.

### **Concurrent Gate valve**

Concurrent gate valve is a gate valve at which seals of elements of a lock are mutually parallel and located perpendicularly to flow direction of an actuation medium. Trim has an appearance of a disk unit, a slide. On all way of driving of a lock there is no sliding friction of sealing surfaces. On all way of driving of trim there is no sliding friction of seals.

The concurrent valve is manufactured in three gate designs which have different characteristics. The gate is usually made in two halves which are spring-

loaded against the seats. One design relies on the initial spring load plus the line pressure to create the seal. This type of valve can only seal on one seat. The other valve style includes a wedge between the spring-loaded halves. The initial seat force is provided by the springs. As the stem is screwed in further a wedge forces the halves apart and increases the seat force on both seats. This type of valve seals both seats simultaneously. Parallel gate valves are very popular for power generation applications.

Concurrent Gate valves have the following advantages such as:

- Trim does not get stuck in full opening situation;

Concurrent Gate valves have the following disadvantages such as:

- A large amount of energy is necessary on opening and closing the valve. It is caused by the fact that on all way of driving the drive overcomes a sliding friction between seals of saddles (седло) and trim;
- Seals quickly wear out in the course of functioning.

## Sleeves

Sleeve is the production pipeline valves in which locking or the regulator moves parallel to an axis of a stream of an actuation medium. Trim has an appearance of a flat or conic plate. Trim can operate on an arch to a design. Schematics a sleeve is represented in the figure A.3.

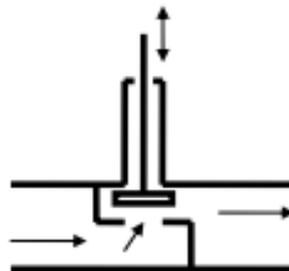


Figure A.3 - Schematics a sleeve

Sleeves are used for creation of a pressure drop (throttle), for prevention of a backflow of liquid (inverse), for partial release of an actuation medium at build-up of

pressure over the established level (protecting), for a pressure pumped down and maintaining to its constants (reduction), for flow control of a stream (adjusting). Also valves apply as shutoff valves to pressure-tight shutdown of pipelines, technological devices, power stations, etc.

Sleeves have the following advantages such as:

- Sleeves have an opportunity to work at high differences of pressure at closure member and at great values of working pressures;
- Sleeves have a prime design;
- Sleeves can be served and repaired under operating conditions;
- The small course of locking body is necessary for the complete blanking of pass;
- Sleeves can be used as the regulating pipeline valves;
- Sleeves can be installed on the pipeline in any three-dimensional position.

Sleeves have the following disadvantages such as:

- Moving stream changes the directions of driving in the valve two times. Because of it there is a high hydraulic resistance;
- Moving stream it is possible to flow past only in one direction;
- Sleeves cannot be used during the work with strongly polluted actuation medium;

Sleeves it is possible to divide on a design of a locking element into the following types such as:

1) Membrane sleeve. Trim is a resilient flexible membrane which under the influence of the made effort is pressed down in the direction, perpendicular axes of driving of a stream. Schematics a membrane sleeve is represented in the figure A.4.

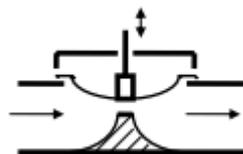


Figure A.4 - Schematics a membrane sleeve

2) Common slide sleeve. The main part of sleeve is slide. Slide can have various form: dished, needlelike, cylindrical, spherical.

## Stopcocks

Stopcocks are the production pipeline valves. Closure or the regulator adjusting member has the form of a body of rotation which rotates around a figure axis, perpendicular to the direction of an axis of a stream of an actuation medium. Trim has an opening for the admission of a stream of an actuation medium. Any stopcock has the fixed case and the rotating lock trim.

Stopcocks are used extremely to adjust a stream of tap water in inhabited and commercial services. Everyone is found in connection of the water highway and the office leading to separate service (allowing an upkeep to be isolated from the main trunk), the second interior structure (allowing her plumber to be isolated from the branch line conducting in it) or it is used when service or extraordinary repair works are carried out.

