

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод трубопроводной арматуры

УДК 62-83-52:621.646

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Таштанов Эркинбек Бакытбекович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. зав. кафедрой-руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Инженерная школа энергетики
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
 Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:
 И. о. зав. кафедрой- руководителя
 ОЭЭ ИШЭ
 _____ А.С. Ивашутенко
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Таштанову Эркинбеку Бакытбековичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод трубопроводной арматуры	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на задвижку
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	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 соскалярным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат.

Перечень графического материала	Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ЭП с скалярным управлением Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы асинхронного электропривода
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.03.2020г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		20.03.2020г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Таштанов Эркинбек Бакытбекович		20.03.2020г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа с 127., рисунков 59, таблиц 24, источников 38. 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	6
ВВЕДЕНИЕ	9
1. ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА	12
1.1. Общие сведения об арматуре	12
1.2. Классификация арматуры	14
1.3. Основные типы арматуры	22
1.3.1. Задвижки	22
1.3.1.1. Клиновые задвижки	24
1.3.1.2. Параллельные задвижки	25
1.3.2. Клапаны	26
1.3.3. Краны	28
1.3.4. Затворы	30
2. ДИСКОВЫЕ ЗАТВОРЫ	33
2.1. Название дискового затвора	33
2.2. Классификация дисковых затворов	38
2.3. Конструктивное исполнение дисковых затворов	39
2.3.1. Дисковый затвор с симметричным диском	39
2.3.2. Дисковый затвор с одинарным эксцентриситетом	41
2.3.3. Дисковый затвор с двойным эксцентриситетом	43
2.3.4. Дисковый затвор с тройным эксцентриситетом	44
3. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК 46	
3.1. Расчет и определение параметров двигателя дискового затвора	48
3.1.1. Определение параметров Т – образной схемы асинхронного двигателя АИР 56В4У2	48
3.2. Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик	53
4. СИЛОВОЙ КАНАЛ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	56
4.2. Выбор преобразователя частоты	57
4.3. Выбор закона частотного управления	63
4.4. Расчёт искусственных механических и электромеханических характеристик привода при частотном регулировании	65
5. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ДИСКОВОГО ЗАТВОРА	72
5.1. Проверка адекватности расчетов параметров асинхронного двигателя АИР 56В4У	72
5.2. Разработка имитационной модели преобразователь частоты – асинхронный двигатель для дискового затвора	75
5.3. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора со скалярным управлением	77

5.4. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора скорректировкой вольт – частотной характеристики на низких частотах	81
5.5. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода дискового затвора со скалярным управлением с компенсацией с наблюдением за углом нагрузки.	84
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	88
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	89
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	89
6.1.1 Анализ конкурентных технических решений	89
6.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	93
6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	93
6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	94
Таблица 13 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.	95
6.2.3 Бюджет научно-технического исследования	98
6.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	98
6.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	99
6.2.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы..	100
6.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	102
6.2.3.5 Накладные расходы.....	102
6.2.3.6 Формирование бюджета технического проекта.....	103
6.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	103
7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	107
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	108
7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	108
7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	109
7.2 Производственная безопасность.....	110
ГОСТ 12.2.003-91	111
7.2.1 Анализ вредных и опасных факторов	112
7.3 Экологическая безопасность.....	118
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
CONCLUSION	123
Список используемой литературы:	124

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

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

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

Классификация арматуры по температурному режиму.

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

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

- Арматура для пониженных температур, работающая при температурах -70°C до -30°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°C ; арматура из серого чугуна от -15 до 300°C .

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

- Арматура жаропрочная, применяемая для температур свыше 600°C .

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

2. Угловая трубопроводная арматура. У угловой ТА присоединительные патрубки расположены под углом друг к другу, причем наиболее часто под прямым углом, рабочая среда меняет направление движения на угол до 90° (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 шпindelь - крышка арматура подразделяется на сальниковую, сильфонную и мембранную. Для управления диском, клином, цилиндром или конусом, перекрывающим поток среды, из полости арматуры, заполненной средой, выводится наружу шпindelь или вал, образующий с крышкой или корпусом подвижное сопряжение, которое должно быть уплотнено. Для этой цели применяются сальники, сильфоны или мембраны [5].

Классификация арматуры в зависимости конструкции привода.

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

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

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

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

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

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

1.3. Основные типы арматуры

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

1.3.1. Задвижки

Задвижка - промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный орган перемещается возвратно-поступательно перпендикулярно оси потока рабочей среды [3]. Задвижки широко применяют во всех областях промышленности для перекрытия потоков газообразных или жидких сред в трубопроводах с диаметрами условных проходов от 50 до 2000 мм при

рабочих давлениях 0,4 - 20 МПа и температурах среды до 450°С. Иногда задвижки изготавливают и на более высокие давления. Запирающий элемент обычно находится в крайних положениях «открыто» и «закрыто». Также возможно применение задвижек для двухпозиционного (дискретного) регулирования потока рабочей среды. Перекрытие рабочего потока в задвижках осуществляется за счет запорного элемента, перегораживающего поток. Принципиальная схема задвижки представлена на рисунке 1 [7].

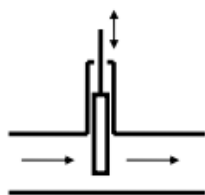


Рисунок 1 - Принципиальная схема задвижки

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

По конструкции затвора задвижки могут быть квалифицированы два основных типа:

- 1) Клиновые задвижки: с цельным (жестким) клином, упругим или составным клином (двухдисковые);
- 2) Параллельные задвижки, однодисковые, двухдисковые, шиберные.

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

Преимущества задвижек:

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

К недостаткам задвижек следует отнести:

- невозможность применения задвижек для рабочих сред с кристаллизующимися включениями;

- сравнительно небольшой допустимый перепад давлений на затворе;
- невысокая скорость срабатывания;
- опасность получения гидравлического удара в конце хода;
- трудности ремонта изношенных уплотнительных поверхностей затвора при эксплуатации.

1.3.1.1. Клиновые задвижки

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

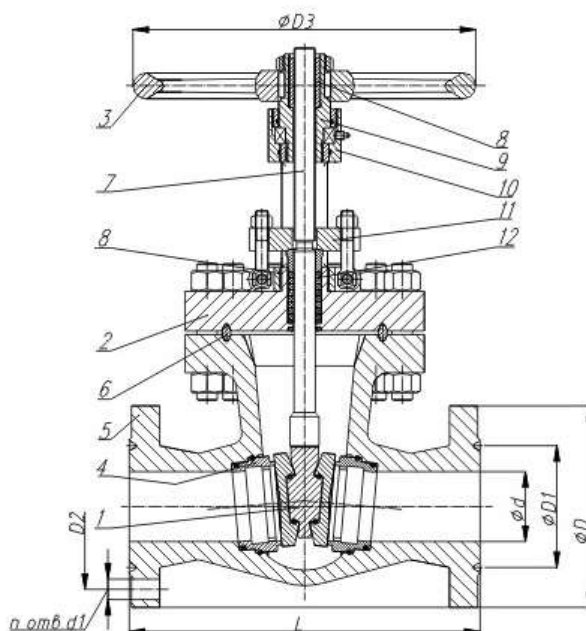


Рисунок 2 – Задвижка клиновая. 1 – клин, 2 – крышка, 3 – маховик, 4 – седло, 5 – корпус, 6 – кольцо уплотнительное, 7 – шпindelь, 8 – втулка резьбовая, 9 – втулка, 10 – стойка, 11 – фланец сальника, 12- сальниковое уплотнение из терморасширенного графита

Преимущества клиновых задвижек: повышенная герметичность в закрытом положении. Для обеспечения уплотнения необходимо приложить относительно небольшую величину усилия. Угол между направлением усилия привода и усилиями, которые действуют на уплотнительные поверхности затвора, близок к 90° . 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 износа уплотнительных поверхностей затвора и технологических трудностей, связанных с получением герметичности в затворе.

1.3.1.2. Параллельные задвижки

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

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

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

1.3.2. Клапаны

Клапан - промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный или регулирующий орган перемещается возвратно-поступательно параллельно оси потока рабочей среды. Затвор имеет вид плоской или конусной тарелки. В некоторых конструкция затвор может двигаться по дуге. Принципиальная схема клапана представлена на рисунке 3 [7].

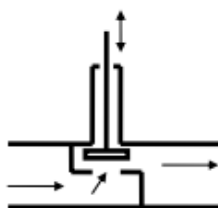


Рисунок 3 - Принципиальная схема клапана

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

Достоинства клапанов:

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

- возможность установки на трубопроводе в любом пространственном положении.

Недостатки клапанов:

- высокое гидравлическое сопротивление, возникающее из – за двукратного изменения направления движения рабочего потока внутри корпуса. Еще одной причиной является проходное сечение седла меньше чем у задвижек;

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

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

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

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

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

Золотниковые клапана. Основной частью клапана является золотник. Золотник может быть различной формы: тарельчатым, игольчатым, поршневым (цилиндрическим), сферическим. Его форма зависит от

конструктивного исполнения уплотнительных поверхностей – конусные, плоские, сферические [3].

Золотник находится в цилиндрическом канале и при своем перемещении открывает или закрывает своей боковой поверхностью отверстия, которые имеются в цилиндрическом канале. Перемещение золотника может осуществляться сжатым воздухом, поступающим к торцу золотника, или механическими тягами. Возврат золотника в начальное положение обычно осуществляется пружиной[8].

1.3.3. Краны

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

Кран находится в открытом положении, если ось отверстия затвор совпадает с осью трубопровода. Поток может протекать через отверстие. Если же затвор повернуть на 90^0 , 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 90^0 . 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].

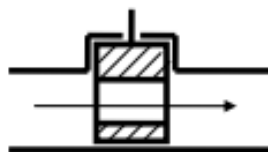


Рисунок 4 - Принципиальная схема крана

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 изготавливаю 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.

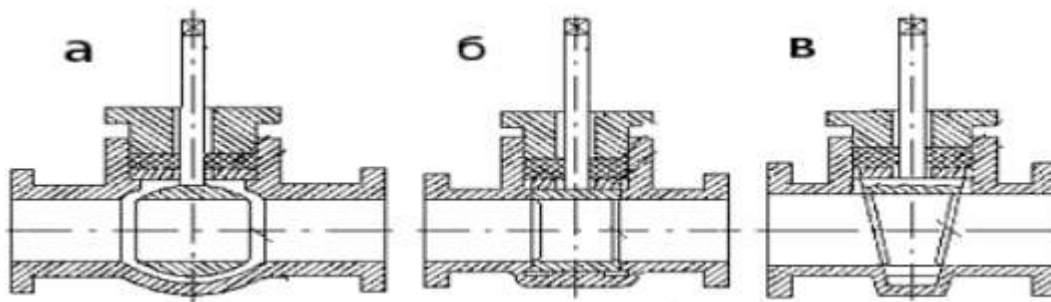


Рисунок 5 – Краны – а шаровой, б – цилиндрический, в – конический.

Достоинства кранов:

- малое время открытия и закрытия (для открытия/закрытия достаточно повернуть маховик на 90°)
- 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 бабочки, 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 (дрессельные заслонки). Дрессельная 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°), 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. Название дискового затвора

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

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

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

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

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

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

ГОСТ 24856 – 2014 дает следующее определение дисковому затвору:

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

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



Рисунок 10 - Устройство дискового затвора

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

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

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

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

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

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

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

Для изготовления штоков применяют легированные или нержавеющие стали.

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

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

Съемные вкладыши изготавливают из различных каучуков – каучука на основе сополимера этилена ЭПДМ (EPDM), хлоропреновых каучуков (Neoprene), фторорганических каучуков (торговая марка Viton), а также нитрильной резины, полиэтилена (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: симметричным диском; с одинарным эксцентриситетом; с двойным эксцентриситетом; с тройным эксцентриситетом [3].

2.3.1. Дисковый затвор с симметричным диском.

Рассмотрим затворы с симметричным диском. Дисковые затворы с симметричным диском имеют в своей основе эластичный элемент уплотнения (вкладыш) и диск в различных исполнениях (металлический или с полимерным покрытием). Тип присоединения к трубопроводу – межфланцевый (стяжной) [11].

Конструкция затвора с симметричным диском изображена на рисунке 11.

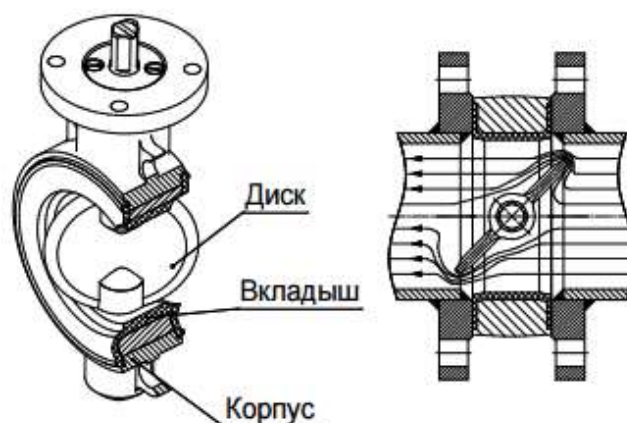


Рисунок 11 - Конструкция затвора с симметричным диском

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

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

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

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

Значительным шагом вперед в развитии дисковых затворов стало расположение диска с эксцентриситетом. В этом случае ось, вокруг которой происходит вращательное движение диска, смещена относительно

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

2.3.2. Дисковый затвор с одинарным эксцентриситетом

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

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

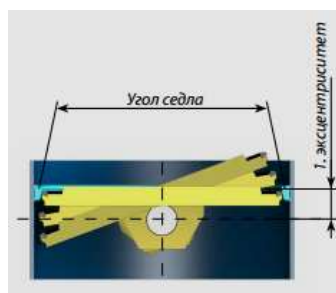


Рисунок 12 – Дисковый затвор с одинарным эксцентриситетом

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).

