

Школа ИШЭ
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение школы (НОЦ) электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно регулируемый электропривод насоса в водозаборном узле

УДК 62-83-52:628.12

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Брага Никита Петрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Александр Юрьевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютева Полина Васильевна	к.т.н.		

Результаты обучения по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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>

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

Школа ИШЭ
 Направление подготовки (специальность) 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение школы (НОЦ) электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Тютева П.В.
 (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
5А6К	Браге Никите Петровичу

Тема работы:

Частотно регулируемый электропривод насоса в водозаборном узле	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	89-78/с 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – частотно-регулируемый асинхронный электропривод насосной станции.</p> <ul style="list-style-type: none"> • частота квантования в цифровом контуре давления не менее 200 Гц; • диапазон регулирования частоты вращения – не менее $D_{\omega} = 10$; • минимальная погрешность датчика давления не более 1%; • подача насоса – 300 м³/час; • количество хозяйственно-питьевых насосов – 3 шт.; • датчик установить на выходе насосной станции; • на основании расчета выбрать
---	--

	<p>электропривод;</p> <ul style="list-style-type: none"> параметры питающей сети: $U_{л}= 380В$, $f_c = 50Гц$.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Обзор схем управления и способов регулирования электропривода. Расчет параметров системы управления насоса. Моделирование в среде MatLab. Социальная ответственность. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Структурная схема водозаборного узла; Функциональная схема насосной станции; Имитационная модель автоматической системы регулирования давления в водозаборном узле в среде Matlab Simulink; Переходные характеристики давления, скорости ротора, токов статора и электромагнитного момента АД; Технико-экономические показатели.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора Игнат Валерьевич
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	28.02.2020
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Александр Юрьевич	к.т.н.		28.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Брага Никита Петрович		28.02.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Браге Никите Петровичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Частотно регулируемый электропривод насосов в водозаборном узле	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования	Территория насосного цеха с главным объектом рассмотрения исследования – регулируемый электропривод насосов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны;	Р 2.2.2006–05; ГОСТ 21889–76; СН 2.2.4/2.1.8.566–96; ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ; СП 51.13330.2011; СанПиН 2.2.4/2.1.8.562–96; СП 52.13330.2016; СанПиН 2.2.4.548–96; СП 60.13330.2012; ПУЭ; ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ; ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ; ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ; Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ; ГОСТ 12.1.004-91; ГОСТ Р 57703-2017; ТК РФ Статья 92; ТК РФ Статья 93; ТК РФ Статья 96; ТК РФ Статья 108; ТК РФ Статья 113; ТК РФ Статья 122;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов; 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия;	Возможные вредные факторы: – Превышение уровня шума и вибрации; – Отсутствие или недостаток освещения; – Отклонение показателей микроклимата. Возможные опасные факторы: – Электропоражение.
3. Экологическая безопасность:	– Влияние на атмосферу: естественные выделения; пары воды; летучие органические соединения; ЛОС (альдегиды, кетоны); азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели, оборудования и др. – Влияние на гидросферу и литосферу: использования душевых и туалетных комнат, рукомойников; после проведения влажной уборки помещений; замены охлаждающих и рабочих жидкостей оборудования; обтирочные материалы; бытовой мусор (бумага, пищевые отходы);

	отработанные лампы; вышедшее из строя оборудование и инструменты, не подлежащее восстановлению.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях(ЧС):	Возможные ЧС: – Пожар; – Землетрясение; – Наводнение; Типичная чрезвычайная ситуация: возгорание(пожар).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			26.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Брага Н.П.		26.02.2020

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Брага Никита Петрович

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Затраты на оборудование определяются согласно стоимости оборудования по прейскурантам. Зарботная плата определяется исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион.
2. Используемая система налогообложения	Отчисления во внебюджетные страховые фонды.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Потенциал и перспективность реализации проекта оценивается путем сравнения возможных вариантов осуществления проекта, ресурсоэффективность – интегральной оценкой ресурсоэффективности.
2. Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта	Используя оценку трудоемкости работ для каждого исполнителя, определяется полное время на выполнение работы.
3. Составление сметы технического проекта	Составление сметы проводится используя группировки затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> – затраты на оборудование; – полная зарботная плата исполнителей; – отчисления во внебюджетные страховые фонды; – накладные расходы.