Schematics a stopcock is represented in the figure A.5.

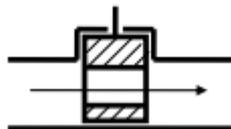


Figure A.5 - Schematics a stopcock

Field of utilization of valves is limited to pressure in a type of existence of the sliding working elements.

Depending on a geometrical form of a trim stopcock divide into three main types:

- Ball stopcock;
- Cylindric stopcock;
- Lifting-plug stopcock.

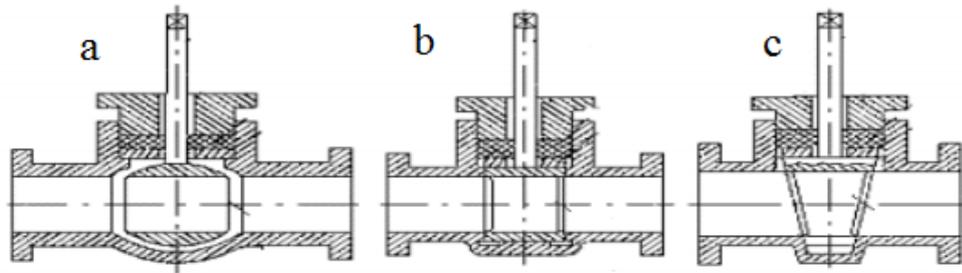


Figure A.6– a - ball stopcock, b - cylindric stopcock, c - lifting-plug stopcock

Stopcock have the following advantages such as:

- Closure member is to open and closed quickly. For etodostatochno to turn a handwheel on 90 °;
- Hydraulic resistance has low value;
- Stopcock can be used during the work with strongly polluted actuation medium;

### Ball stopcock

A ball stopcock is a form of the valve of a quarter of a turn which uses emptiness, the punched and spinning sphere to operate a stream through it. The ball stopcock, shown in figure A.7. It is opened when the hole of a ball's corresponds to a stream and closed when it spins 90 degrees with the valve handle. The handle lies flatwise in alignment with a stream when open and it is perpendicular to it when it is closed, doing for mild visual confirmation of the status of the valve.

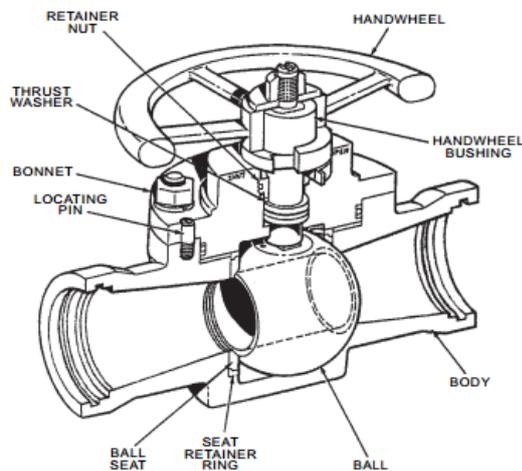


Figure A.7 - Typical ball stopcock

Ball stopcock is durable, acting much later many cycles, and reliable. Ball stopcock which are closed reliably even after the long-lived periods of non-use. Many industries interfere with with a problem with oddments in a ball stopcock. Oddments can also be health hazard if liquid intends for consumption by the person. When ball stopcock is in semiopen a state between boredom of a sphere and a body creates an interval in which oddments of liquid can remain.

Manually operated ball stopcock can be closed quickly and thus there is a danger of water hammer. Many ball stopcock are equipped with an actuator that may be pneumatic, hydraulic or electric. These stopcock can be used either for on/off or flow control.

Most ball stopcocks are a type of quick reaction. They require only a 90-degree rotation to either fully open or closed valve. However, many of them are controlled by planetary instruments. This type of gear allows the use of relatively small handwheel and operating forces to operate a sufficiently large valve. However, gears increase the time of the valve. Some ball stopcocks also contain a swing test within the sphere, so that the valve has a reverse valve.