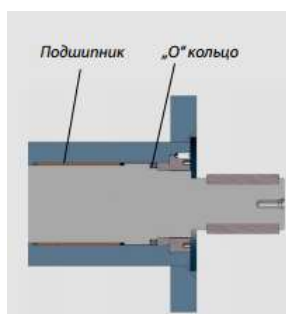


Рисунок 13 – Вал затвора с одинарным эксцентриситетом

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.

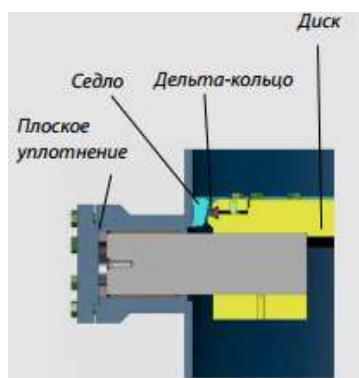


Рисунок 14 – Уплотнение дискового затвора с одинарным эксцентриситетом

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

Дисковые 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 дискового 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).

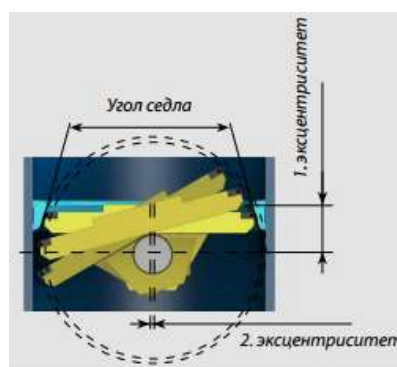


Рисунок 15 -Дискový затвор с двойным эксцентриситетом

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

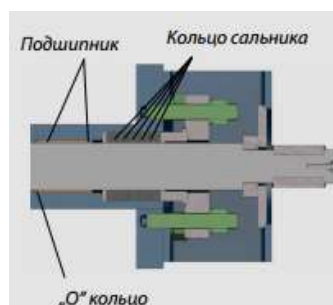


Рисунок 16 -Вал затвора с двойным эксцентриситетом

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.

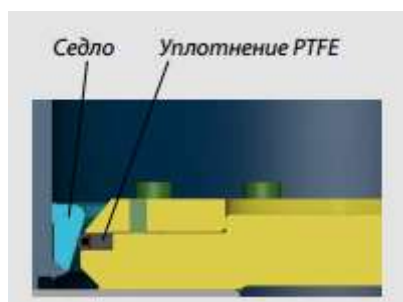


Рисунок 17 - Уплотнение дискового затвора с двойным эксцентриситетом

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

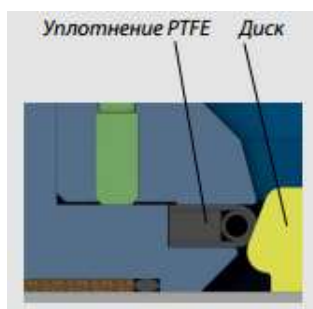


Рисунок 18 - Уплотнение дискового затвора с двойным эксцентриситетом с помощью прижимного кольца

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.

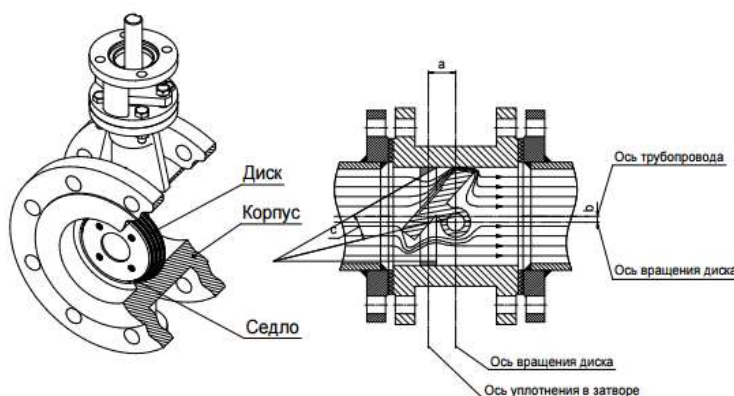


Рисунок 19 - Конструкция затвора с тройным эксцентриситетом

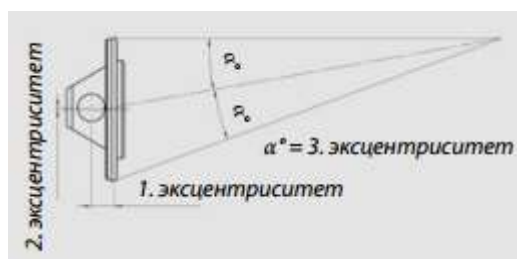


Рисунок 20 - Тройной эксцентриситет дискового затвора

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 90^0) 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.

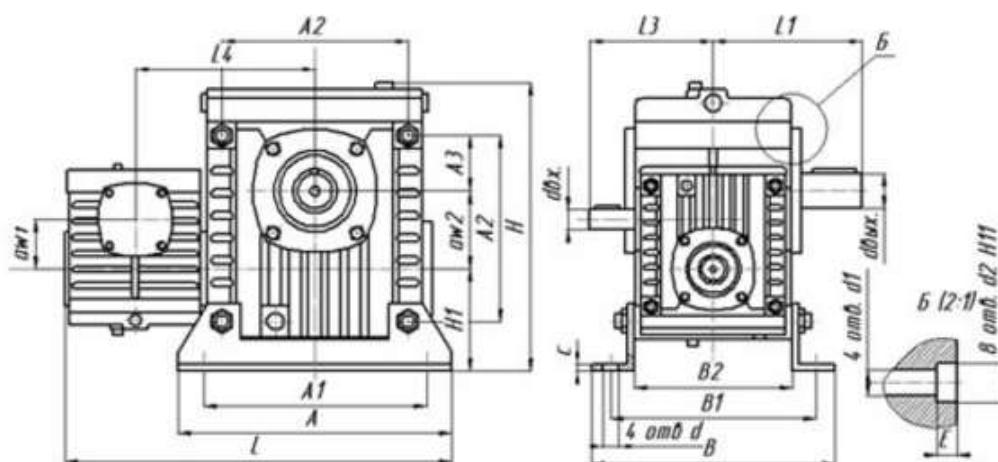


Рисунок 22 -Габаритные и присоединительные размеры редукторов Ч2-40/63

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(η), %	$\cos\varphi$, 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 ²
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].

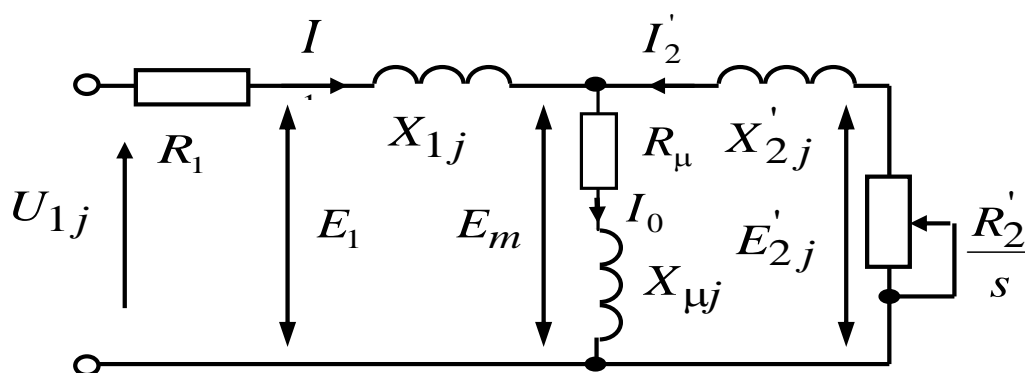


Рисунок 23 - Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке приняты следующие обозначения:

U_j – фазное напряжение статора;

R_1 – активное сопротивление обмотки статора;

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

I_1 – ток обмотки статора;

E_1 – ЭДС обмотки статора;

R_2' – активное сопротивление обмотки ротора, приведённое к обмотке статора;

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

E_m – ЭДС от главного магнитного поля машины;

E_2' – ЭДС обмотки ротора, приведённая к обмотке статора;

I_0 – ток холостого хода асинхронного двигателя;

s – скольжение.

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие выбранной схеме замещения:

Синхронная угловая частота вращения:

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

Номинальная частота вращения:

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

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

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

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

Номинальный ток статора:

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

Номинальный момент двигателя:

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

Ток фазы статора при частичной нагрузке:

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

Коэффициент мощности при частичной нагрузке, принимаем согласно:

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

Коэффициент полезного действия при частичной нагрузке, принимаем согласно:

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

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

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

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:

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

где (β) - 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 (γ) , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания (X_K) :

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

тогда:

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

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания:

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

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

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{333,777}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,062 \text{ Гн.}$$

Проверка адекватности расчётных параметров двигателя:

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

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

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

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

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

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

Должны выполняться условия:

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

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

По результатам расчёта эти условия выполняются.

Таблица 2 – Параметры схемы замещения АИР56ВУ4

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

3.2. Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик.

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику [15]:

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

$$\omega_r = (\omega_0 + 0,0001), (\omega_0 - 2)..a;$$

Рассчитаем критический момент двигателя по его рассчитанным параметрам:

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

Критический момент по паспортным данным рассчитывается по формуле:

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

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

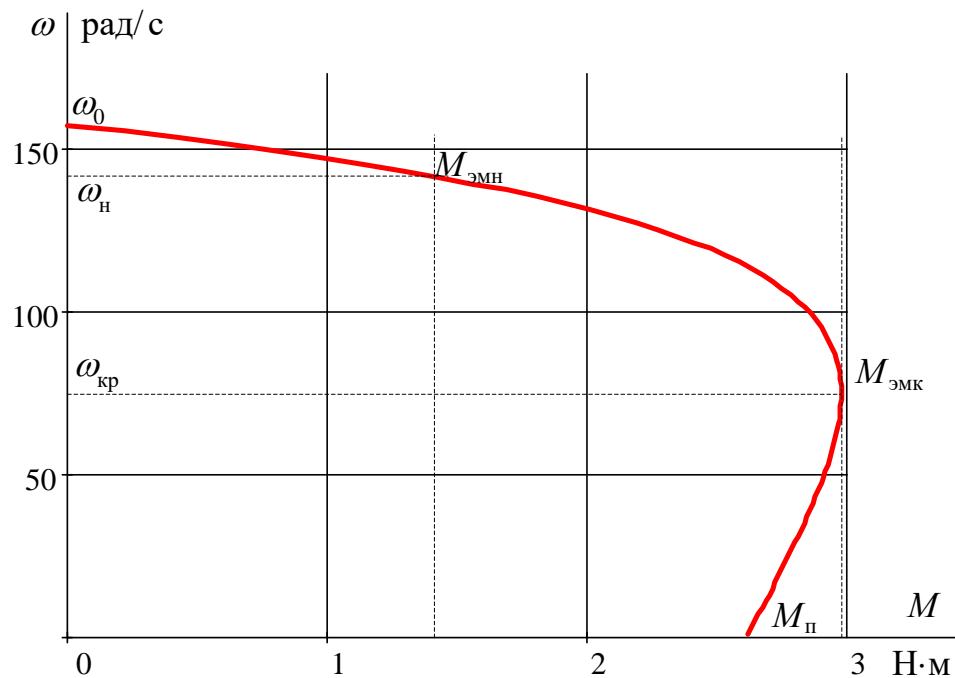


Рисунок 24 - Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику:

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

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

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

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

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

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

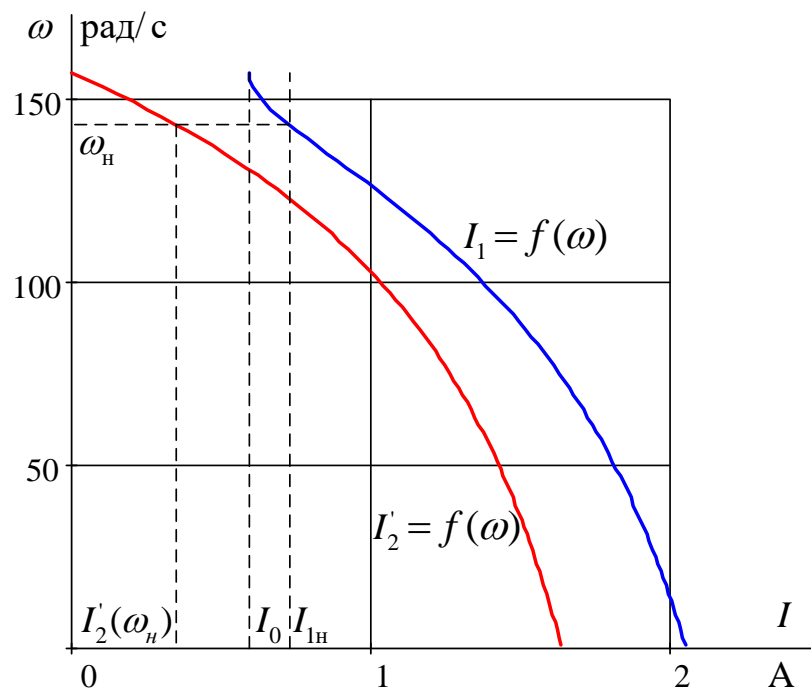


Рисунок 25 - Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

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. Неуправляемый 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):

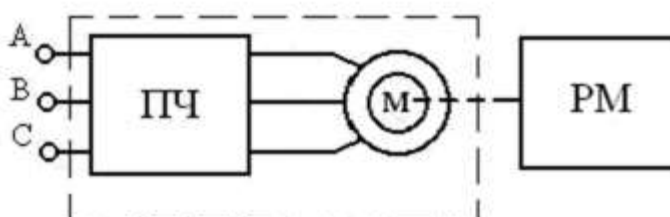


Рисунок 27 - Общая структура частотно регулируемого электропривода

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_v и конденсатора фильтра C_v . 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.