Перечень графического материала:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Матрица SWOT 2. График проведения и бюджет НИ 3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ 	
---	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		28.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Брага Н.П.		28.02.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 98 с., 58 рисунков, 28 таблиц, 39 источников.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, скалярное управление, насосная станция, регулирование давления, цифровой датчик, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, преобразователь частоты.

Объект исследования – частотно-регулируемый асинхронный электропривод насосной станции.

Цель работы – разработать систему автоматического управления давлением насоса в водозаборном узле.

В результате работы разработана система автоматического управления давлением насоса в водозаборном узле.

Достигнуто поддержание давления на уровне 4 атмосферы.

Выпускная квалификационная работа оформлена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	11
1 Структура ЗАО «Водоканал» города Новокузнецка	13
1.1 Основные направления деятельности.....	13
1.2 Технология водоснабжения.....	15
2 Системы управления и способы регулирования работы электропривода	18
2.1 Системы управления.....	18
2.2 Способы регулирования и механические характеристики.....	20
2.3 Требования к электроприводу насосов.....	23
3 Расчет параметров систем управления насосом	26
3.1 Обзор системы управления.....	26
3.2 Выбор электродвигателя и расчеты силовой части.....	35
3.3 Выбор преобразователя.....	41
3.4 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристики.....	43
3.5 Расчет и построение искусственных механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель».....	47
3.6 Расчет потерь в асинхронном двигателе (работа на искусственных характеристиках).....	50
4 Моделирование в среде MatLab Simulink	54
4.1 Расчет переходных процессов скорости и момента.....	54
4.2 Силовой канал электропривода. Структурная схема силового канала.....	56
4.3 Расчет системы «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель» с IR-компенсацией.....	59
4.4 Расчет переходных процессов скорости и момента для пуска, сброса и наброса нагрузки на валу двигателя замкнутой системы «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель».....	65
4.5 Синтез регулятора давления.....	69
5 Социальная ответственность	76
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	76
5.2 Производственная безопасность.....	78
5.3 Анализ выявленных вредных и опасных факторов. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия на работника.....	79
5.4 Экологическая безопасность.....	82
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	84
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	86
6.1 Выбор и обоснование структурной схемы электропривода.....	86
6.2 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ).....	88
6.3 Планирование проекта.....	89
6.4 Расчеты сметы затрат на проект.....	93
6.5 Расчет капиталовложений на реализацию проекта.....	95
6.6 Расчет расходов при эксплуатации электропривода.....	96
6.7 Оценка производственной эффективности.....	99
Заключение	101
Перечень использованных источников	102

ВВЕДЕНИЕ

В связи с все более высокими требованиями постоянства подачи воды к потребителям, водоканалы сталкиваются с одной острой проблемой: автоматизация на предприятиях такого рода довольно низкая. Этот факт можно объяснить весьма скудным финансированием, но как мы выясним далее, высокий уровень автоматизации на предприятиях, таких как водоканал, просто необходима в наше время. В первую очередь это необходимо для качественного управления забора воды и ее перекачке, так как эта операция сможет понизить количество использованной на это энергии, что в свою очередь обеспечит экономию не только лишь энергетических ресурсов, но и финансовых.

Насосная установка – это совокупность различных устройств и агрегатов, правильная и отлаженная работа которых, позволяет осуществлять добычу и транспортировку разного рода жидкостей, от добытчика до потребителя, по средствам трубопроводных коммуникаций. В состав такой установки входят: насос, привод приводящий в действие насос и трубопроводы (всасывающий и напорный). В качестве насосов, используются самые распространенные динамические гидравлические агрегаты – это центробежные насосы общего назначения. Применяются они из за простоты своей конструкции и способности перекачки воды температурой 85 °С.