Body materials may include: stainless steel, brass, bronze, chrome, titanium PVC, CPVC, PFA-lined, and many more.

### **Lifting-plug stopcock**

Lifting-plug stopcock is a stopcock with conically tapered or cylindrical "plugs" which rotate inside the stopcock body to operate a stream through the stopcock. The plugs in lifting-plug stopcocks have one or more hollow passageways going sideways through the plug, so that fluid can flow through the plug when the stopcock is open. Lifting - plug stopcocks are economical simple and simple.

The simplest and most common general type of lifting-plug stopcock is a 2-port stopcock with two positions: shut to stop work-stream, and open to allow work-stream. Opening in a body of valve is ports through which the stream of work (liquid) can proceed. The plug in this kind of stopcock has one passageway going

through it. The ports are typically at opposite ends of the body; therefore, the plug is rotated a fourth of a full turn to change from open to shut positions. This makes this kind of lifting-plug stopcocks a quarter-turn stopcock. Often there is a limiting driving of the mechanism of the handle to a quarter of a turn, but not in glass stopcocks.

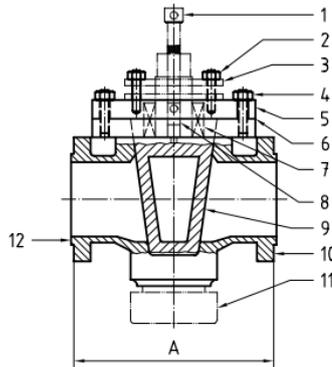


Figure A.8 - Design lifting-plug stopcock [6].

- 1- Lubricator screw, 2 - Gland studs and nuts, 3 - Gland, 4 - Cover studs and nuts, 5 - Cover, 6 - Cover gasket, 7 - Stem packing, 8 - Lubricant check valve, 9 - Plug, 10 - Body, 11- Stop collar, 12 - Raised face, 13 - Welding end, 14 - Ring joint.

### Butterfly valve

A butterfly valve is a valve trim which can be used for choking or regulating flow in the fields of food stuff, drinks, chemical, gas, oil, industrial water treatment, high-rise constructions, water supply and drainage etc. The closing mechanism takes the form of a disk.

Schematics a butterfly valves is represented in the figure A.9.



Figure A.9 - Schematics a butterfly valve

In the 30s, the United States invented the butterfly valve, 50 s was introduced into Japan, to 60 s, we generally used in Japan, while in our country is 70 s promotion. At present the world in general more than 2 mm butterfly valve already

gradually took the place of gate valves. Butterfly valve and gate valves open and close compared with short time, the operation torque for small, installation space is little and light weight. To DN1000 as an example, butterfly about 2 T, and the gate is about 3.5 T, and butterfly easy and various drive combination, has the good durability and reliability.

Features of butterfly valve [7]:

1. Simple structure, small boundary dimension, compact structure with short length, small volume, light weight, suitable for large diameter valves.
2. Small Hydraulic resistance: when fully open, the effective flow area of valve seat channel is large, so the Hydraulic resistance is small.
3. Open and close easily and quickly, good regulation performance, the butterfly plate rotate 90 degree from open to close.
4. Small opening and closing torque to save energy.
5. Good low pressure sealing performance, the material of sealing surface is commonly used rubber and plastics with sealing performance.

Rubber sealing butterfly valve is used for throttling faults, because of improper use will produce the cavitation erosion, make rubber seat peel, damage, and other happens. Therefore, in the world now and development metal sealing butterfly valve, cavitation erosion area decreases, and in China in recent years is also developing a metal sealing butterfly valve, in Japan in recent years also developing cavitation erosion resistance, low vibration, low noise to comb tooth shape butterfly valve.