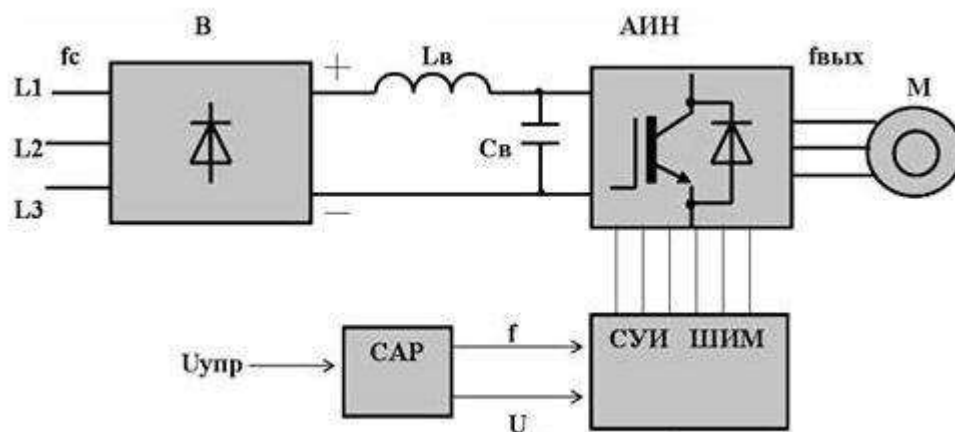


Рисунок 28 - Структурная схема частотного преобразователя

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 multifunctional частотный преобразователь, отличающийся удобством в управлении и настройках [19].

Отлично подходит для работы с электродвигателями и мотор-редукторами в промышленных установках, конвейерных системах, экструдерах, металлорежущих станках, системах водоснабжения, кондиционирования и вентиляции воздуха.

Таблица 5 – Технические характеристики ПЧ Innovert ISD251M43B

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

3. Преобразователи частоты Danfoss

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

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

постоянными магнитами, имеет дополнительные функциональные возможности.

Данная модель преобразователей частоты Danfoss имеют различные встроенные и встраиваемые опции: дроссель и ЭМС-фильтр, логистический контроллер SLC, опционально встраиваемые сетевые интерфейсы, различные опции входов и выходов, возможность 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 рисунке 29. Привод работает с высокой точностью даже во время торможения и в режимах резкого замедления скорости. Это возможно благодаря интегрированному тормозному резистору.

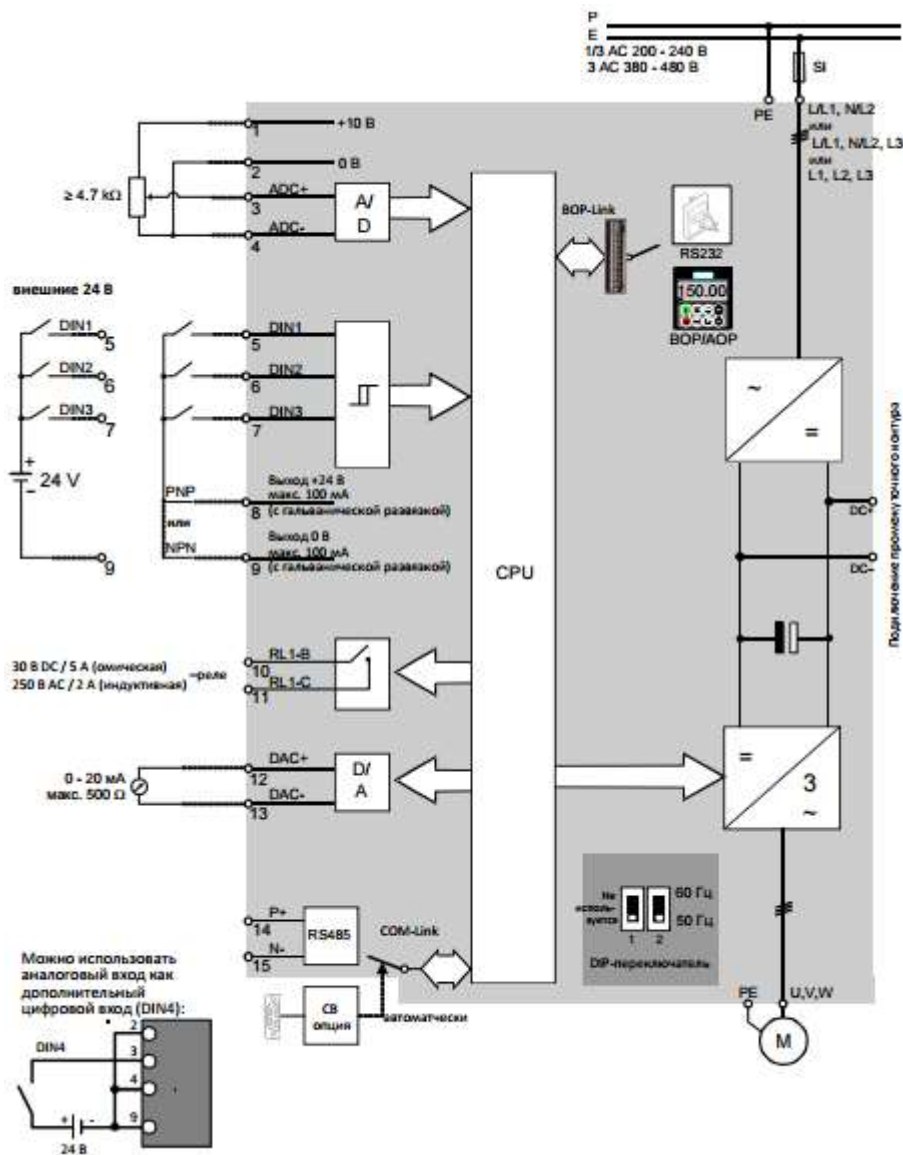


Рисунок 29 - Схема подключения Siemens 6SE6420-2UD13-7AA1

4.3. Выбор закона частотного управления

Если одновременно изменять частотой питающей сети f_{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].

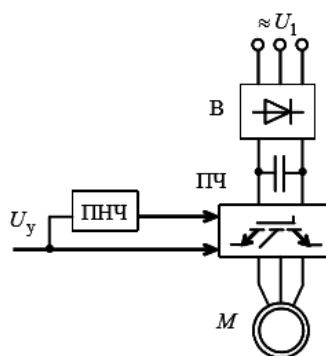


Рисунок 30 - Функциональная схема скалярного частотного управления скоростью асинхронного двигателя

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

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

Постоянная нагрузка:

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

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

Принимаем максимальный момент:

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

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

Полный момент нагрузки:

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

Механические характеристики нагрузки механизма строятся по уравнениям:

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

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

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

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

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

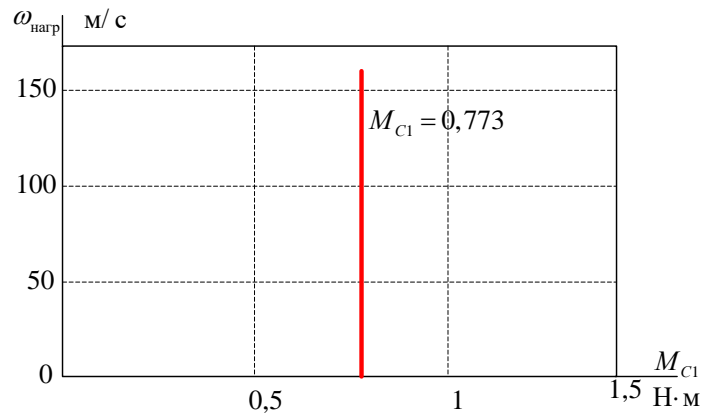


Рисунок 31 - Механическая характеристика постоянной нагрузки механизма

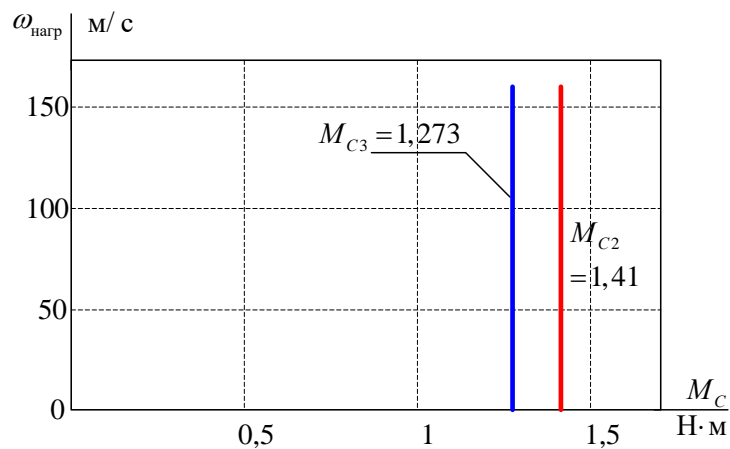


Рисунок 32 - Механическая характеристика механизма с учетом сил трения

Коэффициент, определяющий закон частотного регулирования, при законе регулирования:

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

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

Механические и электромеханические характеристики строятся при частотах:

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

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

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

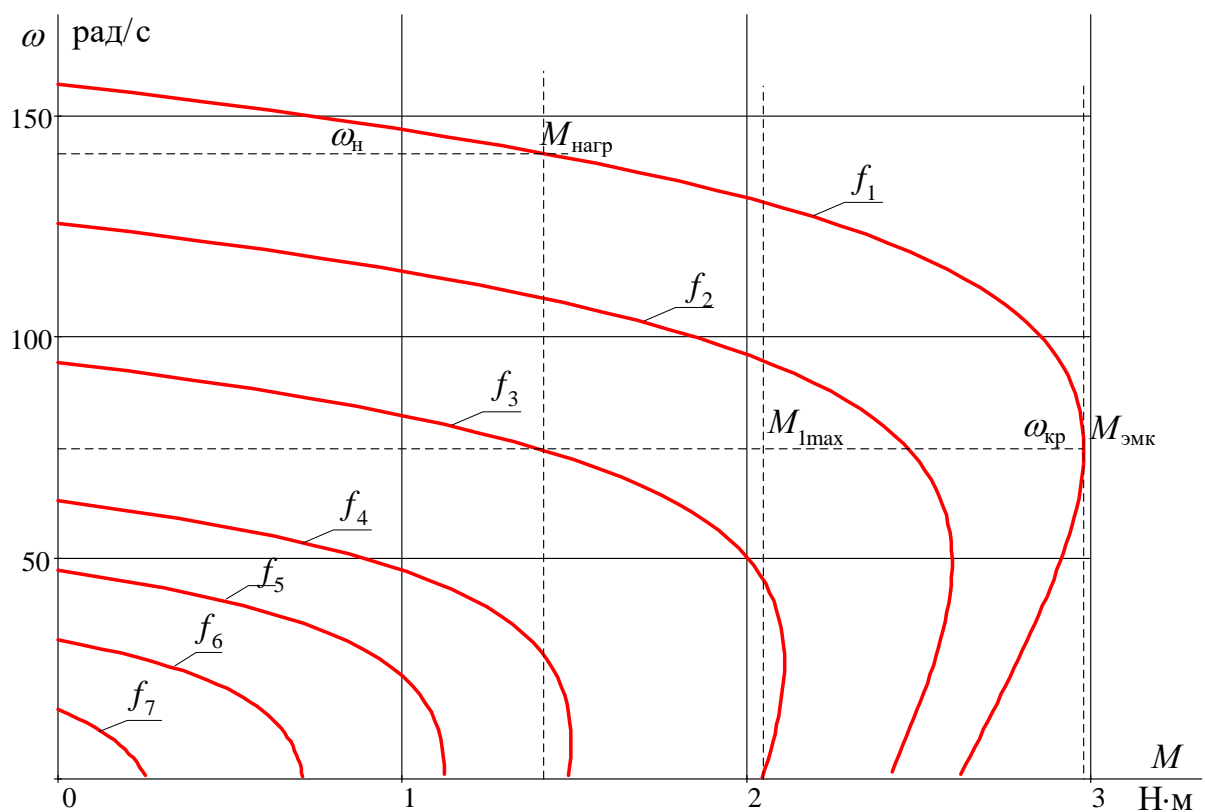


Рисунок 33 -Механические характеристики при законе регулирования

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

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).

