

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Частотно-регулируемый электропривод трубопроводной арматуры</b>

УДК 62-83-523:621.646

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Суржиков Андрей Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдинцев А.Г.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)      \_\_\_\_\_      Ю.Н. Дементьев  
 (Дата)                                      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
----------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗА1	Суржикову Андрею Сергеевичу

Тема работы:

<b>Асинхронный электропривод запорно-регулирующей арматуры газотранспортной системы</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на задвижку
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Подробное изучение технологического процесса, выбор двигателя, частотного преобразователя, исследование динамической модели АД во вращающейся системе координат, оптимизация контуров регулирования, исследование электропривода на модели нелинейного асинхронного электропривода со скалярным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат.
<b>Перечень графического материала</b>	Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ЭП с скалярным управлением

	Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы асинхронного электропривода
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2018г
---	-------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдинцев А.Г.	к.т.н.		05.04.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Суржиков Андрей Сергеевич		05.04.2018г

## Реферат

Выпускная квалификационная работа с 110., рисунков 59, таблиц 16, источников 54, 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.

## Содержание

Реферат	4
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА	10
1.1. Общие сведения об арматуре	10
1.2. Классификация арматуры	12
1.3. Основные типы арматуры	20
1.3.1. Задвижки	20
1.3.1.1. Клиновые задвижки	21
1.3.1.2. Параллельные задвижки	23
1.3.2. Клапаны	23
1.3.3. Краны	25
1.3.4. Затворы	28
2. ДИСКОВЫЕ ЗАТВОРЫ	30
2.1. Название дискового затвора	31
2.2. Классификация дисковых затворов	36
2.3. Конструктивное исполнение дисковых затворов	37
2.3.1. Дисковый затвор с симметричным диском.	37
2.3.2. Дисковый затвор с одинарным эксцентриситетом	39
2.3.3. Дисковый затвор с двойным эксцентриситетом	40
2.3.4. Дисковый затвор с тройным эксцентриситетом	42
3. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	44
3.1. Расчет и определение параметров двигателя дискового затвора	46
3.1.1. Определение параметров Т – образной схемы асинхронного двигателя АИР 56В4У2	46
3.2. Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик	51
4. СИЛОВОЙ КАНАЛ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	53
4.2. Выбор преобразователя частоты	54
4.3. Выбор закона частотного управления	61
4.4. Расчёт искусственных механических и электромеханических характеристик привода при частотном регулировании	63
5. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ДИСКОВОГО ЗАТВОРА	70
5.1. Проверка адекватности расчетов параметров асинхронного двигателя АИР 56В4У	70
5.2. Разработка имитационной модели преобразователь частоты – асинхронный двигатель для дискового затвора	72
5.3. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора со скалярным управлением	74

5.4. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора с корректировкой вольт – частотной характеристики на низких частотах	78
5.5. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора со скалярным управлением с компенсацией с наблюдением за углом нагрузки.	81
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	85
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	87
6.1. Производственная безопасность.	87
6.2. Экологическая безопасность	90
6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	91
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	92
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	95
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	97
7.1 Планирование работ и их временной оценки	97
7.2 Смета затрат на научно-техническое проектирование	98
7.3 Затраты на заработную плату	99
7.4 Затраты на социальные нужды	100
7.5 Прочие затраты	100
7.6 Накладные затраты	100
7.6 Смета затрат на оборудование	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
Список используемой литературы:	106
Приложение А	111

## **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 рабочей среды (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  $-153^\circ\text{C}$ .
- Арматура для низких температур (холодильная техника), работающая при температурах от  $-153^\circ\text{C}$  до  $-70^\circ\text{C}$ .
- Арматура для пониженных температур, работающая при температурах  $-70^\circ\text{C}$  до  $-30^\circ\text{C}$ .
- Арматура обычная (средние температуры), изготавливаемая из углеродистой стали, ковкого или серого чугуна; арматура из углеродистой стали применяется для температуры от  $-40$  до  $+450^\circ\text{C}$ , арматура из ковкого чугуна от  $-30$  до  $400^\circ\text{C}$ ; арматура из серого чугуна от  $-15$  до  $300^\circ\text{C}$ .

- 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 325×16 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. Прямая трубопроводная арматура. У прямой 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° (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 шпиндель - 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 шпиндель 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°С. 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].

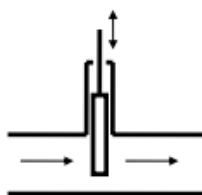


Рисунок 1 - Принципиальная схема задвижки

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].

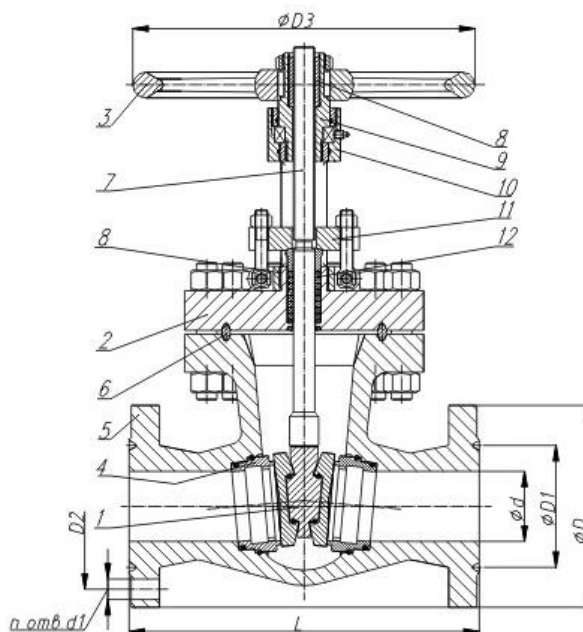


Рисунок 2 – Задвижка клиновая. 1 – клин, 2 – крышка, 3 – маховик, 4 – седло, 5 – корпус, 6 – кольцо уплотнительное, 7 – шпиндель, 8 – втулка резьбовая, 9 – втулка, 10 – стойка, 11 – фланец сальника, 12- сальниковое уплотнение из терморасширенного графита

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].

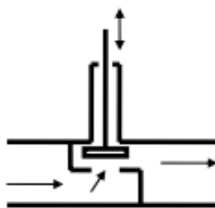


Рисунок 3 - Принципиальная схема клапана

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 Д);
- 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; балансирующие - для присоединения импульсной трубки к обратному трубопроводу.

По конструкции запорного элемента запорные клапаны 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 клапаны. 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 затвора 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].

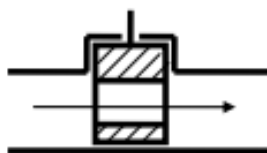


Рисунок 4 - Принципиальная схема крана

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.

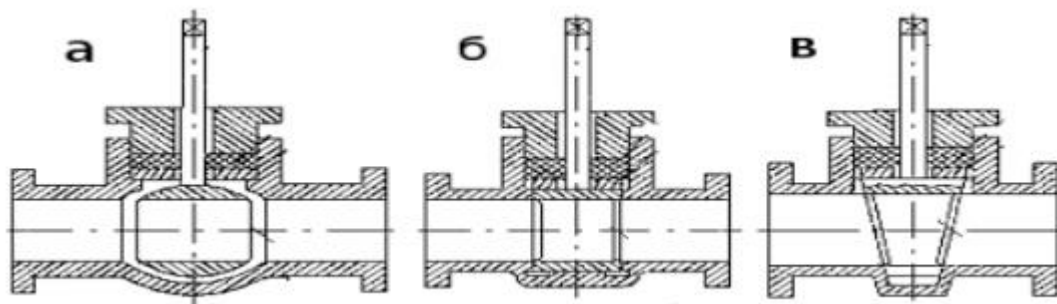


Рисунок 5 – Краны – а шаровой, б – цилиндрический, в – конический.

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 баттерфляй, 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

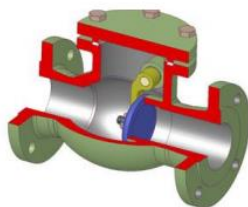


Рисунок 9 - Обратный затвор

## 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.





Рисунок10 - 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 затворов, 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 (Nuralon), 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 снижает 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 исполнение из металла (уплотнение металл) обладают низким уровнем герметичности;
- Ухудшенные гидравлические характеристики затвора в открытом положение. Диск в открытом положение заслоняет проход корпуса. За счет этого происходит ухудшение гидравлических сопротивлений. Очистка трубопровода механическими устройствами затруднена;
- Необходима установка редуктора для управления дисковым затвор, если он установлен 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.

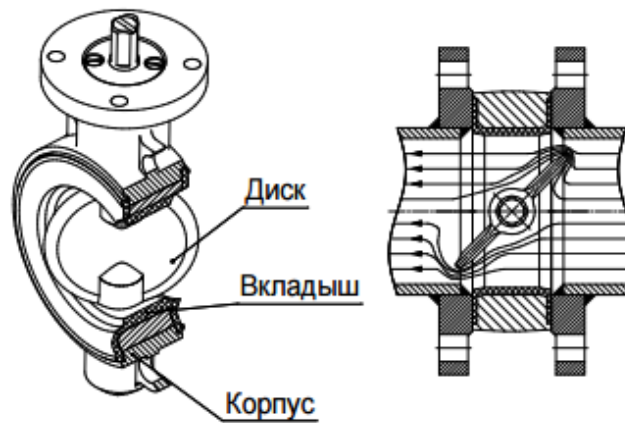


Рисунок 11 - Конструкция затвора с симметричным диском

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].

Этот 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. Дисквые 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. Дисквой затвор с одинарным эксцентриситетом

Дисквые 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.

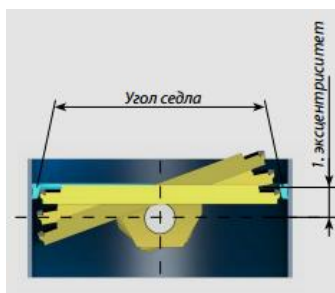


Рисунок 12 – Дисквой затвор с одинарным эксцентриситетом

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).

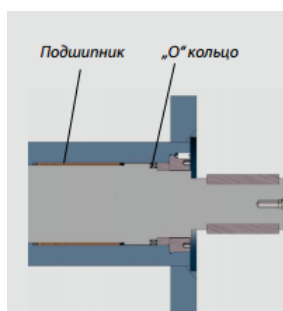


Рисунок 13 – Вал затвора с одинарным эксцентриситетом

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.

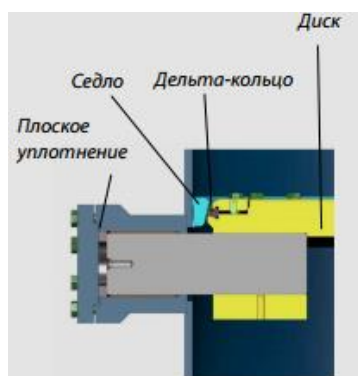


Рисунок 14 – Уплотнение дискового затвора с одинарным эксцентриситетом

Дисковые 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).

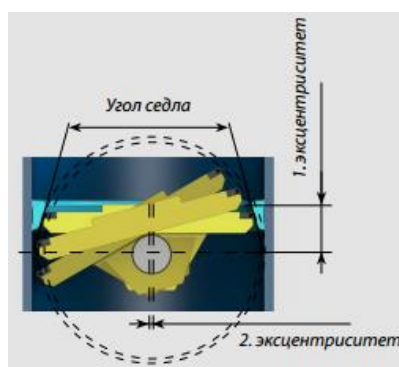


Рисунок 15 - Дискóвый затвор с двойным эксцентриситетом

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

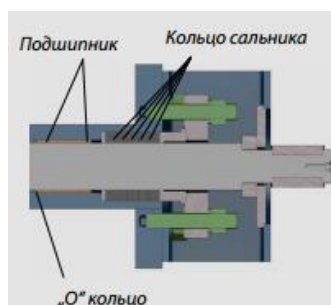


Рисунок 16 - Вал затвора с двойным эксцентриситетом

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.