Для приведение в действие центробежных насосов используют электродвигатели переменного тока. Они получили широкое распространение в связи с явными достоинствами при эксплуатации, а именно: надежность и простота конструкции, компактность и беспроблемная связка с турбомеханизмом, несложной автоматизацией и низкой степени затрат на эксплуатацию. Так же есть и отрицательный момент, асинхронные электродвигатели нагружают электросеть намагничивающим током ($\cos\varphi < 1$). Если рассмотреть в данном вопросе синхронные двигатели, то выясним, что у данного типа двигателей $\cos\varphi \geq 1$. Из этого можем сделать вывод, что данный

факт улучшает коэффициент мощности сети, а так же позволяет сэкономить электроэнергию. Но как не странно, у синхронных электродвигателей так же есть недостатки: довольно внушительная масса и размер, это вызвано особенностью конструкции системы возбуждения.

Выбирают электродвигатель по таким параметрам как: мощность, частота вращения, рабочее положение (вертикальное, горизонтальное), напряжение и вид исполнения.

В данной выпускной квалификационной работе спроектирована и разработана система автоматического регулирования давления насосной установке в водозаборном узле.

1 СТРУКТУРА ЗАО «ВОДОКАНАЛ» ГОРОДА НОВОКУЗНЕЦКА

ЗАО «Водоканал» г. Новокузнецка – это огромное предприятие, которое производит питьевую воду и состоит из 6 водозаборов, объемы перекаченной, за год работы, воды приравнивается к объему озера Байкал. Этот завод может похвастаться внушительными цифрами, а именно: более 1000 км водопроводных и 600 км канализационных сетей, больше 100 насосных станций на территории, которые работают круглосуточно, а также предприятие имеет самые крупные очистные сооружения канализации в области.

Для того чтобы поддерживать такое огромное хозяйство в должном состоянии, созданы условия для освоения новых технологий, которые позволяют предотвратить или ликвидировать аварии в кратчайшие сроки без остановки производственного процесса.

1.1 Основные направления деятельности.

ЗАО «Водоканал» является одним из значимых предприятий города, как для промышленности, так и для жилого сектора. Это обусловлено значимостью основных услуг организации, оказываемых населению - водоснабжение и водоотведение.

Главные задачи предприятия - бесперебойное обеспечение потребителей требуемым количеством холодной воды, а также своевременное водоотведение. Наряду с этим производится контроль за качеством подаваемой воды и степенью очистки канализационных стоков с помощью специальных устройств: гигроскопов, спектрографов, хроматографов.

Функционально ЗАО «Водоканал» делится на три составляющие: подразделения водозаборов (рисунок 1) или цехов водоснабжения, подразделения очистных сооружений и канализаций, и административно-управленческая служба. Водозабор - это комплекс инженерных сооружений, который служит для забора воды из источника, её очистки и транспортировки до потребителя по трубопроводам и водоводам.

Задачами цехов водоснабжения является: бесперебойное снабжение потребителей требуемым количеством воды, обеспечение наименьших затрат на её транспортировку; выбор и использование источников достаточной мощности, чтобы получение из них воды не ухудшало на экономику предприятия; обеспечение качества воды, подаваемой потребителям в соответствии со стандартами, регламентирующие её осветление, обесцвечивание, устранение запахов и привкусов, обеззараживание.

Очистные сооружения - это комплекс инженерных сооружений, который служит для сбора и перекачки, очистки, дезинфекции и в конечном итоге выдачи в водоемы или в почву сточных вод. Основными задачами очистных сооружений и канализационных систем являются: уменьшение воздействия отходов на окружающую среду; сбор сточных и фекальных вод через канализационно-насосные станции, транспортировка их по сетям и коллекторам на очистные сооружения канализации; очистка сточных вод, выпуск в водоемы или почву.