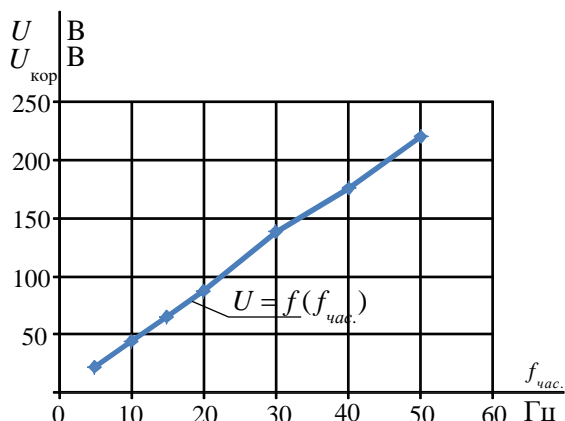


Рисунок 34 – Вольт – частотная характеристика преобразователя при законе регулирования $U / f = const$

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
ΔU , В	4	12	23	28	34	42

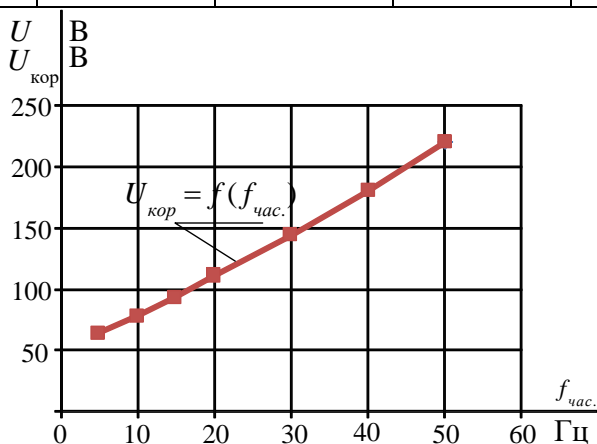


Рисунок 35 – Скорректированная вольт – частотная характеристика

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

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

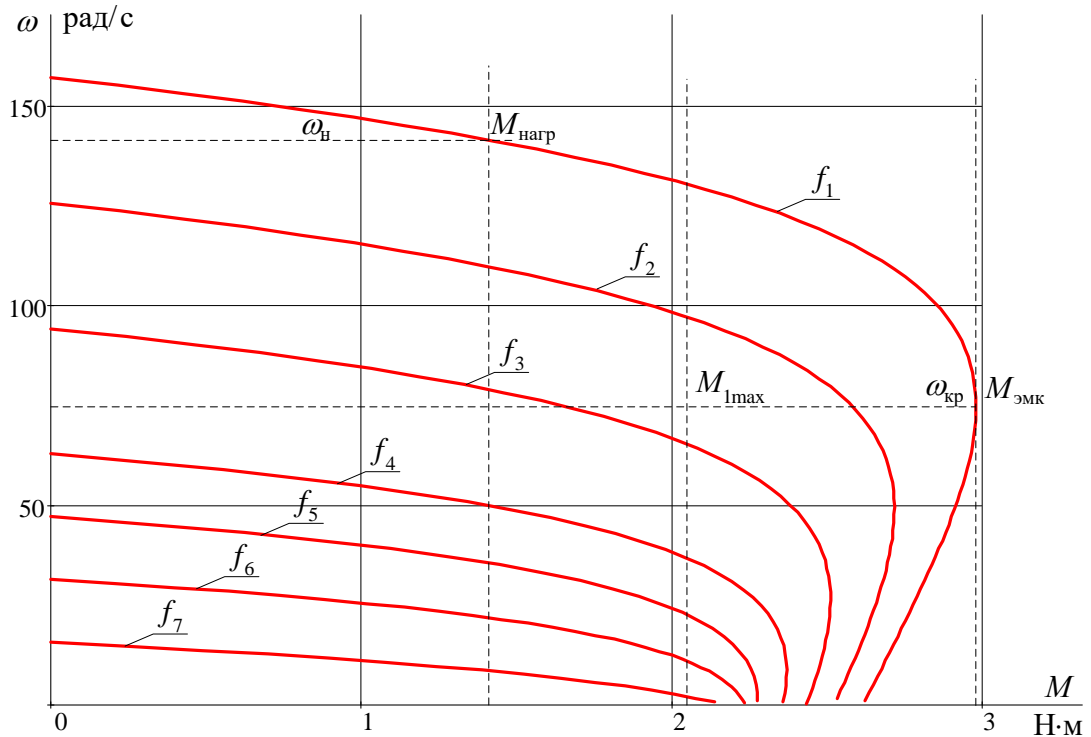


Рисунок 36 - Механические характеристики при законе регулирования

$$U / f = const \text{ с IR компенсацией}$$

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

Естественные электромеханические характеристики электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_{\text{н}} = f_{1\text{н}} = 50$ Гц по выражению:

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

$$I_2'(\omega_i) = \frac{U_{1\text{фн}} \cdot \lambda_{ui} + \Delta U_i}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\omega_0 \cdot \lambda_i - \omega_i} \right)^2 + (X_{\text{кн}} \cdot \lambda_i)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \lambda_i - \omega_i \cdot X_{\mu} \cdot \lambda_i} \right)^2}}$$

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

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

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

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики

$I_1 = f(\omega)$. Электромеханические характеристики приведены на рисунке.

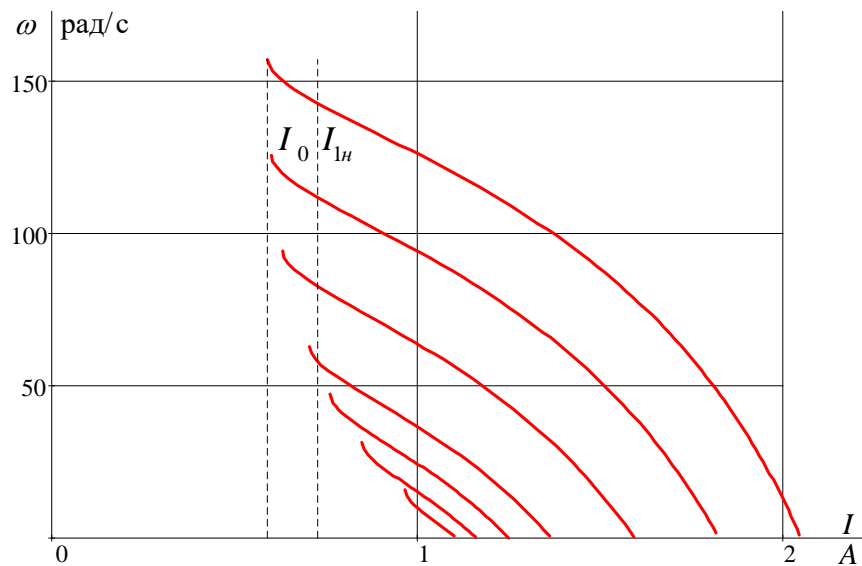


Рисунок 37 – Электромеханические характеристики при законе регулирования $U / f = const$

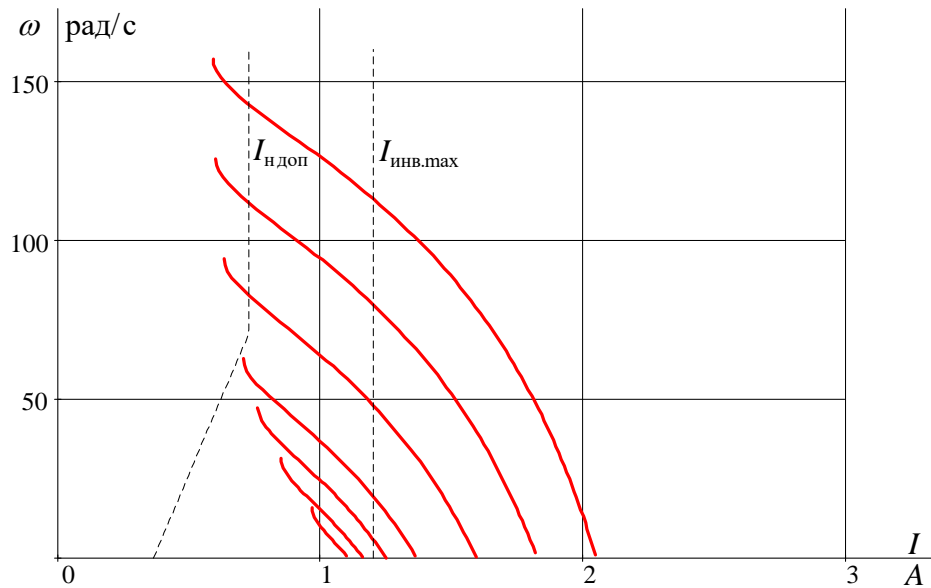


Рисунок 38 - Электромеханические характеристики при длительно допустимом и максимальном токе

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

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

5.1. Проверка адекватности расчетов параметров асинхронного двигателя АИР 56В4У

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

Индуктивность фазы обмотки статора:

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

Индуктивность фазы обмотки ротора:

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

Индуктивность цепи намагничивания:

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

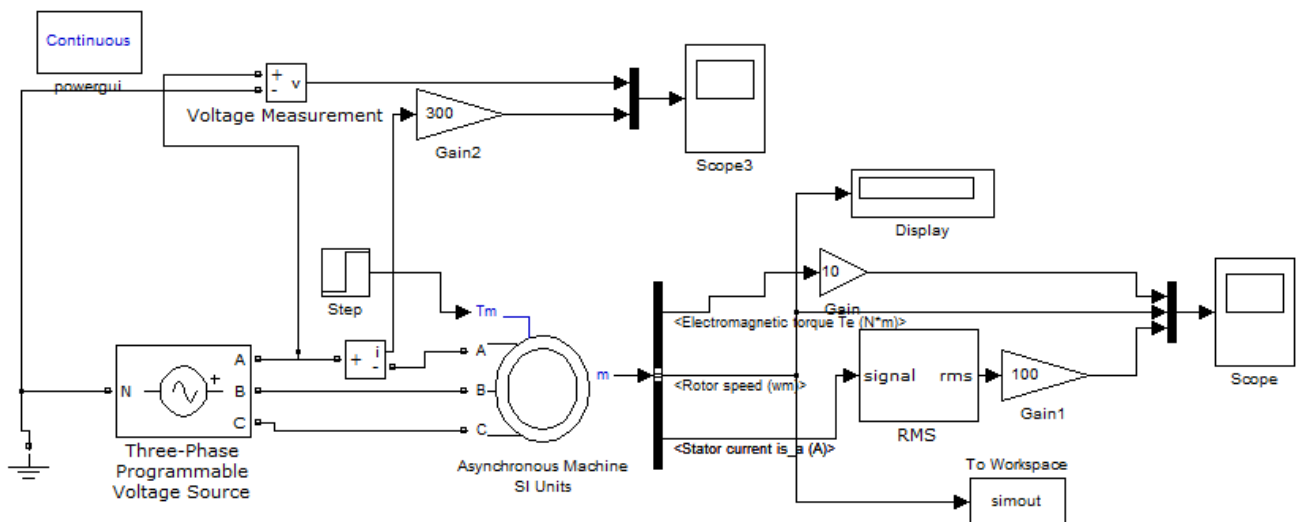


Рисунок 39 – Библиотечная модель пуска асинхронного двигателя

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

Рисунок 40 - Параметры асинхронного двигателя

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

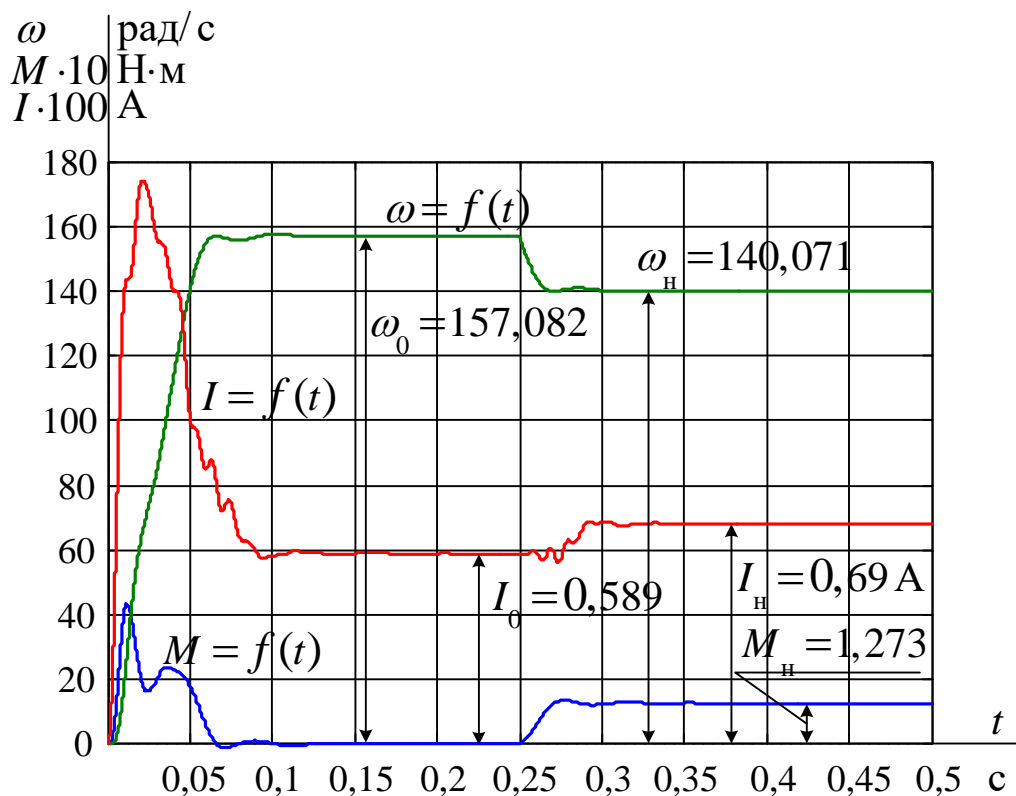


Рисунок 41 - Переходные характеристики скорости, момента и тока двигателя, при прямом пуске

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

	ω_0 , рад/с	ω , 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 α и β [15].