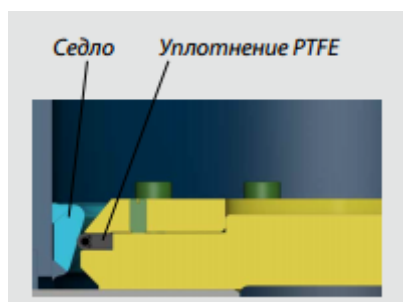


Рисунок 17 - Уплотнение дискового затвора с двойным эксцентриситетом

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

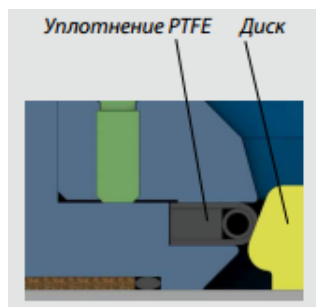


Рисунок 18 - Уплотнение дискового затвора с двойным эксцентриситетом с помощью прижимного кольца

#### **2.3.4. Дисковый затвор с тройным эксцентриситетом**

Дисковые 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 дискового 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.

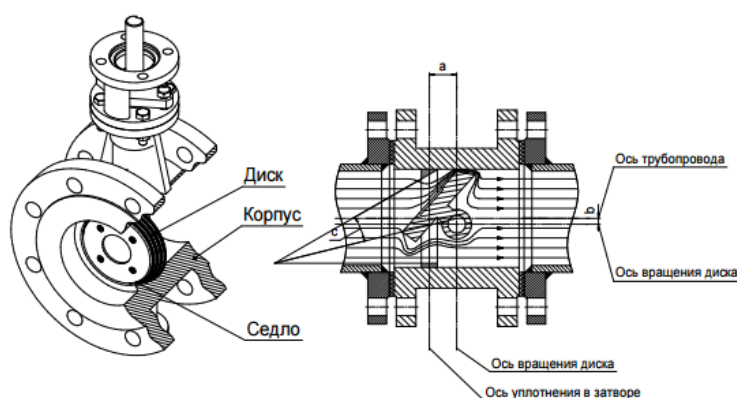


Рисунок 19 - Конструкция затвора с тройным эксцентриситетом

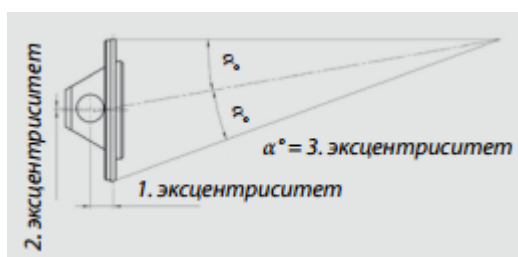


Рисунок 20 - Тройной эксцентриситет дискового затвора

Конструкция затвора с тройным эксцентриситетом обеспечивает следующие: уменьшается момент открытия и закрытия затвора, за чет 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°) 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.

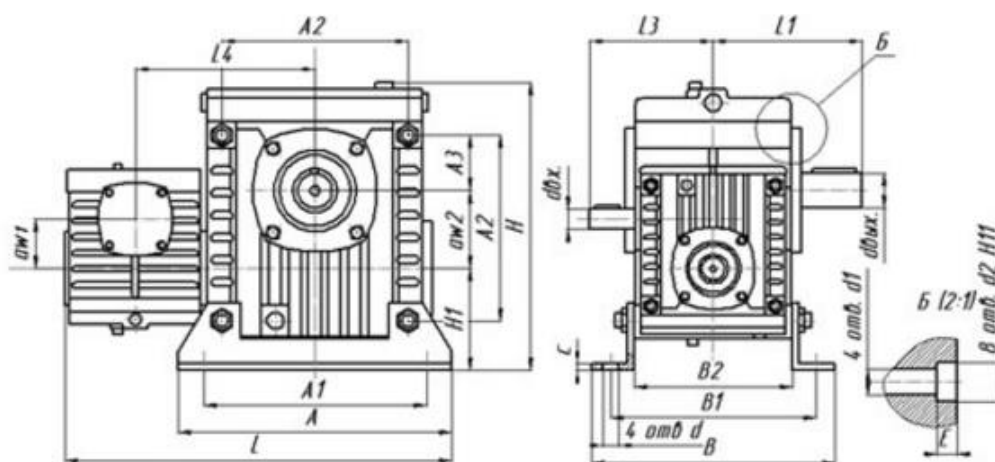


Рисунок 22 - Габаритные и присоединительные размеры редукторов Ч2-40/63

### 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 Т - образная схема замещения (рисунок 23) [15].

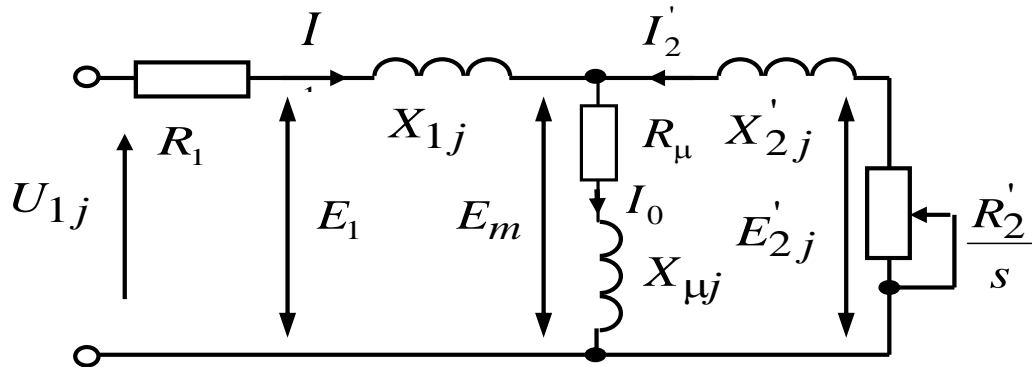


Рисунок23 - Схема замещения асинхронного двигателя

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:

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

Номинальная частота вращения:

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

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

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

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

Номинальный ток статора:

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

Номинальный момент двигателя:

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

Ток фазы статора при частичной нагрузке:

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

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:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_H \cdot c_1^2 \cdot \left( \beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,1)}{2 \cdot 2,2 \cdot 180 \cdot 1,072^2 \cdot \left( 1 + \frac{1}{0,555} \right)} = 51,246 \text{ Ом.}$$

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  $C_1$ ,  $R_2'$ ,  $X_{\kappa H}$  определим критическое скольжение:

$$s_{k1} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1,066 \cdot 2,164}{\sqrt{2,164^2 + 48,969^2}} = 0,555.$$

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:

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

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания:

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

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

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

*Проверка адекватности расчётных параметров двигателя:*

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

$$M_{\text{эм.н1}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[ X_{кн}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \text{Н} \cdot \text{м.}$$

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

$$M_{\text{эм.н2}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{(L_{\mu} + L_{2\delta})} \cdot \Psi_{2н} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1н}^2 - I_0^2} = \\ = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{1,062}{(1,062 + 0,142)} \cdot 0,788 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{0,727^2 - 0,524^2} = 1,485 \text{ Н} \cdot \text{м,}$$

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

Должны выполняться условия:

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

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

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]:

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

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

Рассчитаем критический момент двигателя по его рассчитанным параметрам:

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

Критический момент по паспортным данным рассчитывается по формуле:

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

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

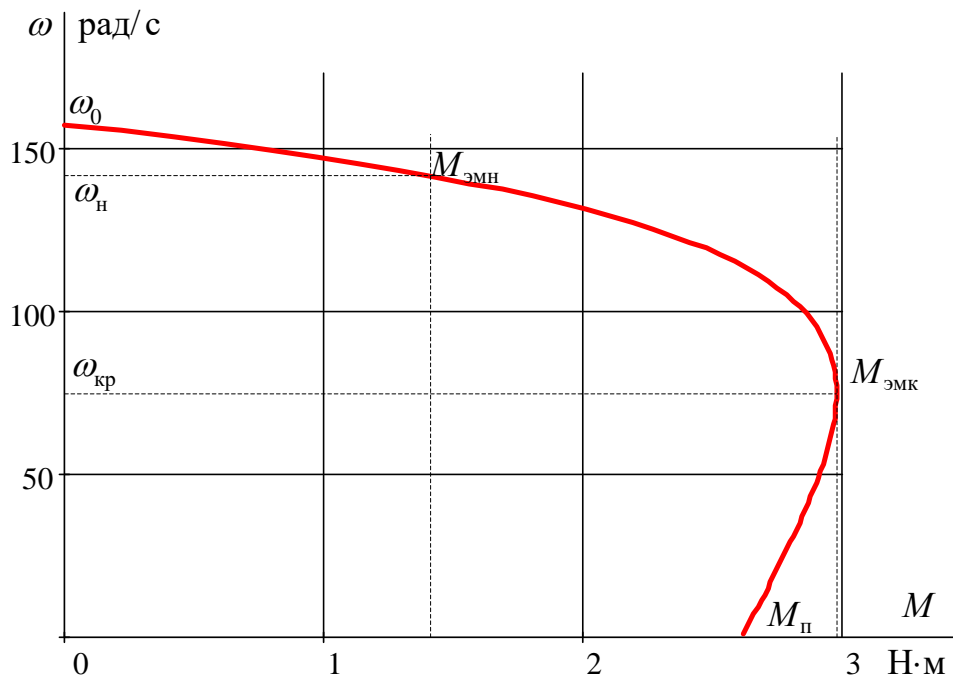


Рисунок24 - Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику:

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

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

$I_2'(\omega)$  - значение приведенного тока ротора от скольжения;

$$I_2'(\omega_i) = \frac{U_{1н}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega_i}\right)^2 + X_{кн}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\omega_0 - \omega_i} \cdot X_{\mu}\right)^2}};$$

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

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

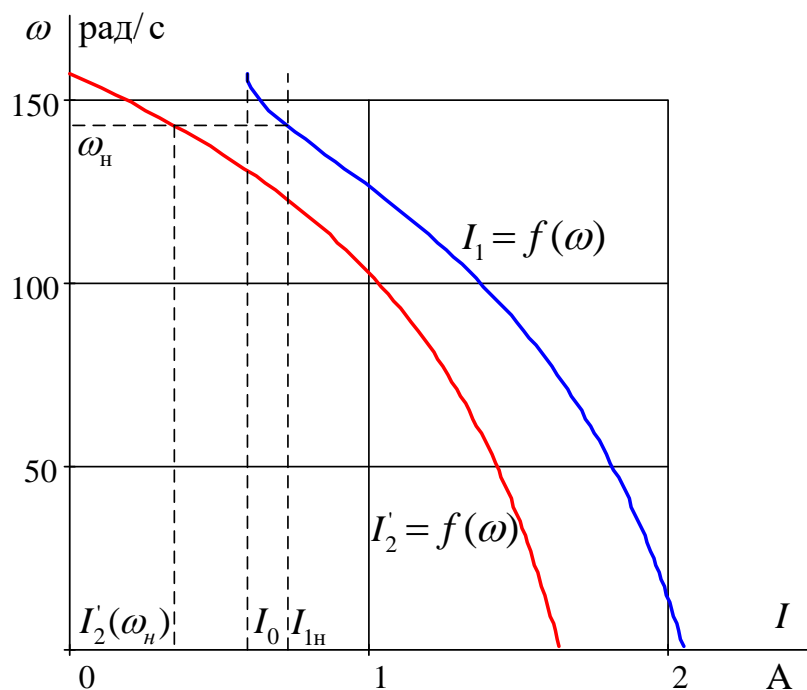


Рисунок 25 - Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

#### 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):

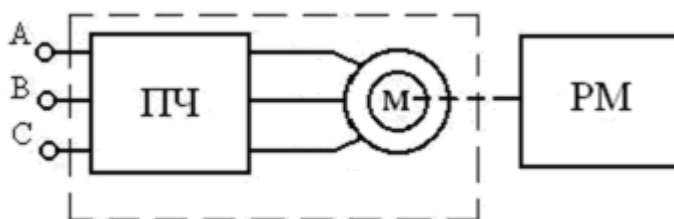


Рисунок 27 - Общая структура частотно регулируемого электропривода

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.