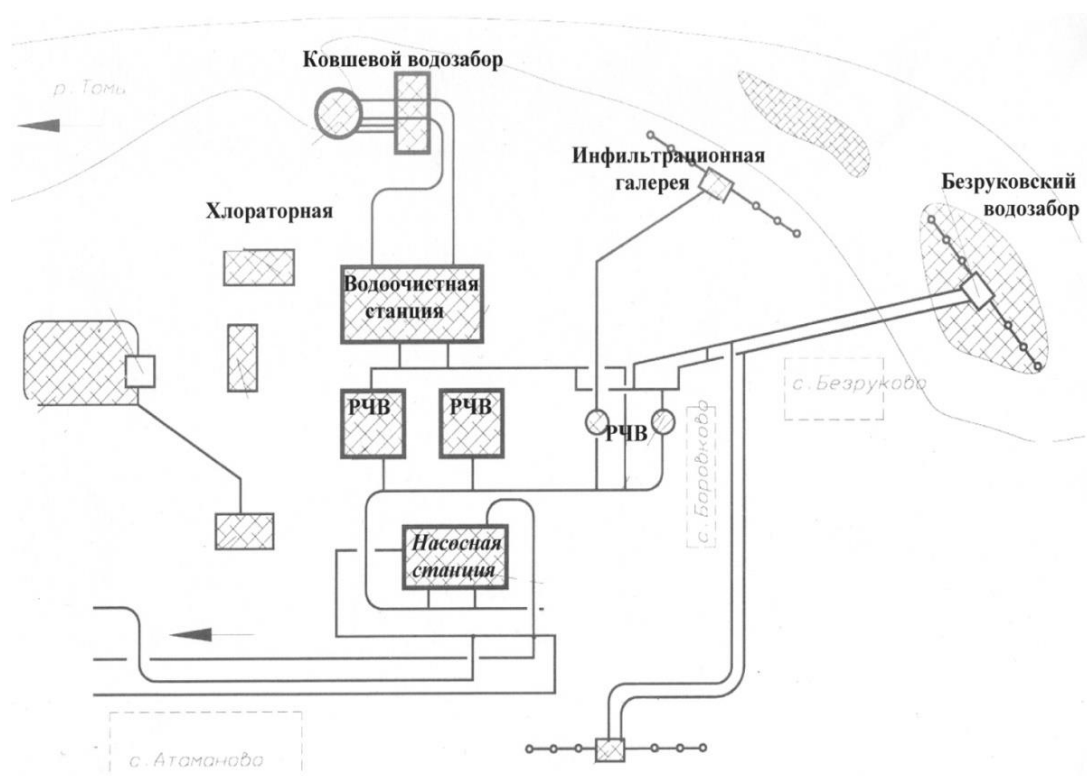


Рисунок 1 – Схема сооружений драгунского цеха водоснабжения.

1.2 Технология водоснабжения

Централизованное водоснабжение питьевой водой, осуществляется двумя цехами водоснабжения ЗАО “Водоканал”:

1. Драгунским ЦВС, в состав, которого входят Безруковский водозабор, инфильтрационная галерея, 18 гидроузлов, 12 гидроузлов;
2. Левобережный ЦВС, в состав, которого входят Водоочистная станция, инфильтрационная галерея, “Куст скважин № 25”.

Драгунский ЦВС

Безруковский водозабор расположен на острове в районе с. Безруково (рис.1). Состоит из 13-ти скважин и насосной станции. Вода из скважин подается по двум водоводам в РЧВ №4, обеззараживается хлором и насосной станцией второго подъема подается в город. Водозабор построен в 1972 г.

Первый подъем (Инфильтрационная галерея) расположен на берегу р. Томь в 1,5 км от площадки ВОС (рис.1). Вода галереи подается в РЧВ № 3, обеззараживается хлором и далее в город. В процессе эксплуатации выявился недостаток - подача воды полностью зависела от уровня воды в реке. Для устранения была построена насосная станции заводнения и прорыты два обводнительных канала вдоль галереи с обратной от реки стороны.

ВОС обеспечивает двухступенчатую очистку поступающей воды. В первую очередь - происходит смешивание воды с реагентами, после чего смесь отстаивается в 16 отстойных сооружениях. После отстаивания происходит второй этап очистки. С помощью восьми безнапорных фильтров происходит фильтрование воды, после которого, отфильтрованная вода поступает для обеззараживания в два РЧВ объемом по 6000 м³ каждый плюс в двух объемом по 1000 м³. Далее происходит подача воды непосредственно к потребителям в город, реализуется с помощью насосной станцией второго подъема по трем водоводам: двум ДУ 800 мм и одному ДУ 1400 мм.