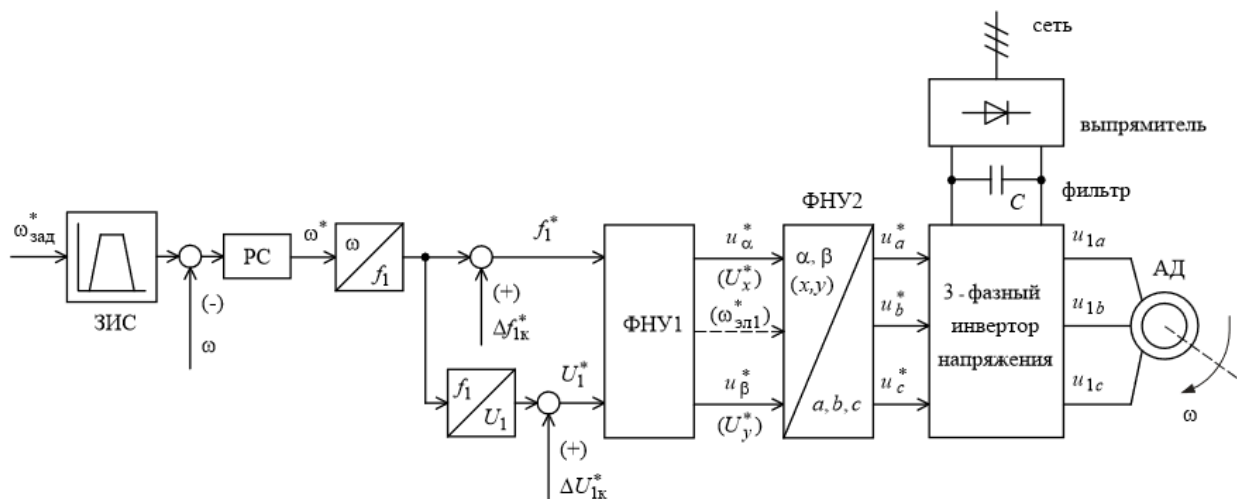


Рисунок 42 - Функциональная схема системы частотно – регулируемого асинхронного двигателя со скалярным управлением

ω - 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 α и β формирует два напряжения переменного тока u_α^* и u_β^* .

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

Δf_{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 α и β без датчика тока. В модели предусмотрены две отключаемые модели некорректируемой и корректируемой U/f вольт – частотной характеристики, IR -компенсации, s -компенсации.

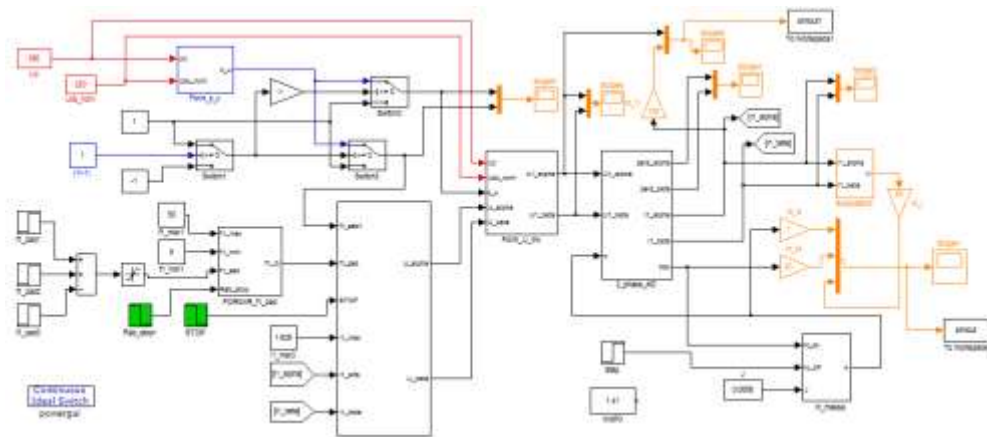


Рисунок 43– Имитационная модель частотно – регулируемого асинхронного двигателя в α , β координат

Она состоит из следующих блоков:

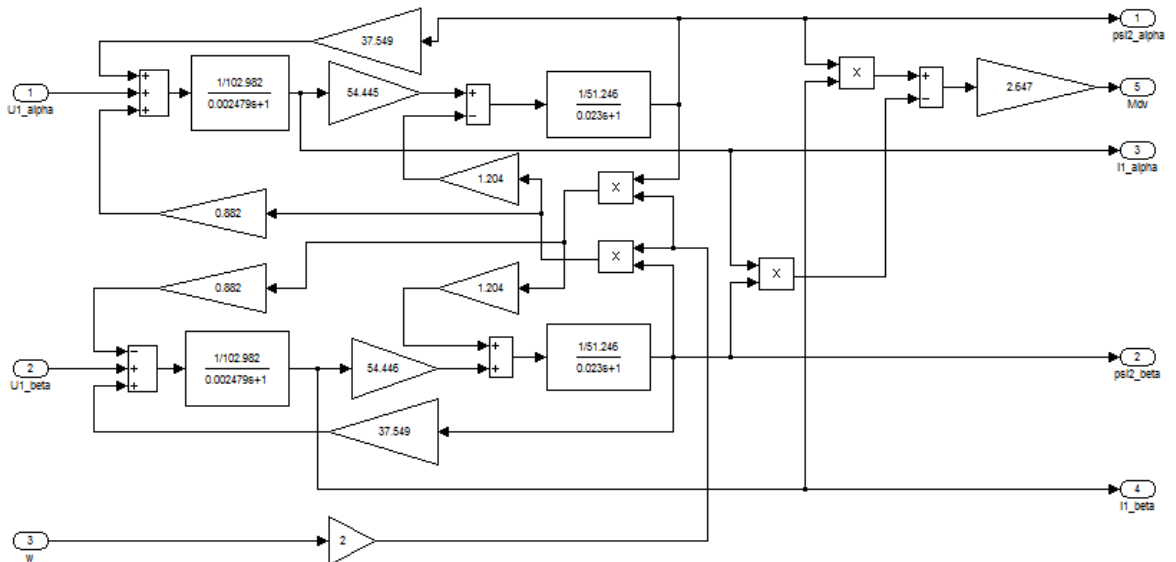


Рисунок 44 – Имитационная модель асинхронного двигателя в α , β координатах

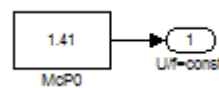


Рисунок 45 – Имитационная модель постоянной нагрузки

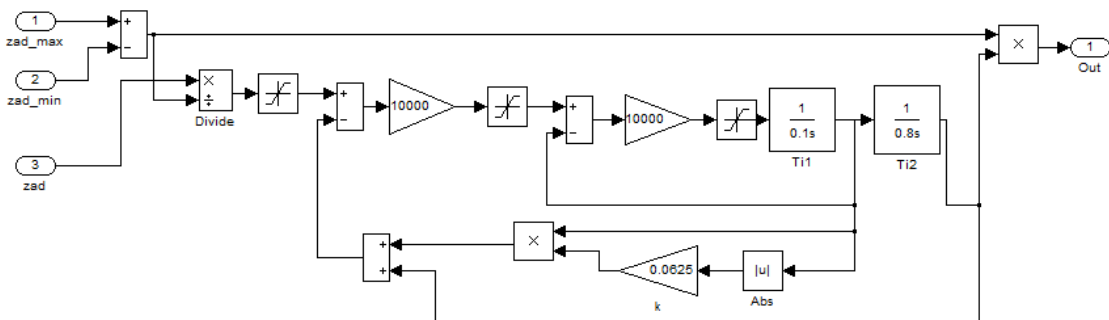


Рисунок 46 - Имитационная модель задатчика интенсивности

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

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

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

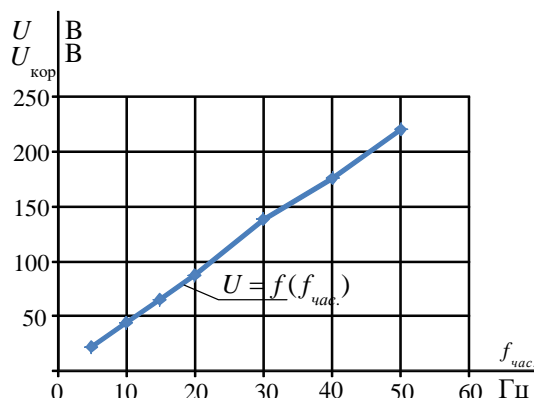


Рисунок 47 – Вольт частотная характеристика для закона U/f

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

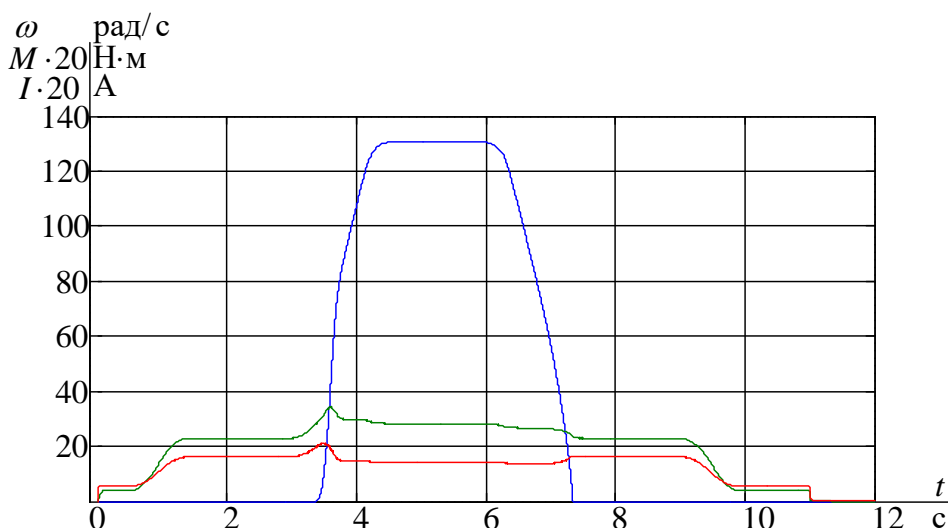


Рисунок 48 – Переходные характеристики асинхронного двигателя АИР 56В4У

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

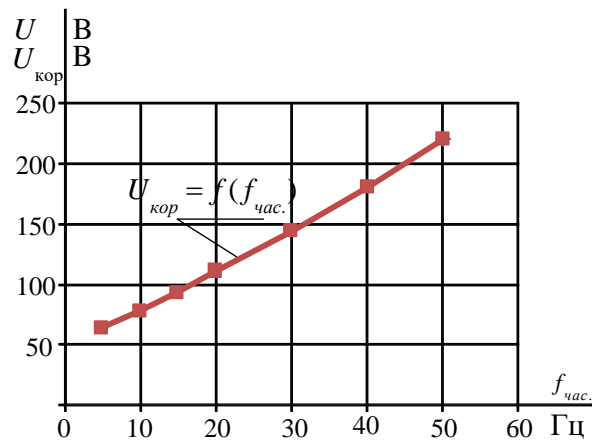


Рисунок 49 - Скорректированная вольт частотная характеристика

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

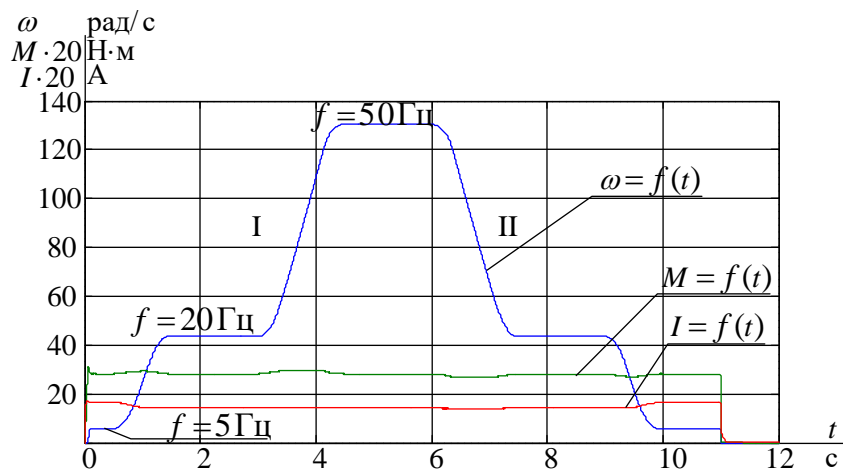


Рисунок 50 - Переходные характеристики асинхронного двигателя АИР 56В4У

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

Когда увеличивается отношение U/f , двигатель перейдёт 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].