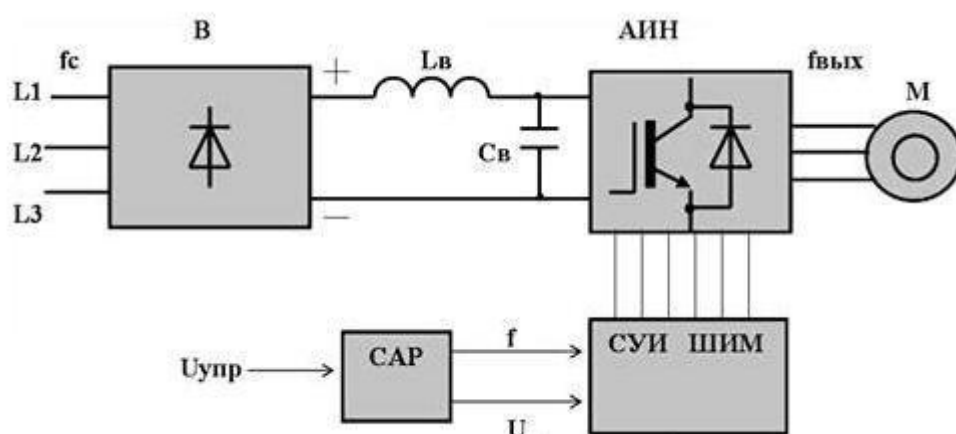


Рисунок 28 - Структурная схема частотного преобразователя

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 характеристики 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 подключение 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 рисунке29. Привод работает с высокой точностью даже во время торможения и в режимах резкого замедления скорости. Это возможно благодаря интегрированному тормозному резистору.

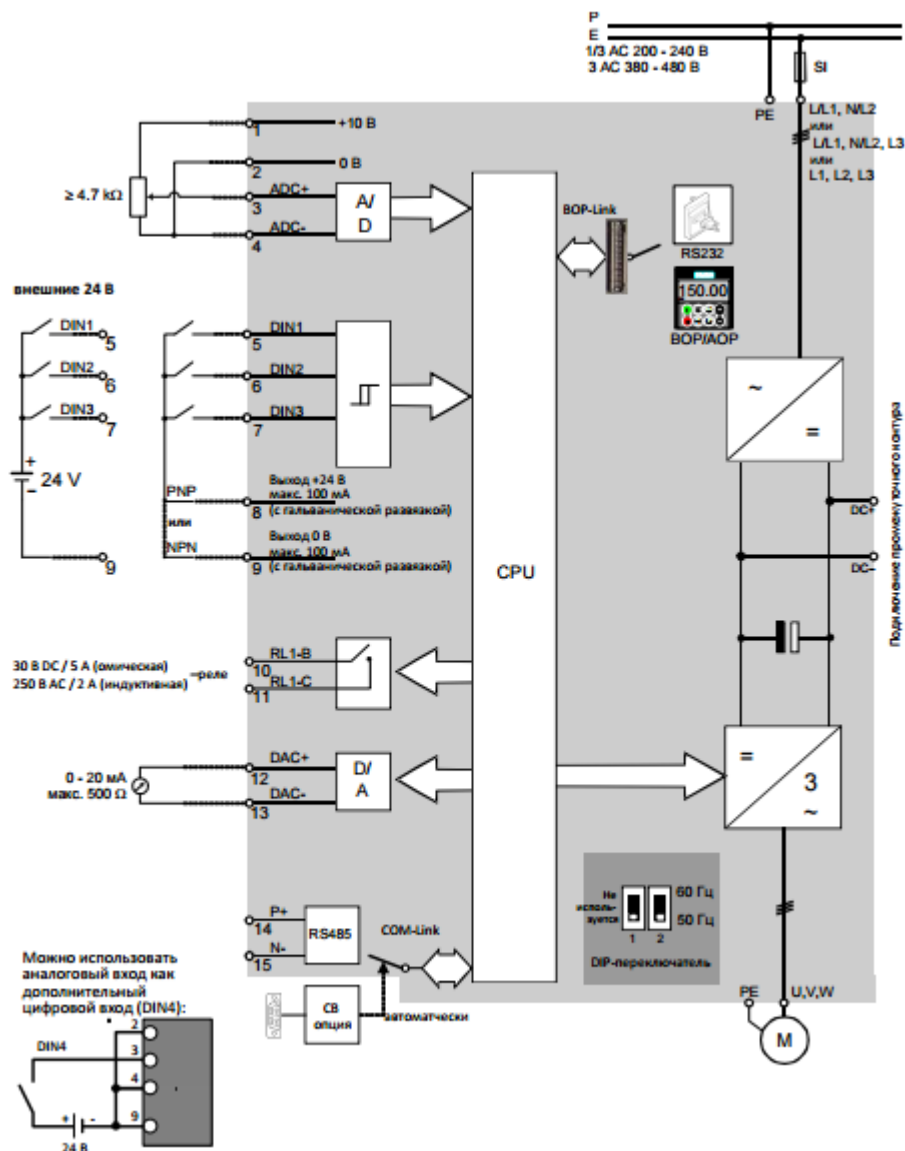


Рисунок29 - Схема подключения Siemens 6SE6420-2UD13-7AA1

### 4.3. Выбор закона частотного управления

Если одновременно изменять частотой питающей сети  $f_{1j}$  и переменное напряжение  $U_{1j}$  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 напряжением, 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].

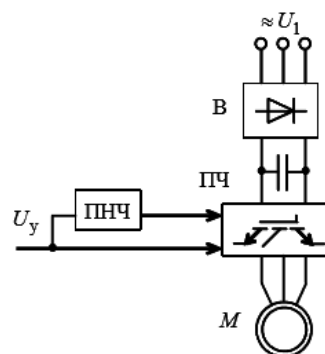


Рисунок30 - Функциональная схема скалярного частотного управления  
скоростью асинхронного двигателя

Производственный механизм трубопроводная арматура, а именно дисковый затвор имеет постоянную механическую характеристику  $M_C = \text{const}$ , и, следовательно, необходимо выбрать закон изменения 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]:

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

Постоянная нагрузка:

$$M_{\text{нагр}} = 0,5 \cdot M_{\text{двн}} = 0,636.$$

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

Принимаем максимальный момент:

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

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

Полный момент нагрузки:

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

Механические характеристики нагрузки механизма строятся по уравнениям:

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

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

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

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

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

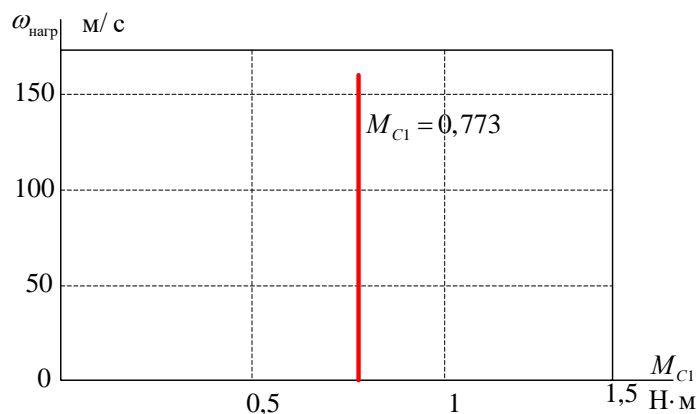


Рисунок 31 - Механическая характеристика постоянной нагрузки механизма

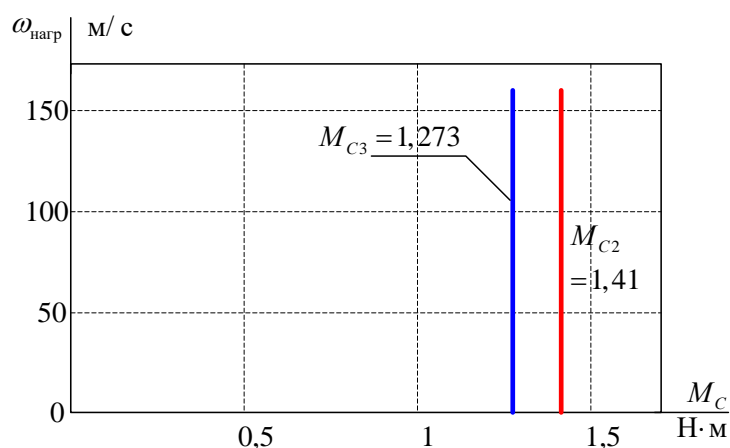


Рисунок 32 - Механическая характеристика механизма с учетом сил трения

Коэффициент, определяющий закон частотного регулирования, при законе регулирования:

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

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

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:



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

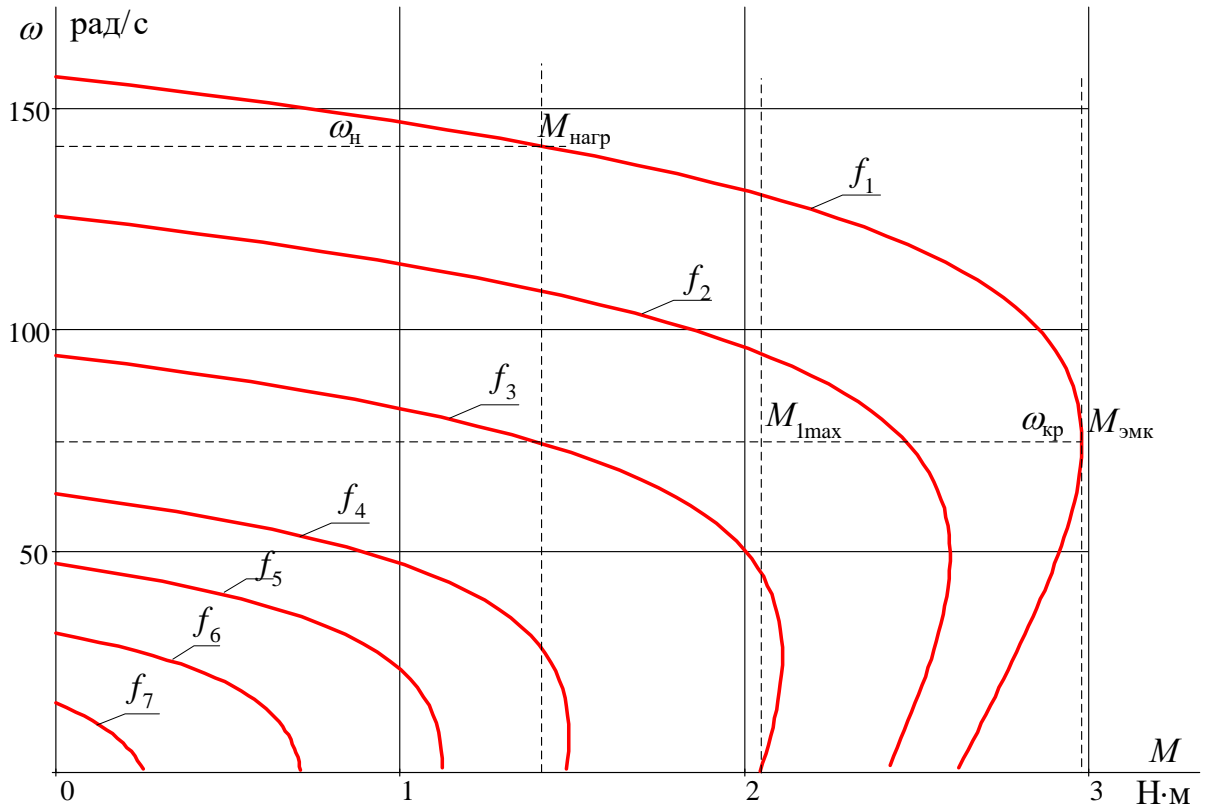


Рисунок 33 -Механические характеристики при законе регулирования

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

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).