Butterfly valves are usually approved because they are lower in cost for other projects of pipeline valves, and also to be easier in weight, meaning that less support is required. The disk is placed in the center of a pipe; passing through a disk is a rod, the bound to the drive of heads outside a pipeline valve. Rotation of the drive of heads turns a disk or a parallel or a perpendicular to a stream. Unlike a ball stopcock, the disk is always present at a stream, thus, the pressure drop is always caused in a stream, irrespective of position of the valve.

## **Classification of butterfly valve**

According to:

- Structure: center sealing butterfly valve, single eccentric sealing butterfly valve, double eccentric sealing butterfly valve, three eccentric sealing butterfly valve;
- Material of sealing surface: soft sealing butterfly valve and metal hard sealing butterfly valve;
- Seal form: mandatory seal sealing valve, pressurized sealing butterfly valve, automatic sealing butterfly valve;
- Connection ways: wafer butterfly valve, flange butterfly valve, lug type butterfly valve, welded butterfly valve.

The disk arrangement with an eccentricity became the considerable step forward in development of disk eccentric. In this case the axis around which there is a rotary movement of a disk is displaced concerning the "classical" situation". This decision helped to eliminate friction of sealing surfaces both at the time of a disk start of motion, and at the time of a clip.

### **Single-eccentric butterfly valves**

Single-eccentric butterfly valves are industrial valves, which are designed to fully open or close a passage of the working medium flowing through a pipeline [8]. They can also be used for flow-control purposes. However, a 100% tightness of the valve cannot be guaranteed in a long-term use for control purposes. Butterfly valves is possible to deliver with surface protection which is done by coverage with plastic material. This surface protection together with the use of stainless steel material is widening the usage of butterfly valves for chemically aggressive or abrasive media and sea water.

Single-eccentricity is represented in the figure A.10.

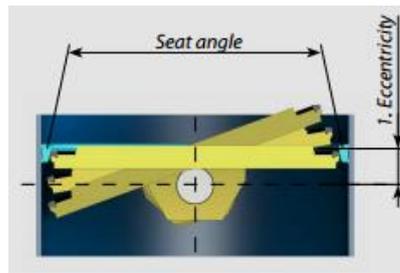


Figure A.10 - Single-eccentricity

The butterfly valves can be mounted into horizontal, vertical or inclined pipeline so that the arrow stamped on the valve body corresponds with the direction of the tightness (arrow points from higher pressure to lower when the disc is closed), and the rotating axis of the disc is in a horizontal position. The bolt type at the pivot area is also very important. When there is a butterfly valve with electric actuator it is important to abide the actuator's manufacturer.

### **Design of double eccentric butterfly valve**

The distinctive feature of double-eccentric butterfly valve is that the stem shaft where disc is mounted is a three-segment eccentric shaft. The two ends of the three-segment stem shaft are concentric, while the centerline of the middle segment is deviated from the axial lines of the two ends by a center-to-center distance. Disc is just mounted on the middle segment. This eccentric structure forms up a double eccentric shape when disc is completely opened, and a single eccentric shape when disc is turned to be closed. This is why it is named double-eccentric butterfly valve.

Design of second eccentric butterfly valve is represented on the figure A.11. On the drawing figures designated the following elements: 1 – Bolt, 2 – Cover, 3 – Gasket, 4 – Bushing, 5 – Body, 6 – Stem, 7 – Disc, 8 - Seal Ring, 9 – Bushing, 10 – Packing Seat, 11 – Packing, 12 – Packing Bushing, 13 – Yoke.