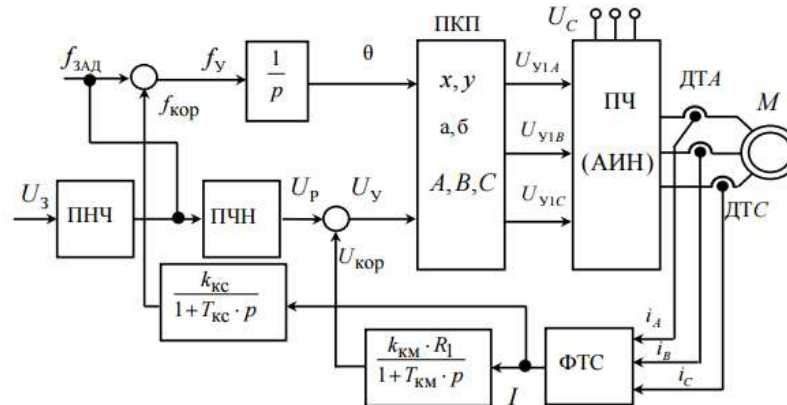


Рисунок 51 - Функциональная схема частотного управления асинхронным двигателем с компенсацией момента и скольжения

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 значениях 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.

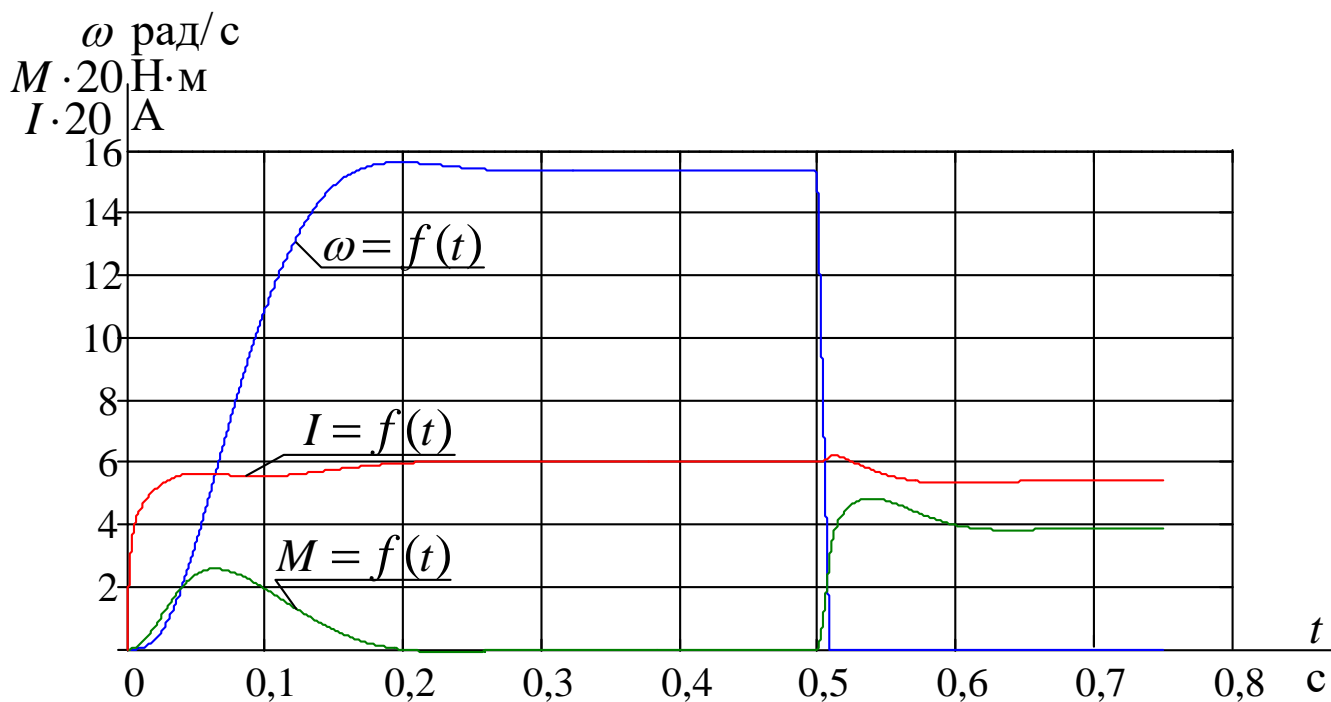


Рисунок 52–Переходные характеристики пуска двигателя на минимальную скорость с последующим набросом нагрузки

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.

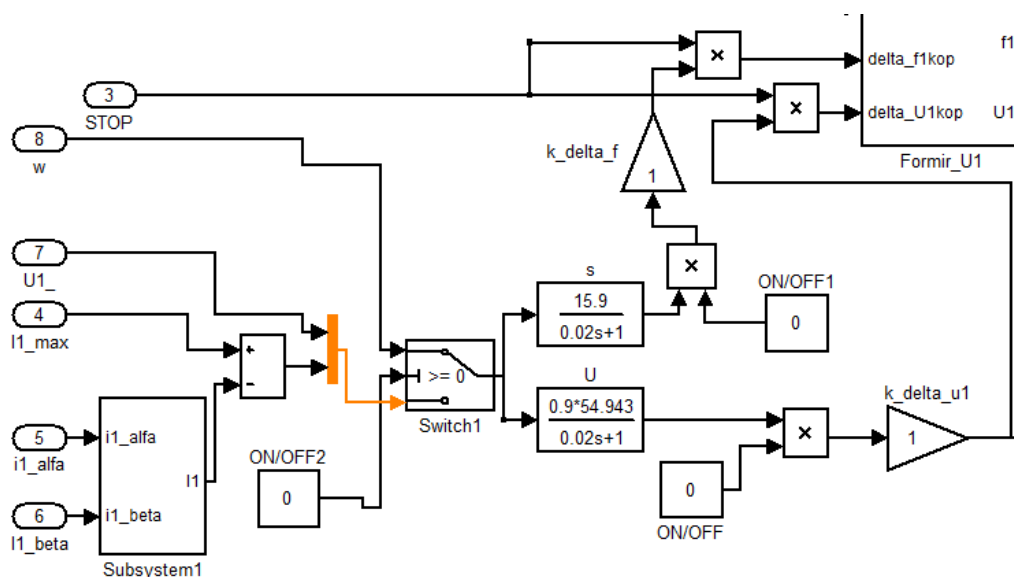


Рисунок 53 – Имитационная модель компенсации момента и скольжения

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.

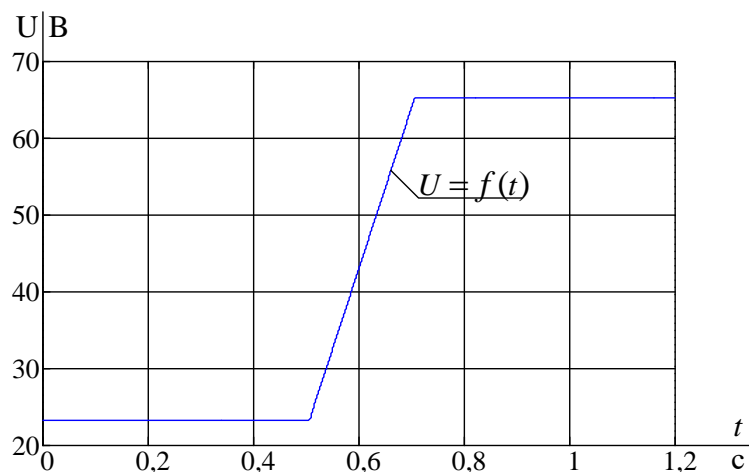


Рисунок 54 – Переходная характеристика напряжения

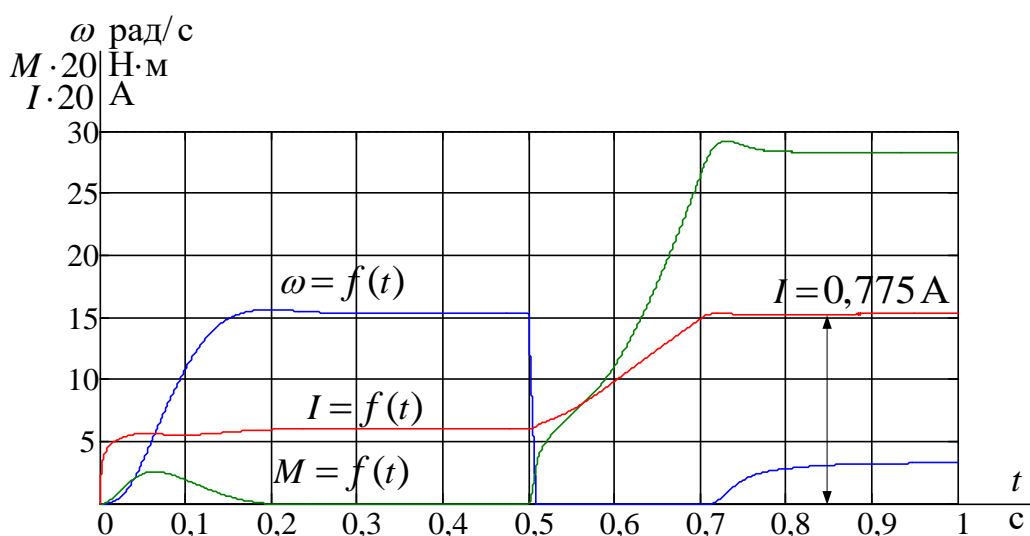


Рисунок 55 -Переходные характеристики пуска двигателя при набросе нагрузки, с IR – компенсацией

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

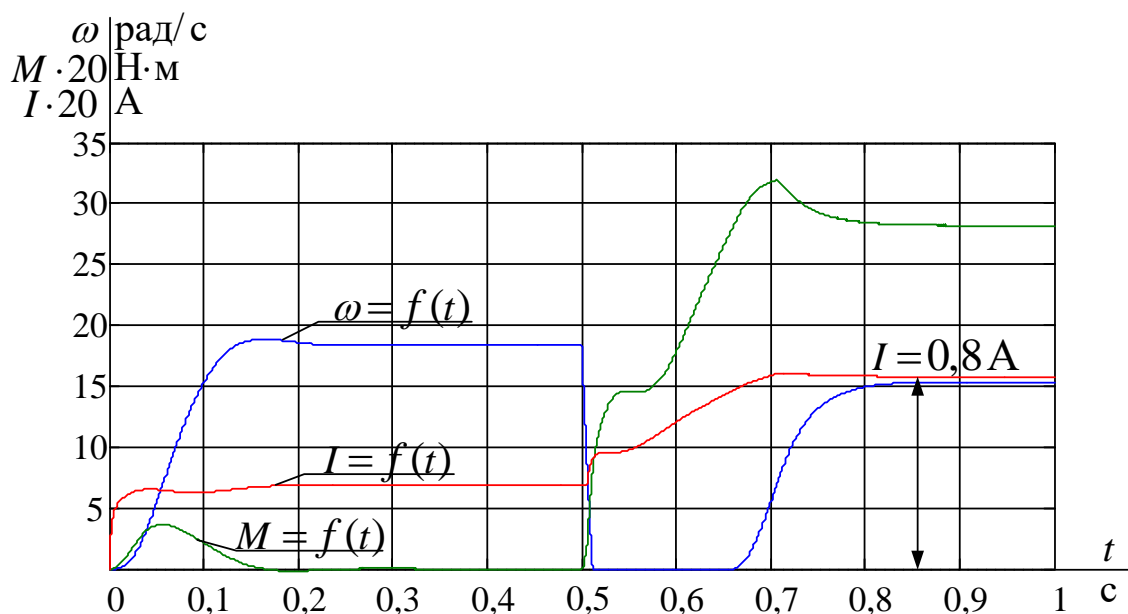


Рисунок 56 -Переходные характеристики пуска двигателя в неподвижной системе координат α, β при набросе нагрузки, с IR и s - компенсацией