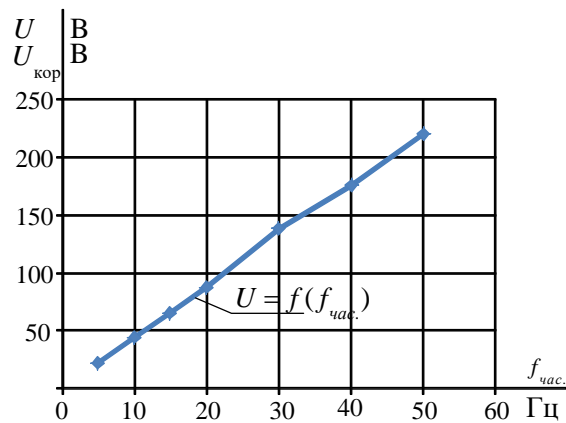


Рисунок 34 – Вольт – частотная характеристика преобразователя при законе регулирования  $U / f = const$

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

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

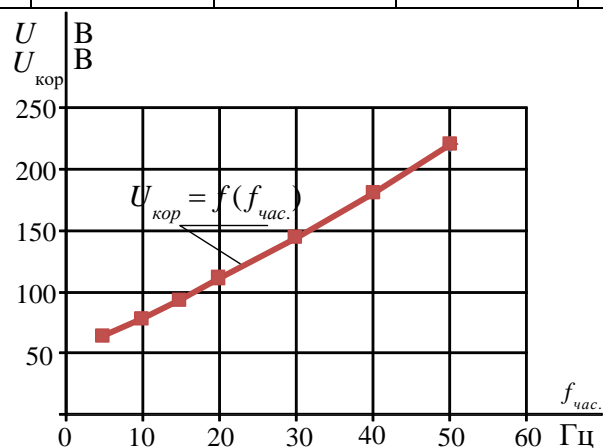


Рисунок 35 – Скорректированная вольт – частотная характеристика

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

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

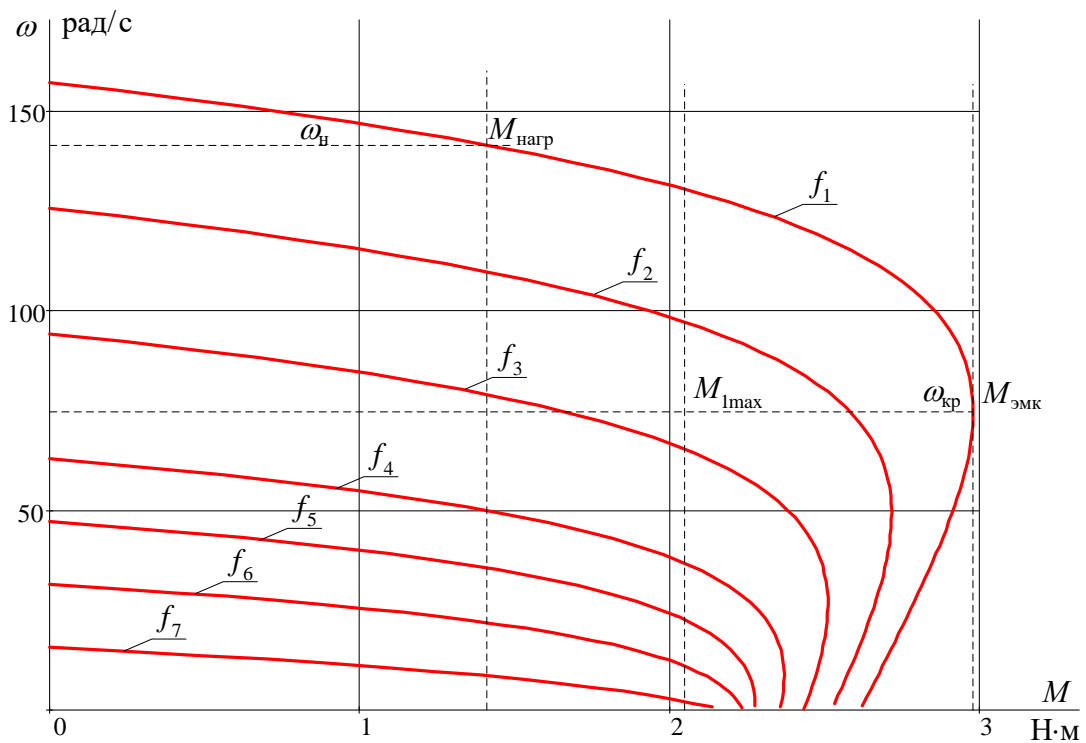


Рисунок36 - Механические характеристики при законе регулирования

$$U / f = const \text{ с IRкомпенсацией}$$

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

Естественные электромеханические характеристики электродвигателя рассчитывается для значения частоты  $f_{и} = f_{1н} = 50$  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.

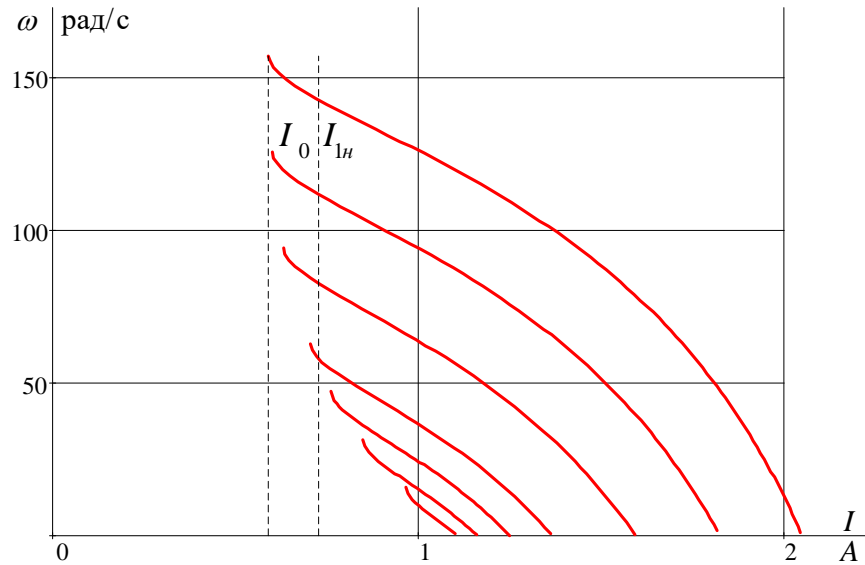


Рисунок 37 – Электромеханические характеристики при законе регулирования  $U / f = const$

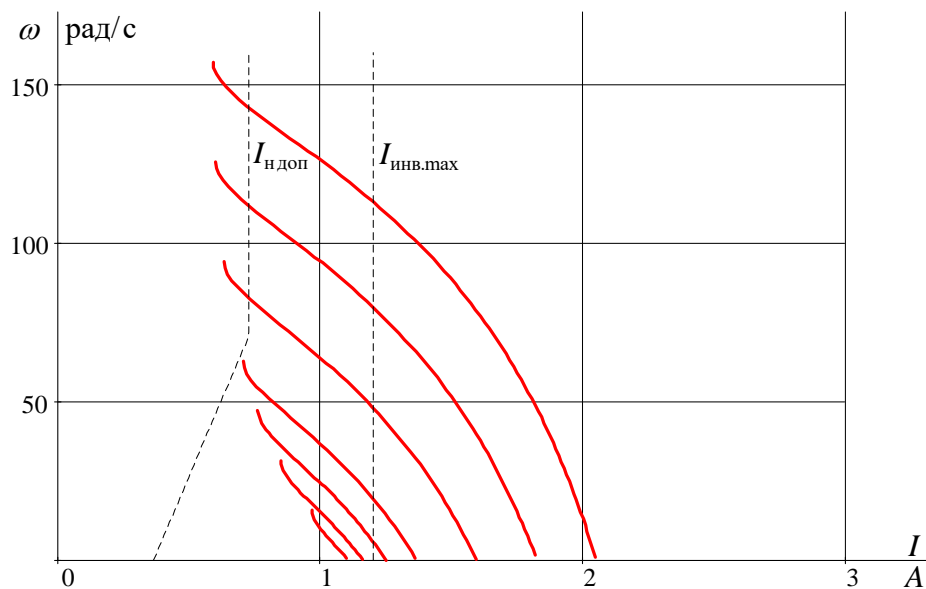


Рисунок 38 - Электромеханические характеристики при длительно допустимом и максимальном токе

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 допустимы 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:

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

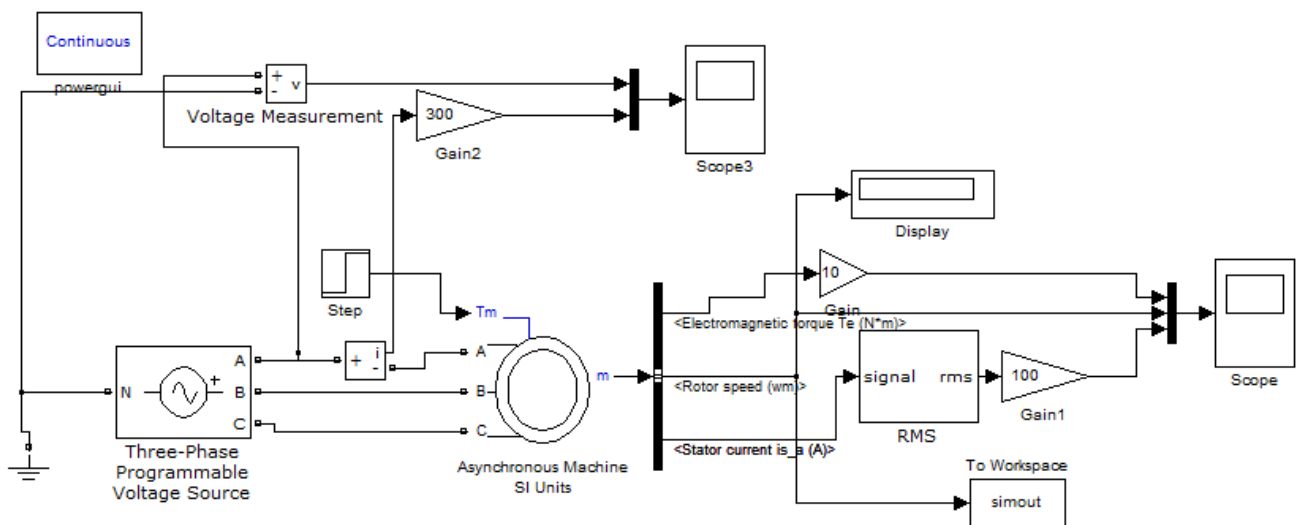


Рисунок 39 – Библиотечная модель пуска асинхронного двигателя

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 0]		

Рисунок40 - Параметры асинхронного двигателя

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

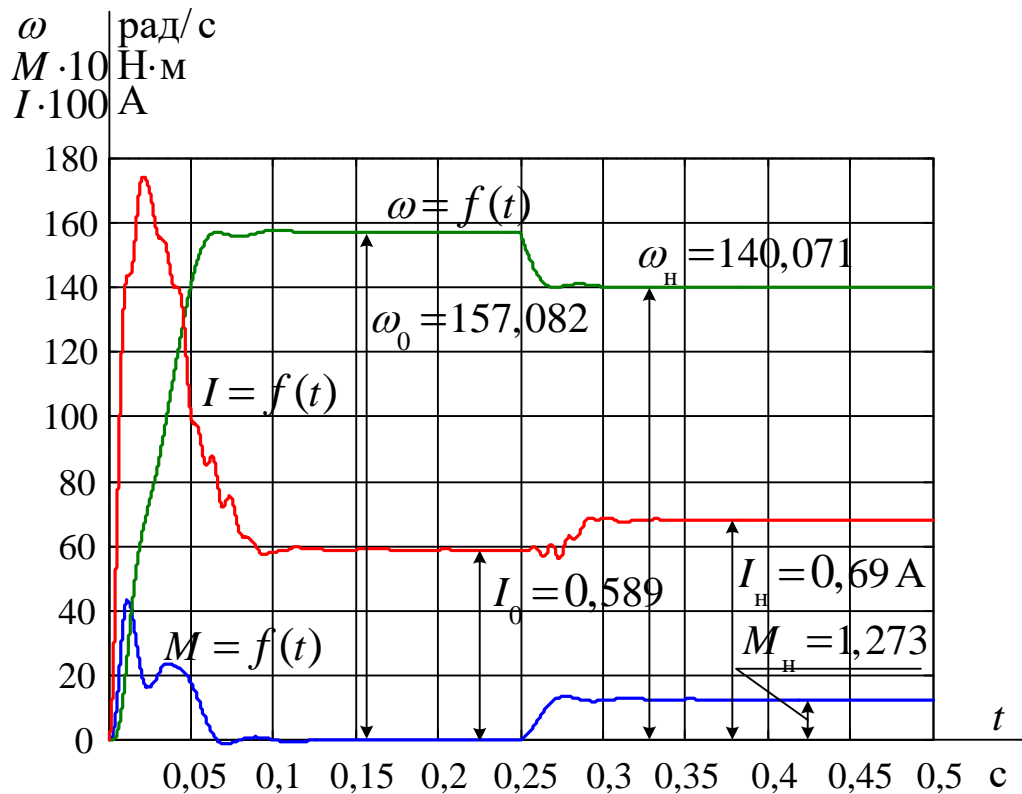


Рисунок 41 - Переходные характеристики скорости, момента и тока двигателя, при прямом пуске

После анализа полученных графиков, видно что модель двигателя работает правильно, двигатель выходит на номинальную скорость при номинальной частоте питающей сети. Значения номинального тока и скорости совпадают с значениями полученными в программе Mathcad приведенные в таблице 9.