Абашевский водозабор представляет собой водозабор инфильтрационного типа с искусственным пополнением запасов подрусловых вод, состоит из технологических сооружений:

- Насосная станция первого подъема, производительностью 18000 м³/сут, подающая воду в три бассейна-отстойника из реки.
- Три бассейна-отстойника и четыре инфильтрационных бассейна, фильтрующих воду в инфильтрационную галерею.



Рисунок 2 - Бассейн-отстойник.

- Инфильтрационная самотечная галерея.
- Приемный колодец (вода насосами станции второго подъема подается в РЧВ).
- Насосная станция второго подъема, забирающая воду из приемного колодца и подающая в два РЧВ, объемом 1900 м³ каждый
- Насосная станция третьего подъема, забирающая воду из РЧВ и подающая ее в сеть населению.

Левобережный ЦВС

Сооружения Левобережного водозабора общей производительностью 40 – 52 тыс. м³/сут. расположены в центральной части города, состоят из:

- насосно-фильтровальная станция (НФС–2), производительность 24-31 тыс. м³/сут., в зависимости от периода и качества воды Левого берега р. Томь.

- главная насосная станция №3 (ГНС-3), забирающая воду из инфильтрационной галереи и подающая ее в резервуары чистой воды (РЧВ). Производительность инфильтрационной галереи и ГНС-3 17-24 тыс. м³/сут.



Рисунок 3 – ГНС.

- насосная станция II подъема, забирающая воду из РЧВ и подающая ее потребителям Центрального и Куйбышевского районов.
- резервуары чистой воды, предназначенные для создания контакта воды с хлором и служащие одновременно аккумулялирующими емкостями. Количество РЧВ – 3 шт., два из них объемом 2000м³, один – 6000м³.
- Хлораторная - обеззараживание воды идущей на НФС и в РЧВ.



Рисунок 4 - Насосы дозаторы в хлораторной.

- Система искусственного пополнения (СИП), включающая 2 отстойника и 4 бассейна – заводнителя.

2 ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Системы управления электроприводом

Сегодня все крупные компании в электротехнической промышленности производят так называемый АЭП - автоматизированный регулируемый электропривод. Они производят АЭП с инструментами автоматизации, которые используют программируемые системы, предназначенные для широкого использования. Компьютеризация систем управления электроприводами, механизма и агрегатного комплекса является главной идеей в развитии АЭП сегодня.

В связи с этим, актуальность разработки АЭП для насосной установки в общепромышленном проекте, которая не предназначена для производств с взрывоопасными и пожароопасными факторами, заключается в правильном и надлежащем выборе системы управления электроприводом (СУЭП), которая в конечном итоге позволит вывести производительность используемых агрегатов на максимальный уровень.

При рассмотрении требований системы управления предложены две схемы управления для проектирования, а именно: векторная схема управления и скалярная схема управления электроприводом для насосной установки, которые выполнены в виде преобразователь частоты – короткозамкнутый асинхронный электродвигатель (ПЧ-АД).

Принцип и способ управления электродвигателем выбираются в соответствии с требованиями управления скоростью и качественными показателями управления, такими как: диапазон регулирования, плавный ход и обеспечение неизменной скорости. Также необходимо учитывать динамические показатели качества регулирования, а именно: скорость, перерегулирование и т.д. При решении задачи определения СУЭП необходимо учитывать важное и обязательное условие в дополнение ко всему этому, учитывать тип нагрузки,

создаваемой рабочим механизмом. Частотное управление электродвигателем использует два основных метода: скалярный и векторный принцип управления.