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

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

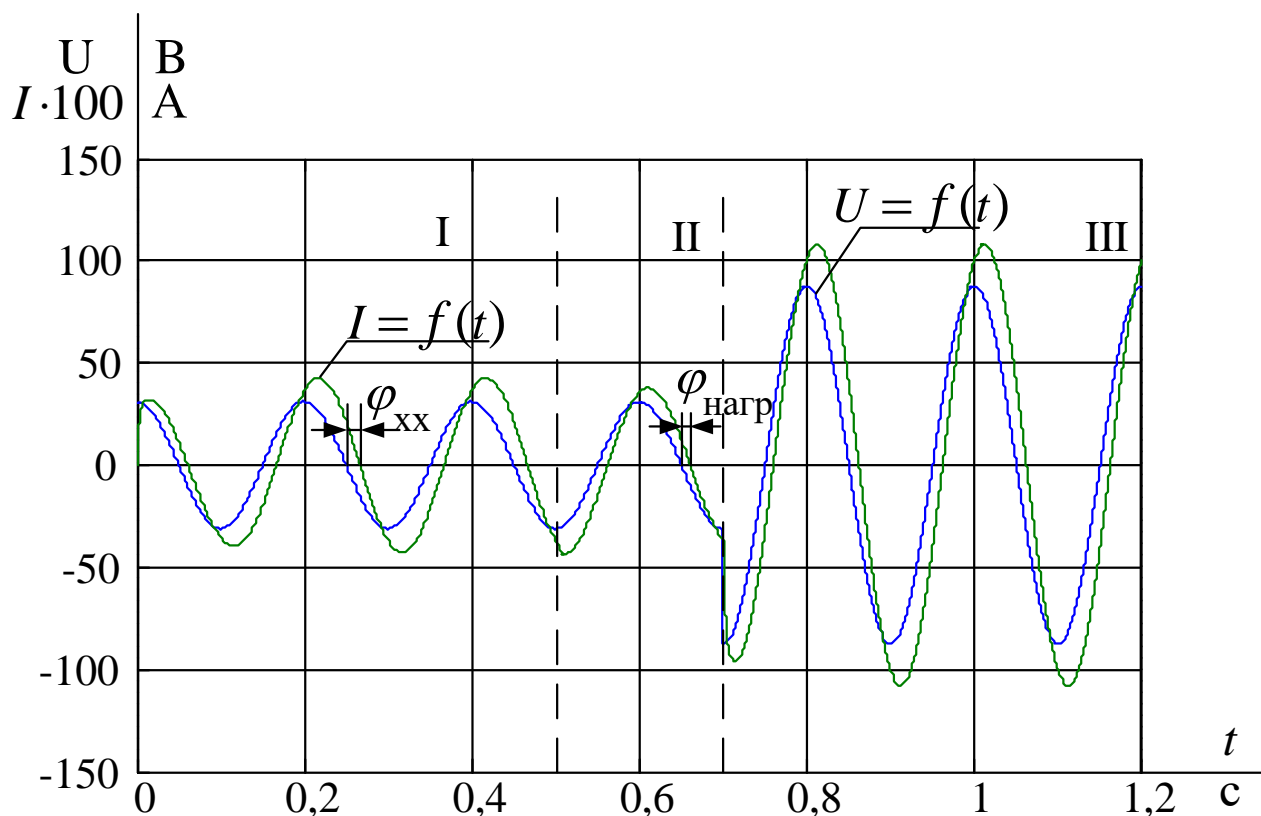


Рисунок 57 -Переходные характеристики тока и напряжения двигателя в неподвижной системе координат α, β при набросе нагрузки, с I R – компенсацией

Анализируя переходные характеристики видно, что угол между током и напряжением в режиме холостого хода $\varphi_{xx} = 30,6^\circ$ и в режиме наброса нагрузки $\varphi_{нагр} = 22,05^\circ$. Угол между током и напряжением уменьшился. Необходимо ввести компенсацию. В результате моделирования были сняты следующие характеристик рисунки 58 и рисунок 59.

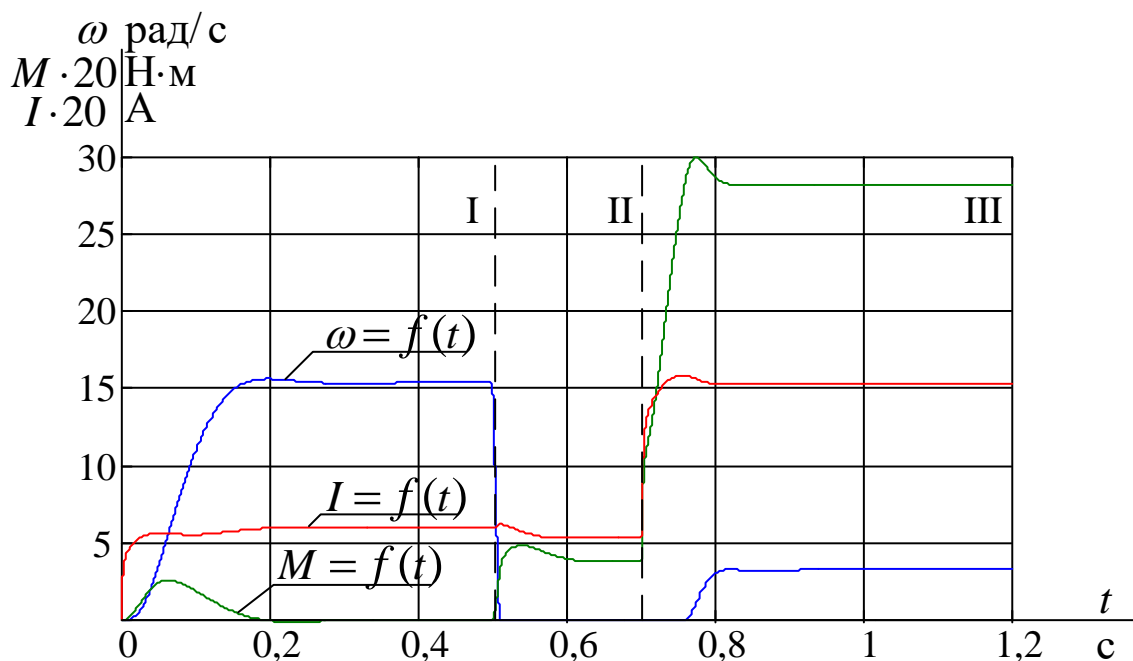


Рисунок 58 - Переходные характеристики скорости, момента и тока двигателя в неподвижной системе координат α, β при набросе нагрузки, с компенсацией по моменту (углу).

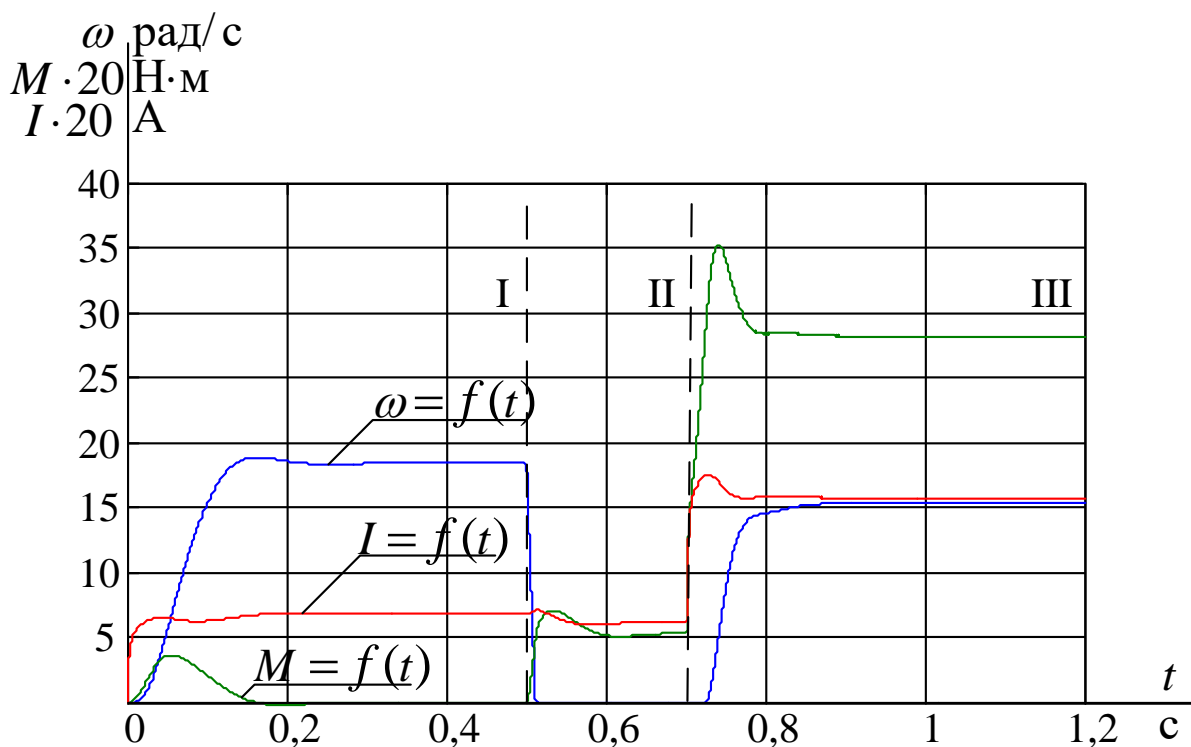


Рисунок 59 - Переходные характеристики скорости, момента и тока двигателя в неподвижной системе координат α, β при набросе нагрузки, с IR и s – компенсацией

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 «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Таштанов Эркинбек Бакытбекович

Школа	Инженерная школа энергетиков (ИШЭ)	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
<i>3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
Оценка конкурентоспособности ИР Матрица SWOT Диаграмма Ганта Бюджет НИ Основные показатели эффективности НИ	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кацук Ирина Вадимовна	К.т.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Таштанов Эркинбек Бакытбекович		

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является проектирование и создание технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе рассчитывается сумма затрат на проектирование асинхронного электроприводатрубопроводной арматуры сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы асинхронного электропривода трубопроводной арматуры;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Анализ конкурентных технических решений

SWOT-анализ асинхронного электропривода трубопроводной арматуры.

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта[1].

Применительно к проекту по разработке асинхронного электропривода трубопроводной арматуры.

SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT-анализа стоит использовать следующие обозначения: **С** – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 10

Таблица 10- Матрица SWOT-анализа технического проекта

	Сильные стороны проекта: С1. Высокое качество питающего Напряжения. С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации. С3. Квалифицированный персонал. С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования.	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышенный уровень шума. Сл2. Аварийные ситуации. Сл3. Значительная стоимость Оборудования.
Возможности: В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	B1 C1C2C3C4	B1 Сл2Сл3;
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	B2 C2C3C4	B2 Сл1Сл2
В3. Резервное питание электропривода.	B3 C1C2C3C4	B3 Сл2Сл3.
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	B4 C1C3C4	
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологии производства.	У1 C4	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки Оборудования.	У2 C4	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому и экологическому надзору.	У3 C4	У3 Сл2

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 11 и 12.

Таблица 11 – Интерактивная матрица возможностей.

Возможности	Сильные стороны проекта			
	С1. Высокое качество питающего напряжения.	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации.	С3. Квалифицированный персонал.	С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования.
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	-	+	+	+
В3. Резервное питание электропривода механизма арматурной заслонки.	+	+	+	+
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок.	+	-	-	+
Возможности	Слабые стороны проекта			
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования	
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+	
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода.	+	+	-	
В3. Резервное питание электропривода механизма арматурной заслонки.	-	+	+	
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок.	-	-	-	

Таблица 12 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта			
	С1.Высокое качество питающего напряжения	С2.Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3.Квалифицированный персонал	С4.Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
У1. Развитая конкуренции технологии производства	-	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	+
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому и экологическому надзору	-	-	+	-
Угрозы	Слабые стороны проекта			
	Сл1 Повышенный уровень шума	Сл2 Аварийные ситуации	Сл3.Значительная стоимость оборудования	
У1. Развитая конкуренция технологии производства	-	-	+	
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому и экологическому надзору	+	-	-	

По результатам интерактивных матриц, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременное ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического

процесса. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта

6.2 Планирование научно-исследовательских работ

6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение трудоемкости выполнения работ;
- установление продолжительности работ;
- разработка графика проведения технического проектирования.

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования:

№1 – разработка технического задания (ТЗ) – представляет собой изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, в том числе области применения оборудования, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – сбор исходных данных – это выбор из изученных источников электрических схем соединения; параметров двигателя; параметров частотного преобразователя.

№ 4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет естественных характеристик электродвигателя, расчет параметров схемы замещения

№5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;

№6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется

из приводного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, частотного преобразователя.

№7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой;

№8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение механических $\omega(M_{эм})$ и электромеханических $\omega(I_1)$ характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовка презентации;

№10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором студент осуществляет защиту своей работы.

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта. Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в рабочих-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости i тож используется следующая формула[1]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5},$$

(3)

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы раб.дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	3	2
2	Сбор и изучение литературы	Инженер	6	10	9
3	Сбор исходных данных	Инженер	6	9	8
4	Подготовка для ввода в базу	Инженер	6	13	12
5	Отладка данных и проведение расчетов	Инженер	9	12	11
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Инженер	2	10	8
7	Расчёт и проверка модели АД	Инженер	12	16	12
		Руководитель	1	1	1
8	Расчет и проверка АД-ПЧ	Инженер	12	14	13
		Руководитель	1	3	2
9	Оформление пояснительной записки	Инженер	5	19	12
10	Сдача проекта	Инженер	1	1	1
		Руководитель	1	1	1

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 7 дней, инженер 86 дней, 15 выходных дней и 4 праздничных дня, общее количество 112 дней.