Таблица 9 – Сравнение значений тока, момента и скорости

	$\omega_0$ , рад/с	$\omega$ , рад/с	$I_0$ , А	$I$ , А	$M_n$ , рад/с
Mathcad	157,08	141,372	0,589	0,727	1,273
MatLAB	157,082	140,071	0,524	0,69	1,273

Из таблицы 9 видно, что параметры, полученные в среде Mathcad верны.

## 5.2. Разработка имитационной модели преобразователь частоты – асинхронный двигатель для дискового затвора

Функциональная схема системы частотно регулируемого асинхронного двигателя со скалярным управлением представлена на рисунке 42. Данная схема может быть реализована на основании структурной схемы асинхронного электродвигателя в неподвижно системе координат  $\alpha$  и  $\beta$  [15].

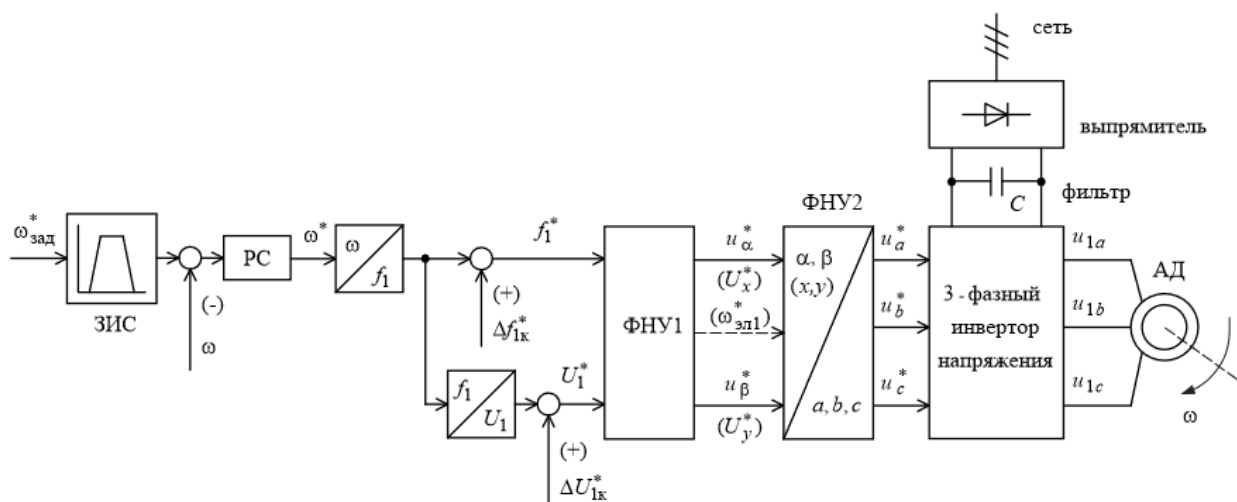


Рисунок 42 - Функциональная схема системы частотно – регулируемого асинхронного двигателя со скалярным управлением

$\omega$  - 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.

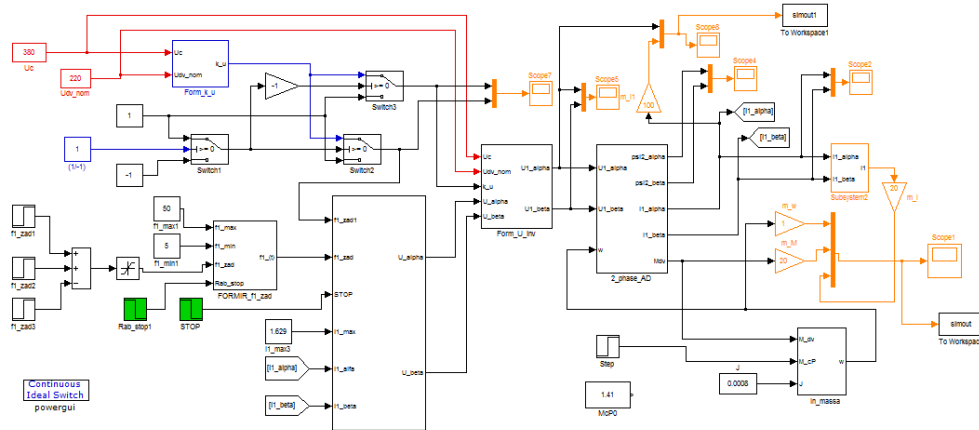


Рисунок 43– Имитационная модель частотно – регулируемого асинхронного двигателя в  $\alpha$ ,  $\beta$  координат

Она состоит из следующих блоков:

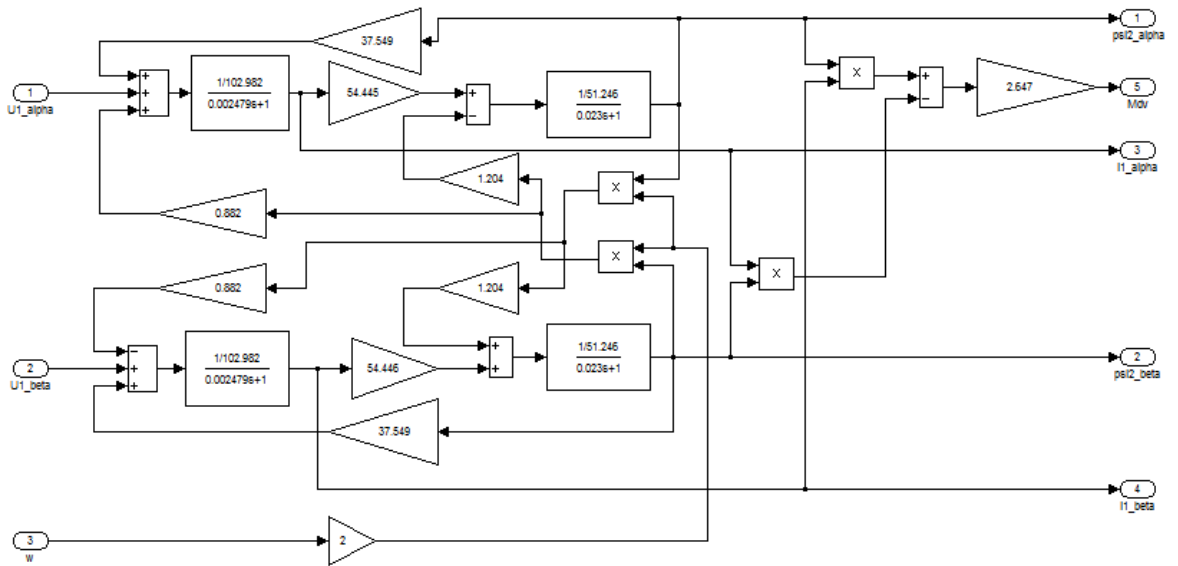


Рисунок 44 – Имитационная модель асинхронного двигателя в  $\alpha, \beta$  координатах



Рисунок 45 – Имитационная модель постоянной нагрузки

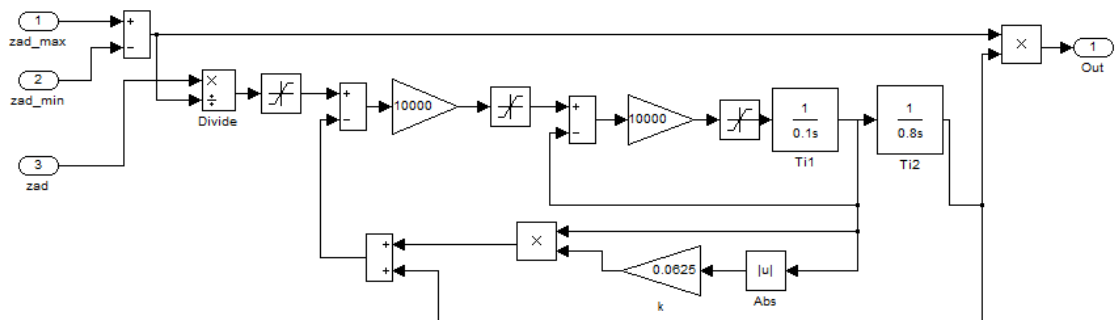


Рисунок 46 - Имитационная модель задатчика интенсивности

### 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.

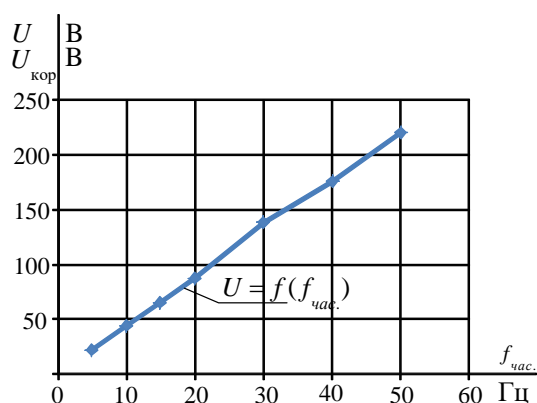


Рисунок 47 – Вольт частотная характеристика для закона  $U/f$

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

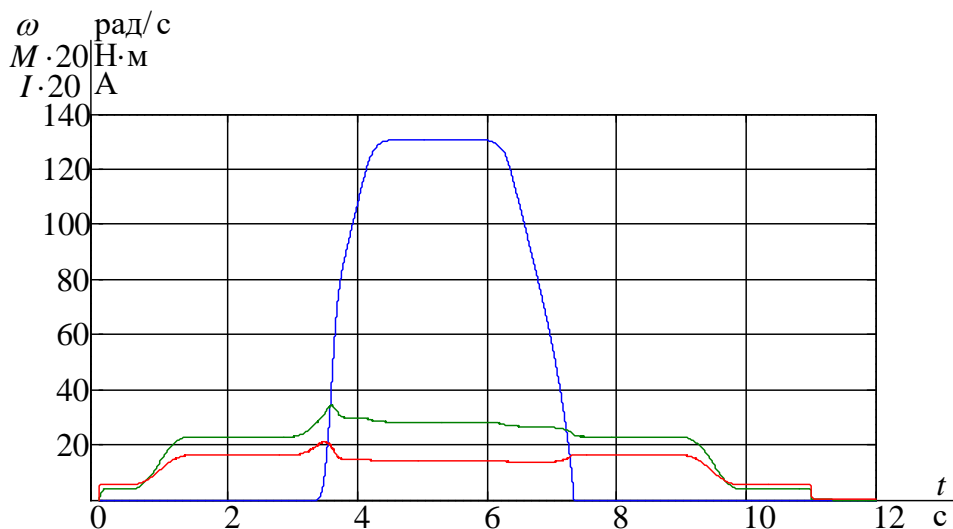


Рисунок 48 – Переходные характеристики асинхронного двигателя АИР 56В4У

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).