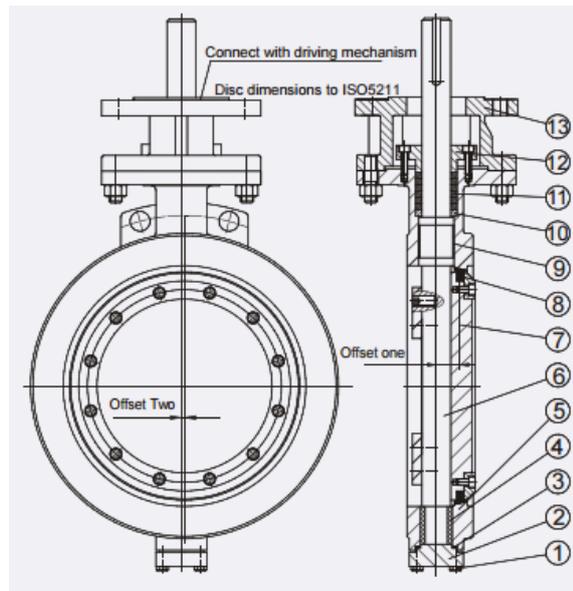


Figure A.11 - Design of second-eccentric butterfly valve

### Triple-eccentric butterfly valves

Triple-eccentric butterfly valves are industrial pipeline valves, which designed to fully open or close the passage of the working medium flowing through a pipeline [1]. They can also be used for flow control actuating medium. However, the tightness of the valve cannot be guaranteed in a long-term use for control purposes.

Working medium:

- waste and service water;
- drinking and hot water;
- steam;
- gases
- petroleum products.

Triple-eccentricity is represented in the figure A.12.

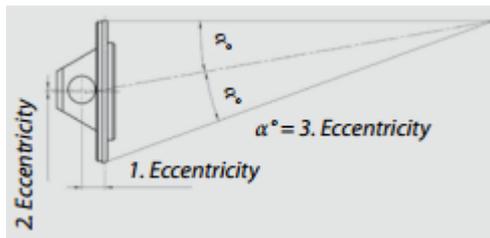


Figure A.12 - Triple eccentricity. 1. the operating shaft axis is eccentric to the packing axis; 2. the operating shaft axis is eccentric to the axis of the flow; 3. the axis of the seat cone is eccentric to the axis of the flow

Triple-eccentricity assures that the packing stays out of sealing surface of the body except for the closed position, which results in long life-time of the packing (sealing) and lots of cycles. The triple-eccentricity design immediately divides the disc from the sealing surface and when closing the valve the disc touches sealing surface just before closure. Butterfly valves open or close with certain friction. This makes the valves life-time longer. Butterfly valve is both-side tight. The arrow stamped on the valve body corresponds to the direction of the long-term tightness. Stems of the butterfly valves manufactured according to TA-Luft standard or in compliance with Fugitive Emission are tightened through the Quick set seal from Garlock company. The butterfly valves are produced of wrought or cast material. Seal material is metal to metal or metal to graphite seal ring.

## References:

1. Brian Nesbit. Handbook of Valves and Actuators: Valves Manual International, – Burlington, : Roles & Associates, 2007. 8 p.
2. Beychok, Milton R. Fundamentals Of Stack Gas Dispersion. – 2005. - Chapter 11. - Pp. – 323 – 355.
3. Steve Hagen. Control valve technology. – Schaumburg: Plant services, 2003. 2 p.
4. Check valves [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.valcor.com/aircraft/aircraft-check-valves/> (дата обращения: 15.05.2017).
5. Gate valve [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stoneleigh-eng.com/knifevalve.html> (дата обращения: 15.05.2017).
6. Beasley, Albert Jr. Fluid Power (PDF) – Pensacola: naval education and training professional development and technology center. - 1990. - Chapter 6. - Pp. 3-6.
7. Brief introduction of butterfly valve [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.addnew.com.hk/valves/butterfly%20valves.html> (дата обращения 15.05.2017).
8. Butterfly valve [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.armaturygroup.cz> (дата обращения 15.05.2017).
9. Triple-eccentric butterfly valves [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.armaturygroup.cz/soubory/katalogovy-ist/L32.8\\_lite\\_prirub\\_en\\_2016.pdf](http://www.armaturygroup.cz/soubory/katalogovy-ist/L32.8_lite_prirub_en_2016.pdf) (дата обращения 15.05.2017).