№	Вид работ	Исп-ли	T_{pi} раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	—												
2	Сбор и изучение литературы	Инженер	9	—	—											
3	Сбор исходных данных	Инженер	8		—											
4	Подготовка для ввода в базу	Инженер	12			—	—									
5	Отладка данных и проведение расчетов	Инженер	11					—	—							
		Руководитель	1						—							
6	Выбор оборудования	Инженер	8							—						
7	Расчёт и проверка модели АД	Инженер	12							—	—					
		Руководитель	1								—					
8	Расчет и проверка АД-ПЧ	Инженер	13									—	—			
		Руководитель	2										—			
9	Оформление пояснительной записки	Инженер	12										—	—		
10	Сдача проекта	Руководитель	1												—	
		Инженер	1												—	

6.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

6.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле: [1]

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} , \quad (7)$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ООО «Папирус», ТД „Канцелярский мир”.

Привлечение сторонней организации „Net Café” для типографических работ приведена в таблице 15.

Таблица 15 - Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы руб.
Бумага	1	300	300
Ручка	1	12	12
Брошюровка	1	25	25
USB накопитель	1	450	450
Калькулятор	1	350	350
Линейка	1	40	40
Распечатка файлов	200	2	400
Мультифора	2	5	10
Итого			1587

6.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ - Asus. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Таблица 16 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	3	30	30
Итого		30 тыс. руб.			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 30000}{12} \cdot 3 = 2475 \text{ руб.}$$

6.2.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В этом разделе рассчитывается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя

из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Полная заработная плата рассчитывается по формуле[1]:

$$Z_{\text{полн}}=Z_{\text{осн}}+Z_{\text{доп}}, \quad (8)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле[1]:

$$Z_{\text{осн}}=Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле[1]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}}+Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}}, \quad (10)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$ – доплата с учетом районного коэффициента (30 %), руб.;

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6 – дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Расчёт основной заработной платы исполнителей.

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во дней	Основная заработная плата руб.
Руководитель	33 664	10 099	43 763	1683	7	11 782
Инженер	12 300	3 690	15 990	615	86	54 120
Итого:					93	64 672

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной.

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет дополнительной и полной заработной платы.

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	11 782	1 767	13 549
Инженер	0,12	54 120	6 494	60 614
Итого		65 902	8 261	74 163

6.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются: обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам, органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС), страхование от несчастных случаев; от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды,

$k_{\text{внеб}} = 30,2 \%$ в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 74\ 163 = 22\ 397 \text{ руб.}$$

6.2.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: оплата услуг телефонной связи, интернет и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

6.2.3.6 Формирование бюджета технического проекта

Расчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. Определение затрат на технический проект приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Смета технического проекта.

Наименование статьи	Сумма тыс. руб.	Структура затрат %
Материальные затраты ТП	1,600	1,3
Амортизация оборудования	2,475	
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	74,163	63,5
Отчисления во внебюджетные фонды	22,397	19,2
Накладные расходы	16,1016	16,0
Итого	261,651	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 19, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 116 тыс.руб. Большая часть (63%) составляют затраты на заработную плату исполнителей

6.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности[1]:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i, \quad (16)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию асинхронного электропривода трубопроводной арматуры рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

Надежность электропривода механизма арматурной заслонки – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях атмосферы с содержанием агрессивных реагентов, не стабильным напряжением и высокой влажностью). Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе

Энергосбережение электропривода механизма арматурной заслонки – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

Материалоемкость электропривода механизма арматурной заслонки – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме.

Производительность механизма арматурной заслонки – должна обеспечивать быстрое перекрытие трубопровода в не зависимости от напора протекающей в нем жидкости или газа.

Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа электропривода. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется в отсутствие большого количества резьбовых соединений, в данной конструкции используются мультиконтактные силовые разъёмы.

Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,20	5
Материалоемкость	0,15	4
Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
Простота и удобство в эксплуатации	0,10	4
Итого:	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi}=5*0,25+5*0,2+4*0,15+4*0,15+5*0,15+4*0,1=4,6$$

С точки зрения коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта отметим следующее:

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы. В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы: - произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. - составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей.

- Рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 261,651 тыс.руб. - определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Таштанову Эркинбеку Бакытбековичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.04.02.Электротехника и Электроэнергетика

Тема ВКР:

Асинхронный электропривод трубопроводной арматуры	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Асинхронный электропривод трубопроводной арматуры предназначен для автоматизации и механизации трубопроводной арматуры.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организованные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны)	- ГОСТ 12.0.003-2015 - СанПиН 2.2.4.548–96 - ГОСТ 12. 1.003-2014 ССБТ - ГОСТ 12. 1.019-2017 ССБТ - ГОСТ 12.1.012 – 2004 - СН 2.2.4/2.1.8.562-96 - ГОСТ 12.2.003-91 - ГОСТ 22269-76 Госты все действующие и актуальны
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	- Превышение уровня шума - Превышение уровня вибрации - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - Подвижные части производственного оборудования - Отклонение показателей микроклимата
3. Экологическая безопасность:	- Выбросы химических веществ в атмосферу, гидросферу и литосферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: Землетрясение Типичная ЧС: Пожар

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Таштанов Эркинбек Бакытбекович		

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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

В данной работе рассмотрен асинхронный электропривод трубопроводной арматуры. Целью работы является разработка асинхронного электропривода трубопроводной арматуры, который предназначен для автоматизации и механизации трубопроводной арматуры. В работе рассчитаны характеристики асинхронного электропривода трубопроводной арматуры, а также подобраны соответствующие комплектующие обеспечивающие бесперебойную работу электропривода.

Применение для управления запорной трубопроводной арматуры асинхронного ЭП позволяет обеспечить дистанционный контроль и удовлетворить требования эксплуатации ЭП во взрывоопасной зоне.

Основным методом исследования является имитационное моделирование на ПК с последующим анализом полученных результатов.

При эксплуатации асинхронного электропривода трубопроводной арматуры можно столкнуться со множеством опасных работ, с риском получения вреда здоровью человека. Рассмотрим подробнее возможные опасности.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В соответствии со ст. 212 ТК РФ работодатель обязан обеспечить:

- недопущение работников к исполнению ими трудовых обязанностей без прохождения обязательных медицинских осмотров, обязательных психиатрических освидетельствований, а также в случае медицинских противопоказаний;

- обязательное социальное страхование работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

- ознакомление работников с требованиями охраны труда;

- наличие комплекта нормативных правовых актов, содержащих требования охраны труда в соответствии со спецификой своей деятельности.

В соответствии со ст. 147 ТК РФ, оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере.

В соответствии со ст. 214 рабочий обязан:

- немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, происшедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе о проявлении признаков острого профессионального заболевания (отравления);

- проходить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) медицинские осмотры, другие обязательные медицинские осмотры, а также проходить внеочередные медицинские осмотры по направлению работодателя в случаях, предусмотренных настоящим Кодексом и иными федеральными законами.

7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Поскольку электропривод имеет механическую, либо автоматизированную систему управления в которой имеются средства управления в виде штурвалов (рычагов) необходимо рассмотреть соответствующие требования к ним. Управление электроприводом может осуществляться как сидя, так и стоя.

В соответствии с ГОСТ 22269-76 [1] при размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования:

- 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 электроприводом должен отвечать общим эргономическим требованиям.

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.

7.2 Производственная безопасность

В этом пункте необходимо оценить влияние вредных и опасных факторов, возникающих при эксплуатации разрабатываемого асинхронного электропривода трубопроводной арматуры.

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [2] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» .

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы 21.

Таблица 21 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо- тка	Изготов- ление	Эксплуа- тация	
1. Превышение уровня шума	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности.» [3]
2. Превышение уровня вибрации		+	+	
3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. [4] ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ.
4. Подвижные части производственного оборудования	+	+	+	Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [5] ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [6]
5. Отклонение показателей микроклимата		+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [7]

7.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

1. Превышение уровня 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 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [8] 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. 22.

Таблица 22 - Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест.

№ п п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентны е уровни звуча (в дБА)
		31, 5	6 3	12 5	25 0	50 0	100 0	200 0	400 0	800 0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственн ых помещениях и на территории предприятий.	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Чтобы обеспечить безопасную рабочую зону необходимо использовать индивидуальные средства защиты

К средствам индивидуальной защиты относятся:

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

2. 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.

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [9] 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.

Для осуществления безопасной деятельности рабочего необходимо, чтобы уровень вибрации не превышал значений, приведенных в табл. 23 по СН 2.2.4/2.1.8.566.-96 [9]. Пункт 6.1, таблица 3.

Таблица 23 – Предельно допустимые значения виброускорения и виброскорости

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X,Y,Z			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с	дБ	м/с·10	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109

К средствам защиты от повышенного уровня вибрации относятся устройства: оградительные; виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие; автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления.

К мероприятиям по защите от вредного воздействия вибрации относят установку демпфирующих элементов под оборудование или кресла рабочего.

3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

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

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ [5] пункт 1.3 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.

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.

К 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.

4. Подвижные части производственного оборудования

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

В соответствии с ГОСТ 12.2.003-91 [6], конструкция производственного оборудования должна исключать самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей, а также исключать перемещение подвижных частей за пределы, предусмотренные конструкцией, если это может повлечь за собой создание опасной ситуации.

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

Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикосновения 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.

5. Отклонение показателей микроклимата

При проведении работ происходит выделение диоксида углерода, паров влаги и тепла от работника. Также следует учесть условия солнечной инсоляции, которые в летнее время года приводят к избыточному теплу, особенно в летнее время года, а при проведении работ в зимнее время, напротив, возможен недостаток тепла.

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха на рабочем месте должны соответствовать для категорий работ средней тяжести Па и Пб значениям, указанным в табл.24. СанПиН 2.2.4.548–96 [8] пункт 5.3, таблица 1.

Таблица 24 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Па (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	Пб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
Теплый	Па (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	Пб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2

А допустимые нормы микроклимата представлены в СанПиН 2.2.4.548–96 [8] пункт 6.3.

Таблица 25 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С ⁰	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/сек	Температура поверхностей, С ⁰
		Допустим. Значение	Допустим. Значение	Допустим. Значение	Допустим. Значение
1	2	3	4	5	6
холод	Средней тяжести Па	15,0-22,0	15-75	0,2	14,0 – 23,0
тепл	Средней тяжести Пб	16,0-27,0	15-75	0,2	15,0 - 28,0

Отклонение условий микроклимата может привести к резкому снижению работоспособности и даже к профессиональным заболеваниям.

Для того, чтобы защитить организм рабочего от неблагоприятного воздействия параметров микроклимата, необходимо наличие в кабине крановщика специальных терморегулирующих приборов, в зимнее время необходимо дополнительно установить утеплители.

7.3 Экологическая безопасность

Негативным влиянием на литосферу выброс вредных веществ при потреблении электроэнергии во время работы двигателя. К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электрическую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов электроустановок и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и в защиту атмосферы от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект. Для уменьшения потребления электроэнергии возможен вариант применения двигателя меньшей мощности с более высоким КПД. Влияния на гидросферу и литосферу использование электродвигателя не оказывает.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном разделе рассмотрены возможные и типичные чрезвычайные ситуации, такие как землетрясения и пожар.

Землетрясения возникают при смещении горных плит, это явление очень опасно для персонала и оборудования, поскольку с ростом силы толчков возникают трещины в стенах, на стыках блоков и панелей, затем трещины в каркасе и отрыв панелей, и наконец, частичное обрушение и обвал. Падающие части стены производственного помещения при этом могут нанести ущерб оборудованию и персоналу. Поскольку случаи землетрясения в большинстве случаев предупредить невозможно, необходимо соблюдать правила безопасности при возникновении данного типа ЧС:

- При возникновении землетрясения необходимо выключить работающее оборудование, если это возможно сделать быстро, и покинуть производственное помещение;
- Покидая производственное помещение необходимо использовать лестницу, но не лифт;
- Оказавшись на улице необходимо отойти на безопасное расстояние от производственного помещения;
- По окончании землетрясения необходимо оказать первую медицинскую помощь пострадавшим.

Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляции обмоток, различных электромагнитов (контакторы, 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.

Выводы по разделу

В процессе анализа вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации асинхронного электропривода трубопроводной арматуры, были выявлены возможные чрезвычайные ситуации, а также меры по их устранению. Результаты исследования, проведенные в рассматриваемом разделе, могут быть использованы в реальных условиях эксплуатации асинхронного электропривода трубопроводной арматуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной 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 разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

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 $U - f$ 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 (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/ (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_lekciy.pdf (дата обращения 07.04.2017);
8. Золотниковые клапаны rocku серии trpc [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/ (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 (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 (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. ФИНАСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Издательство Томского политехнического университета 2014, 36 стр.

24. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.

25. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Техно-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

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

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

28. 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;

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

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

- 31.ФЗ №123 от 22.07.2008г. "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности";
- 32.РД 03-29-93 «Методические указания по проведению технологического освидетельствования сосудов работающих под давлением»;
- 33.ГОСТ 12. 1. 012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования;
- 34.ГОСТ 22269-76 - Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
- 35.ГОСТ 12.1.003 - 2014. ССБТ. - Шум. Общие требования безопасности.
- 36.ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
- 37.СН 2.2.4/2.1.8.566 - 96 - Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
- 38.СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.