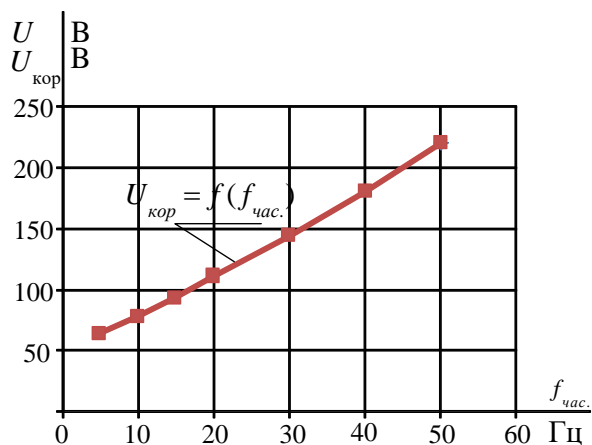


Рисунок49 - С корреktированная вольт частотная характеристика

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

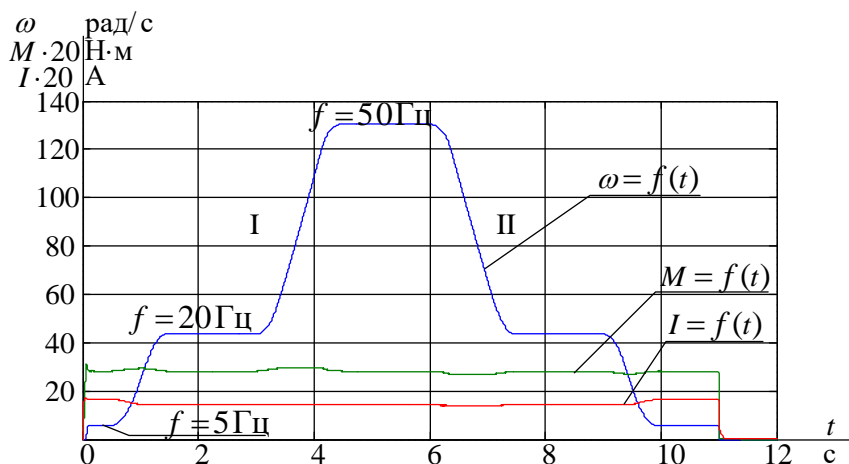


Рисунок50 - Переходные характеристики асинхронного двигателя АИР 56В4У

Как видно из рисунка с корреktированной 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 увеличатся 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].

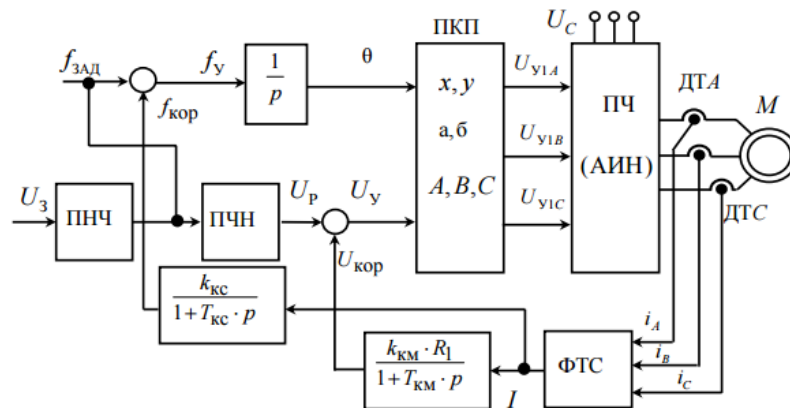


Рисунок 51 - Функциональная схема частотного управления асинхронным двигателем с компенсацией момента и скольжения

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 скорректировкой вольт – частотной характеристики на низких частотах

Так как требуемы 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.

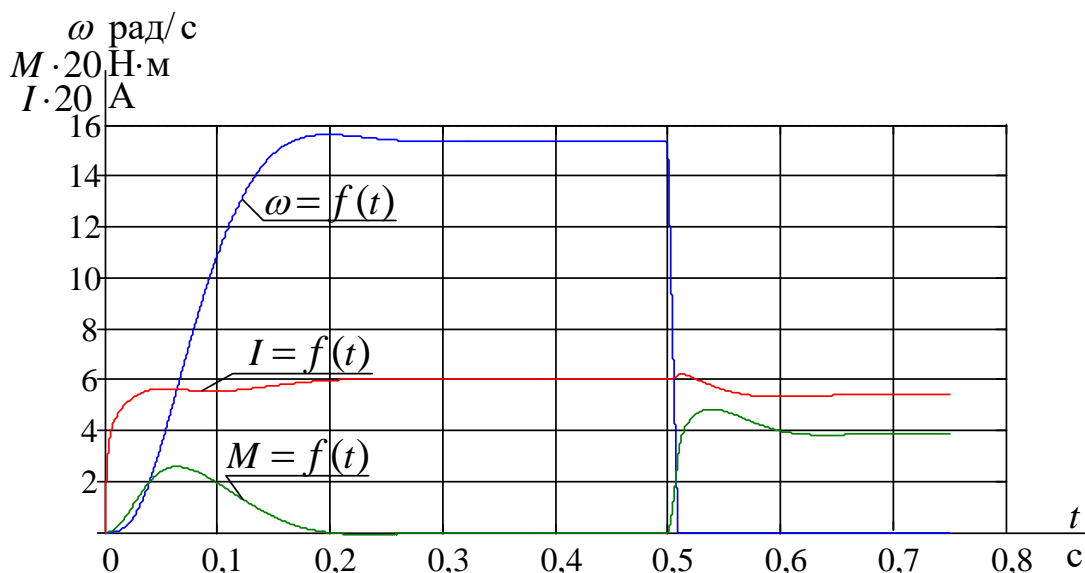


Рисунок 52–Переходные характеристики пуска двигателя на минимальную скорость с последующим набросом нагрузки

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.

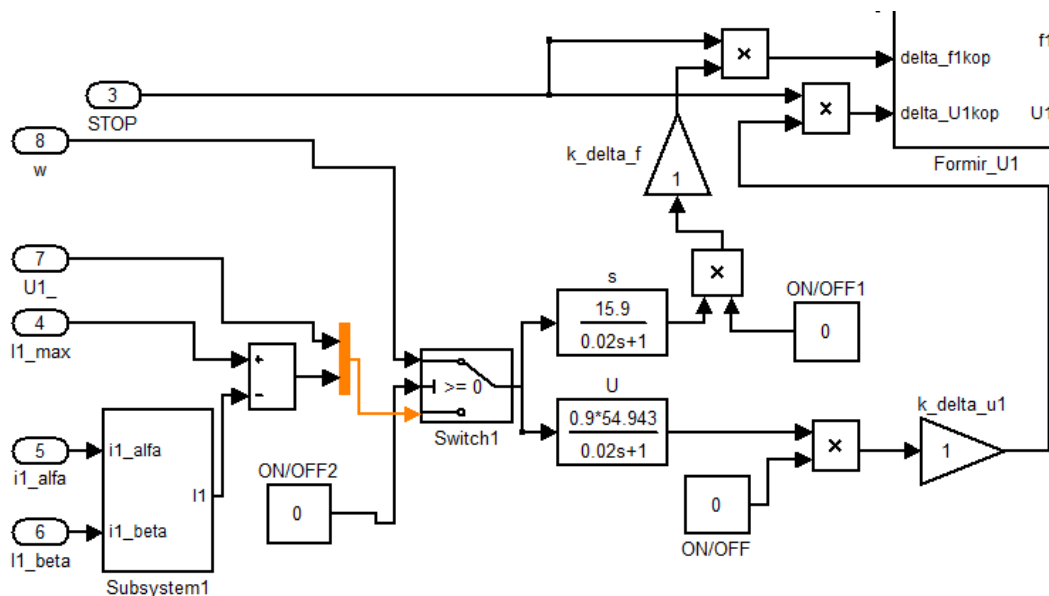


Рисунок 53 – Имитационная модель компенсации момента и скольжения

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.

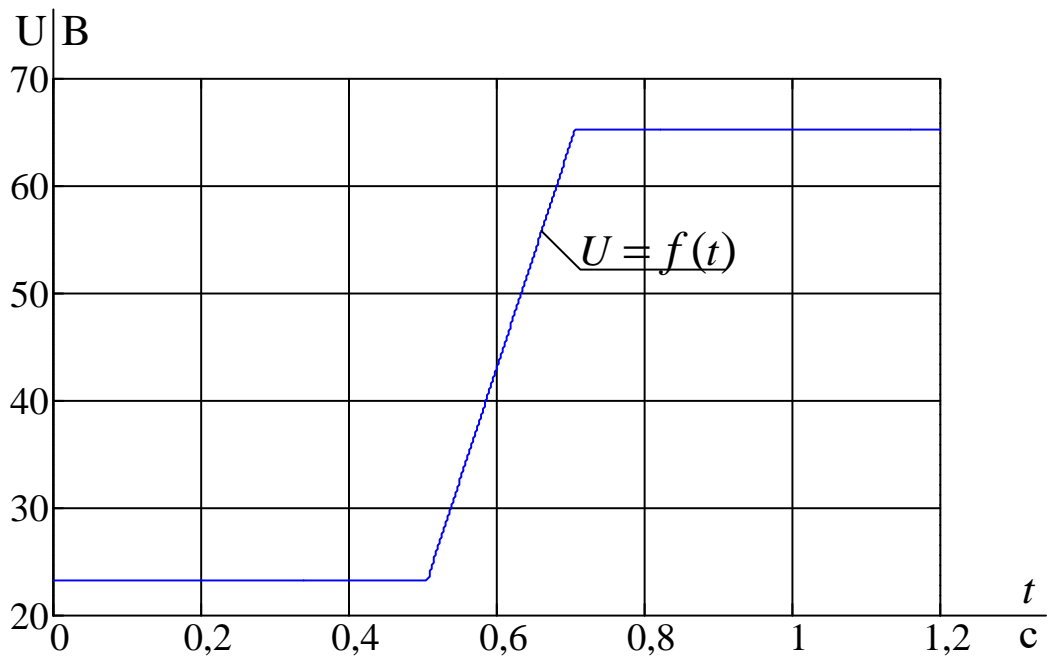


Рисунок 54 – Переходная характеристика напряжения

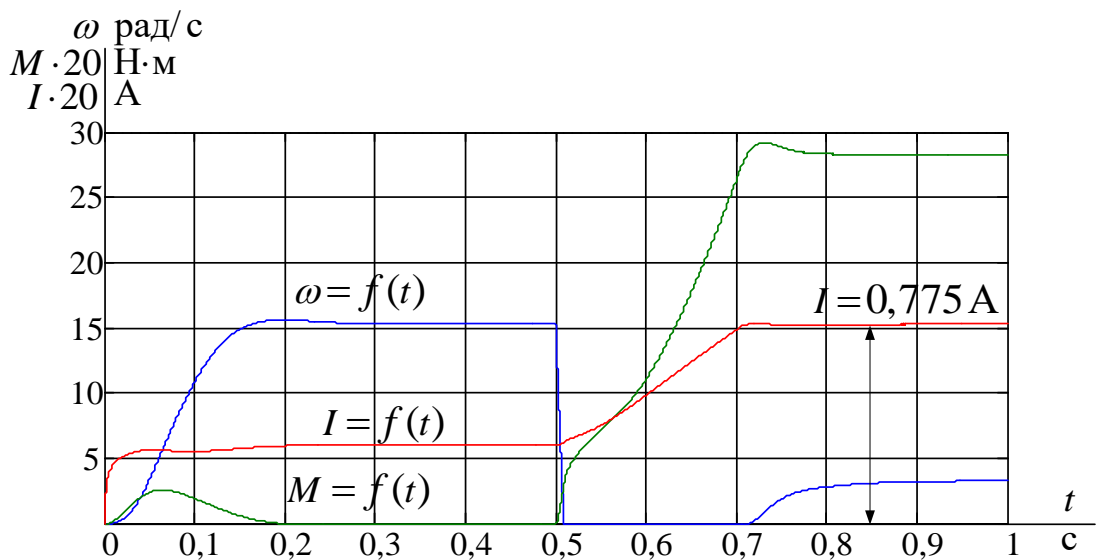


Рисунок 55 -Переходные характеристики пуска двигателя при набросе нагрузки, с  $IR$  – компенсацией

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



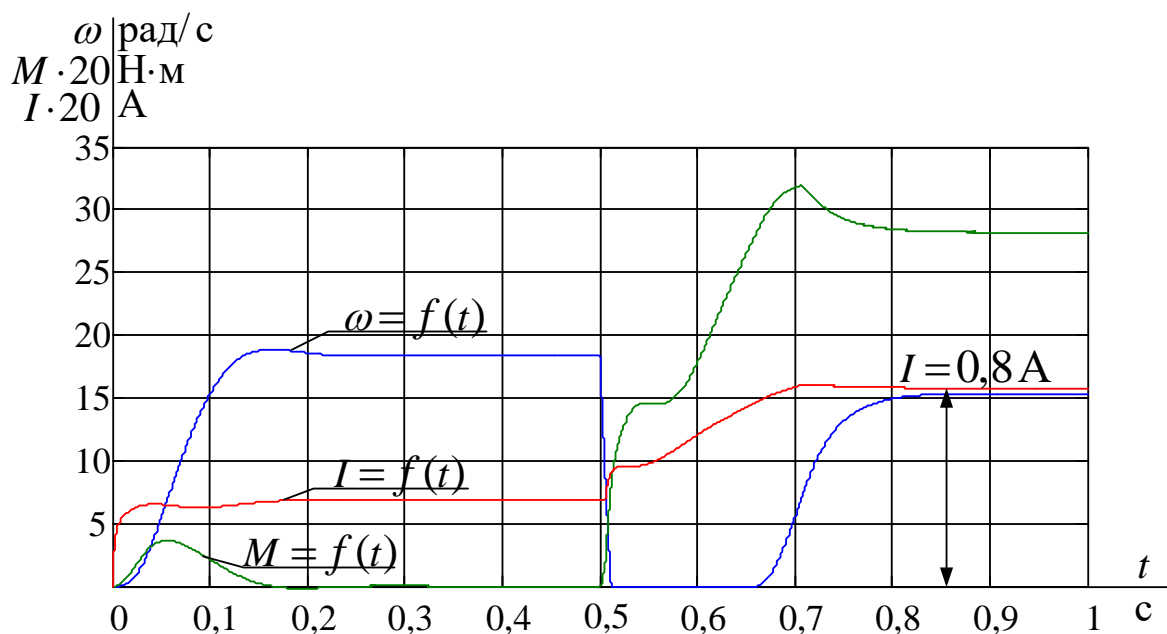


Рисунок 56 -Переходные характеристики пуска двигателя в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  при набросе нагрузки, с  $IR$  и  $s$ - компенсацией

### 5.5. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора со скалярным управлением с компенсацией наблюдения 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.

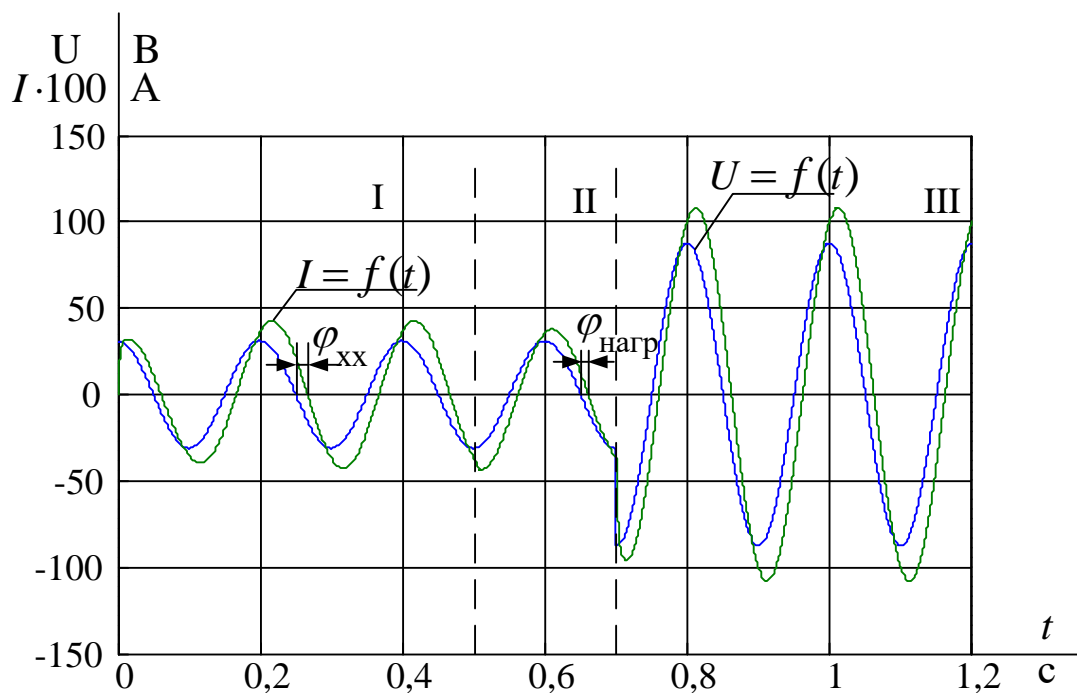


Рисунок 57 -Переходные характеристики тока и напряжениядвигателя в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  при набросе нагрузки, сIR –компенсацией

Анализируя переходные характеристики видно, что угол между током и напряжением в режиме холостого хода  $\varphi_{\text{хх}} = 30,6^{\circ}$  и в режиме наброса нагрузки  $\varphi_{\text{нагр}} = 22,05^{\circ}$ . Угол между током и напряжением уменьшился. Необходимо ввести компенсацию. В результате моделирования были сняты следующие характеристик рисунок 58 и рисунок59.

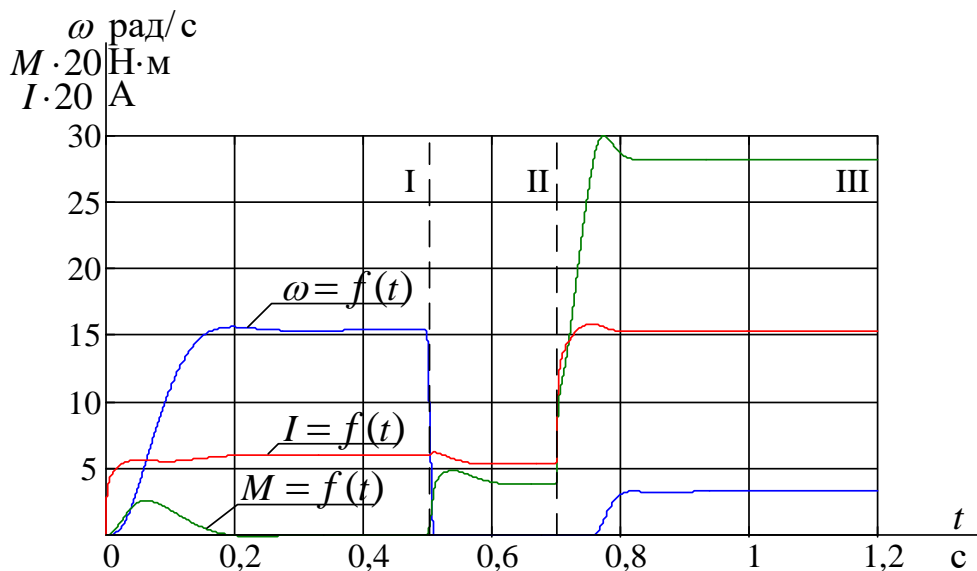


Рисунок 58 - Переходные характеристики скорости, момента и тока двигателя в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  при набросе нагрузки, с компенсацией по моменту (углу).

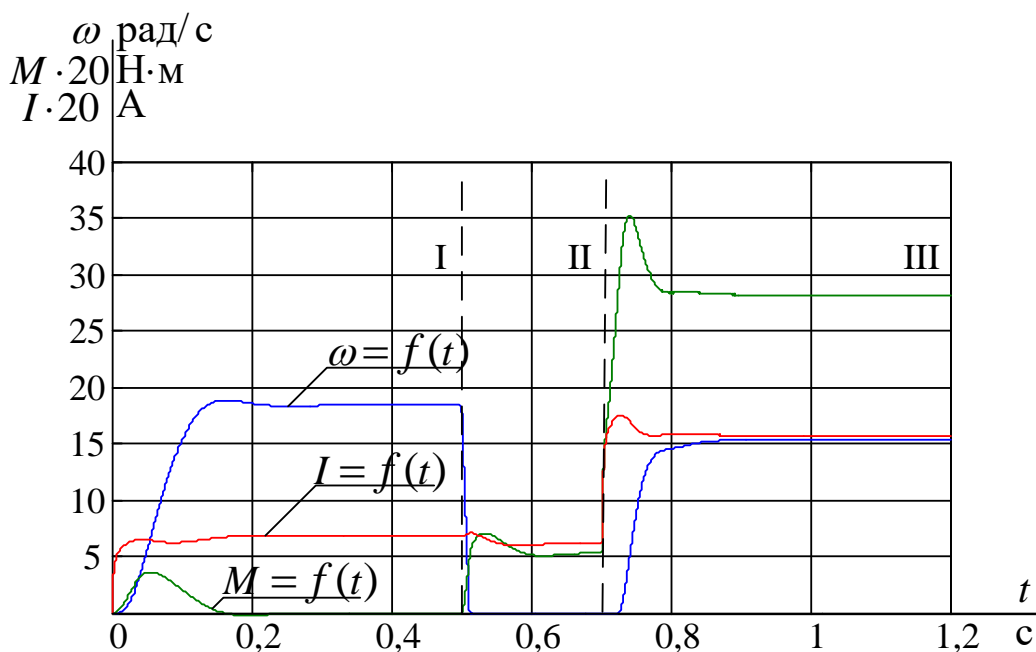


Рисунок 59 - Переходные характеристики скорости, момента и тока двигателя в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  при набросе нагрузки, с  $IR$  и  $s$  – компенсацией

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.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗА1	Суржиков Андрей Сергеевич

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>- Описание рабочего места оператора дискового затвора: Рабочая площадка находится в закрытом помещении – лаборатория ТПУ. Основное рабочее оборудование – электропривод переменного тока, управляющий дисковым затвором.</p>
---	---

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

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p>	<p>1. Повышенный уровень шума.</p> <p>2. Повышенный уровень вибрации;</p> <p>1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</p> <p>2. Электрический ток.</p> <p>3. Статическое электричество</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>1. Отходы возникающие в процессе «жизненного цикла» оборудования.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>1. Чрезвычайная ситуация: пожар;</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>1. Гарантии и компенсации за работу во вредных условиях труда.</p> <p>2. Эргономические требования к размещению органов управления дисковым затвором.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г3А1	Суржиков Андрей Сергеевич		

## 6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе рассматриваются эксплуатационные характеристики электропривода трубопроводной арматуры, установленной в лаборатории ТПУ. Анализируются все вредные и опасные фактора, и влияние электропривода на экологию. А также, рассматриваются возможные чрезвычайные ситуации и правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

### 6.1. Производственная безопасность.

Таблица 10 - Опасные и вредные факторы при эксплуатации трубопроводной арматуры для регулирования расхода газа.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)[1]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) эксплуатация и ремонт электропривода трубопроводной арматуры	1. Повышенный уровень шума. 2. Повышенный уровень вибрации;	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Электрический ток. 3. Статическое электричество	1. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. 2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. 3. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. 4. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. 5. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. 6. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. 7. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. 8. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ.

#### Вредные факторы.

##### Повышенный уровень шума.

Источником повышенного уровня шума в электроприводе запорной арматуры является электродвигатель и редуктор.

Человеческий организм по-разному реагирует на шум разного уровня. Шумы уровня 70-90 дБ при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а более 100 дБ - к снижению слуха, вплоть до глухоты.

В соответствии с [2] предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест, разработанные с учетом категорий тяжести и напряженности труда, представлены в табл. 11.

*Таблица 11 - Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест.*

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий.	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

В соответствии с [3] к коллективным средствам и методам защиты от шума при использовании приводной арматуры можно отнести:

- звукоизолирующие кожухи;
- рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов;
- рациональное размещение рабочих мест;
- оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля;
- совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин;
- использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях.

К средствам индивидуальной защиты относятся:

- противозумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противозумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противозумные шлемы и каски;
- противозумные костюмы.

#### Повышенный уровень вибрации.

Источниками вибраций являются движение тяжелого (в том числе грузового) автотранспорта, работа насосного оборудования и приводной арматуры (задвижки, дисковые затворы и т.п.).

Длительное воздействие вибрации на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это



профессиональная патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки на оператора для длительности смены 8 ч., для общей вибрации категории 3 тип «а», по санитарным нормам значение виброускорения составляет 100 дБ, а для виброскорости – 92 дБ. [4].

К средствам защиты от повышенного уровня вибрации относятся устройства:

оградительные; виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие; автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления. [8].

### **Опасные факторы.**

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования; подвижные части производственного оборудования;

Подвижными частями электропривода запорной арматуры являются шток дискового затвора и вал электродвигателя.

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

Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикосания работающих к движущимся частям, то конструкция производственного оборудования должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности.

В непосредственной близости от движущихся частей, находящихся вне поля видимости оператора, должны быть установлены органы управления аварийным остановом (торможением), если в опасной зоне, создаваемой движущимися частями, могут находиться работающие. [6].

### Поражение электрическим током

Источником повышенного напряжения в электроприводе запорной арматуры являются токоведущие части электропривода.

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. [7]

К коллективным средствам защиты от поражения электрическим током относят:

оградительные устройства; устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения; устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения; устройства дистанционного управления; предохранительные устройства; молниеотводы и разрядники; знаки безопасности. [8]

К коллективным средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся:

заземляющие устройства; нейтрализаторы; увлажняющие устройства; антиэлектростатические вещества; экранирующие устройства.

Средства индивидуальной защиты:

специальная одежда антиэлектростатическая; специальная обувь антиэлектростатическую; предохранительные приспособления антиэлектростатические (кольца и браслеты); средства защиты рук антиэлектростатические.

### **6.2. Экологическая безопасность**

В процессе «жизненного цикла» рассматриваемого оборудования могут возникать следующие отходы:

- Вышедшие из строя детали и узлы;
- Изоляция;
- Ликвидация изделия (при полном выходе из строя).

Девять этапов технологического цикла отходов:

- 1 - появление;
- 2 - сбор и/или накопление;
- 3 - идентификация;

- 4 - сортировка (с обезвреживанием);
- 5 - паспортизация;
- 6 - упаковка (и маркировка);
- 7 - транспортирование и складирование;
- 8 - хранение;
- 9 - удаление.

Первым подэтапом 9-го этапа является утилизация объектов и отходов. На подэтапе утилизации может быть произведена переработка бракованных или вышедших из употребления изделий, их составных частей и отходов от них путем разборки (разукрупнения), переплавки, использования других технологий с обеспечением рециркуляции (восстановления) органической и неорганической составляющих, металлов и металлосоединений для повторного применения в народном хозяйстве, а также с ликвидацией образующихся вновь отходов.

Вторым подэтапом 9-го этапа технологического цикла ликвидации опасных и других отходов является их безопасное размещение на соответствующих полигонах или уничтожение, если захоронение отходов угрожает здоровью и жизни людей, и окружающей среде. В современных условиях вопросы переработки и/или захоронения (уничтожения) чаще решают на основе экономически целесообразных механизмов при обеспечении безопасного обращения с отходами. При санкционированном захоронении опасных и других отходов следует учитывать, что с появлением новых научно-технических и технологических решений отходы смогут быть утилизированы, поэтому такие захоронения следует рассматривать как техногенные месторождения полезных ископаемых («вторая геология»).[9]

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

#### Пожарная безопасность.

Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляции обмоток, различных электромагнитов (контакты, реле, контрольно-измерительные приборы), проводов и кабелей.

Противопожарная защита должна достигаться применением одного из следующих способов или их комбинацией:

- применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;

- применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;

применением основных строительных конструкций и материалов, в том числе используемых для облицовок конструкций, с нормированными показателями пожарной опасности;

применением пропитки конструкций объектов антипиренами и нанесением на их поверхности огнезащитных красок (составов);

устройствами, обеспечивающими ограничение распространения пожара;

организацией с помощью технических средств, включая автоматические, своевременного оповещения и эвакуации людей;

применением средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара;

применением средств противодымной защиты.[10]

#### **6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:**

##### Правовые нормы трудового законодательства

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере.

Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Конкретные размеры повышения оплаты труда устанавливаются работодателем с учетом мнения представительного органа работников в порядке, установленном статьей 372 ТК РФ для принятия локальных нормативных актов, либо коллективным договором, трудовым договором.[11, статья 147]

##### Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования[12]:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны

группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;

- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;
- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора.

Штурвал используемый для ручного управления дисковым затвором должен отвечать общим эргономическим требованиям. [13]

Основные размеры маховиков управления и штурвалов должны соответствовать указанным в табл.12.

Таблица 12 - Основные размеры маховиков управления и штурвалов.

Способ вращения	Обод				Рукоятка			
	Диаметр наибольший		Поперечное сечение		Длина		Диаметр наибольший	
	Пределы значения	Оптимальные значения	Пределы значения	Оптимальные значения	Пределы значения	Оптимальные значения	Пределы значения	Оптимальные значения
Двумя руками за обод	140-1000	350-400*	10-40	25-30	-	-	-	-
Одной рукой за обод	50-140	75-80	10-25	15-20	-	-	-	-
Преимущественно кистью за рукоятку	150-400	250-300	-	-	75-150	100-120	15-35	25-30
Преимущественно пальцами за рукоятку	50-200	75-100	-	-	30-75	40-50	10-20	15-18

Плоскость вращения маховика, не имеющего рукоятки, и штурвала должна находиться при вращении двумя руками:

сидя - перпендикулярно продольной плоскости симметрии сиденья и под углом от 40 до 90° к горизонтали;

стоя - под углом от 0 до 90° к горизонтали с осью вращения в сагиттальной плоскости тела оператора

Плоскость вращения маховика без рукоятки, вращаемого одной рукой как сидя, так и стоя, должна находиться под углом от 10 до 60° по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки.

Плоскость вращения маховика, снабженного рукояткой должна находиться по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки под углом:

от 10 до 90° - при вращении кистью с предплечьем и

от 10 до 45° - при вращении всей рукой.

Интервал между ободами и другими деталями соседних маховиков, расположенных в одной плоскости, должен быть не менее:

50 мм - при вращении одной рукой последовательно или в случайном порядке;

100 мм - при вращении двумя руками одновременно;

130 мм - при работе в рукавицах или перчатках.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5ГЗА1	Суржиков Андрей Сергеевич

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	Электроэнергетики и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Примерный бюджет проекта 200 тыс.руб.;</li> <li>- В исследовании задействованы 2 человека: руководитель проекта, инженер-разработчик;</li> <li>- Проект выполняется на базе лаборатории ТПУ</li> <li>- Стоимость оборудования (ПК) – 14 тыс. рублей</li> </ul>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</li> </ul>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Отчисления во внебюджетные фонды – 27,1% от ФОТ

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование,</li> <li>- Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</li> <li>- Планирование научно-исследовательских и пуско-наладочных работ</li> <li>- Определение научно-технической эффективности проекта</li> </ul>
<i>2. Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Планирование работ по проекту,</li> <li>- Расчет бюджета затрат проекта по внедрению частотного электропривода</li> <li>- Расчет капитальных вложений в основные средства</li> </ul>

3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования
--	---

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

1. *Смета затрат*

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Суржиков Андрей Сергеевич		



## **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 1.

Таблица 13 – 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

Таблица 14 - Месячный оклад работников

№	Проектная группа	Оклад
1	Инженер 9р	17000
2	Научный руководитель	33664

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

$$K_{пр} = K_{з/пл} + K_{с.о} + K_{пр.} + K_{накл},$$

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

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

$K_{пр.}$  – прочие затраты;

$K_{накл}$  – накладные затраты.

## 7.3 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  $K_2$ :

$$ЗП_{мес} = ЗП_о \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ где}$$

$ЗП_о$  – месячный оклад работника;

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

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

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

$$ЗП_{мес(НР)} = 33664 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 48140 \text{руб/мес.}$$

В месяце 21 рабочий день.

Тогда заработная плата  $ЗП_{ор}$  каждого участка в соответствии таб.1:

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

$n$  – количество дне в проекте.

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

$$ЗП_{\text{НР}} = \frac{ЗП_{\text{мес(НР)}}}{21} \cdot n = \frac{48140}{21} \cdot 9 = 20631 \text{руб.}$$

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

$$K_{\text{з/пл}} = ЗП_{\text{инж}} + ЗП_{\text{НР}} = 121500 + 20631 = 142131 \text{руб.}$$

#### **7.4 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 27,1% от  $K_{\text{з/пл}}$ .

$$K_{\text{с.о.}} = \frac{K_{\text{з/пл}} \cdot 27,1\%}{100\%} = \frac{142131 \cdot 27,1}{100} = 38518 \text{руб.}$$

#### **7.5 Прочие затраты**

Прочие затраты составляют 10% от общих затрат на проект.

$$K_{\text{пр.}} = (K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о.}}) \cdot 0,1 = (142131 + 38518) = 18065 \text{руб.}$$

## 7.6 Накладные затраты

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почто-вые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{накл}} = (K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр.}}) \cdot 0,16 = (142131 + 38518 + 18065) = 31794 \text{руб.}$$

Смета затрат на проект:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр.}} + K_{\text{накл}} = \\ = 142131 + 38518 + 18065 + 31794 = 230508 \text{руб.}$$

Таблица 15 – Результаты полученных данных

№	Элементы затрат	Стоимость, руб.
1	Затраты на заработную плату	142131
2	Затраты на социальные нужды	38518
3	Прочие затраты	18065
4	Накладные расходы	31794
	Итого:	230508

## 7.6 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 16 - 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.

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

$C_o$  – 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, вентиляей 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.



## CONCLUSION

The purpose of this master's thesis is to study the electric drive of pipeline valves, to provide the required control range. Various types of pipe fittings were considered, of which a disk shutter was selected as the object under study. The butterfly valve is a serious alternative to the use of valves, gates and valves. The butterfly valve can combine both regulating and locking functions.

To ensure the required opening time of the butterfly valve, the asynchronous motor AIR56B4U and the worm gearbox were selected.

The results of calculating engine parameters are static mechanical and electromechanical characteristics. Frequency characteristics for the  $U / f$  regulation law were also constructed, which were used to simulate a frequency-controlled asynchronous electric drive of a disk shutter with scalar control. The operation of the motor at 5 Hz was provided by compensating the  $\omega$  - frequency characteristic in various ways.

The modeled system meets the requirements of the technical specification. In the economic part, the design costs are estimated. In the section of safety and ecology, hazardous and harmful production factors are analyzed, social responsibility is considered, practical recommendations on safety and industrial sanitation are given.

## 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 rocku серии trc [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»
- 42.ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
- 43.СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- 44.ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация
- 45.СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
- 46.ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
- 47.ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
- 48.ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

- 49.ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
- 50.ГОСТ 30773-2001Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла. Основные положения
- 51.ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
- 52."Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ
- 53.ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования
- 54.ГОСТ 21752-76 Система человек-машина. Маховики управления и штурвалы. Общие эргономические требования

## Приложение А