Скалярный принцип управления частотой чаще всего используется для управления электроприводом, поскольку технически просто измерять и контролировать абсолютные значения переменных асинхронного двигателя. Управление осуществляется в соответствии с функциональной характеристикой, которая сочетает в себе напряжение и частоту статора электродвигателя (характеристика - U/f) и использование модуля IR-компенсации для обеспечения связи магнитного потока статора в соответствии с характеристикой. Обратная связь позволяет достичь желаемых свойств электропривода. Этот принцип используется для электроприводов, которые не подвергаются высоким динамическим требованиям.

Принцип векторного управления основан на взаимной ориентации векторов магнитного потока и токов АД, которые расположены в полярных или декартовых системах координат в соответствии с используемым законом регулирования. Управление АД обеспечивается путем регулирования модулей переменных и углов между их векторами, как в статике, так и в динамике, что впечатляющим образом улучшает качество переходных процессов. Этот факт имеет решающее значение при выборе системы и используется в электроприводах, где требуется средняя и высокая динамика. Электроприводы таких агрегатов, как насосные агрегаты, занимают промежуточное положение между приводами с высокой, средней и низкой динамикой.

Поскольку скалярное управление позволяет получить искусственные механические характеристики требуемой жесткости и принимая во внимание очевидные преимущества этого типа управления, можно заключить, что этот метод управления может быть использован для разработки системы управления насосной системой с использованием ПЧ-АД системы.[2]

2.2 Способы регулирования и механические характеристики электропривода

Асинхронный электропривод со скалярным управлением является наиболее распространенным. Он используется как часть приводов насосов, вентиляторов, компрессоров и других механизмов, для которых важно поддерживать либо скорость вала двигателя (в этом случае используется датчик скорости), либо параметр процесса (давление в трубопроводе). с соответствующим датчиком).

При проектировании электропривода электродвигатель следует выбирать так, чтобы его механические свойства соответствовали механическим свойствам производственного механизма. Механические характеристики позволяют получить взаимосвязь переменных в установившемся состоянии.

Механической характеристикой механизма называется отношением между угловой скоростью и модулем момента сопротивления механизма, приведенным к валу двигателя $\omega = f(M_c)$.

Для представленных характеристик $\beta = \frac{\Delta M_c}{\Delta \omega}$, где M_c - момент сопротивления.

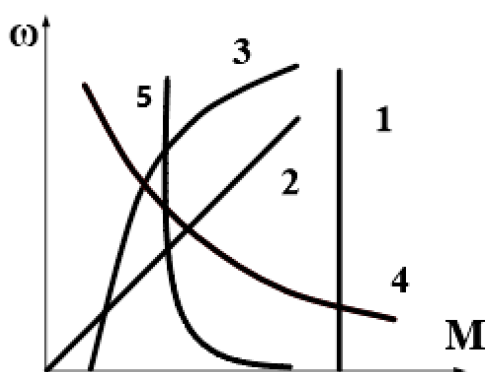


Рисунок 5 – Механические характеристики механизмов.

1. Характеристика постоянна вне зависимости от скорости вращения; $M_c = const, X = 1$.
2. Линейно-возрастающая механическая характеристика; $M_c = \beta \cdot n, X = 2$;
3. Нелинейно-возрастающая механическая характеристика;

$$X = 2 \text{ – вентилятор, } X = 3 \text{ – насос. } M_C = M_0 + M \cdot \omega^X,$$

$$4. \text{ Нелинейно-спадающая характеристика; } M_C = M \cdot \omega^{X-1}, X = 0.$$

5. Механическая характеристика пр повышенном пусковом моменте.

Любой из видов механической характеристики может быть описан общей для них формулой:

$$M_C = M_0 + (M_{C.НОМ} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{НОМ}} \right)^3,$$

где M_C - момент нагрузки, при ω ;

$M_{C.НОМ}$ - момент нагрузки при $\omega_{НОМ}$;

M_0 - момент трения; X - показатель степени.

С помощью электрических преобразователей частоты у двигателей переменного тока для соответствующих моментов производственных механизмов можно формировать электромагнитные моменты двигателей.

При постоянном моменте нагрузки напряжение и частота статора асинхронного двигателя регулируются в соответствии с законом $U_{1j}/f_{1j} = const$;

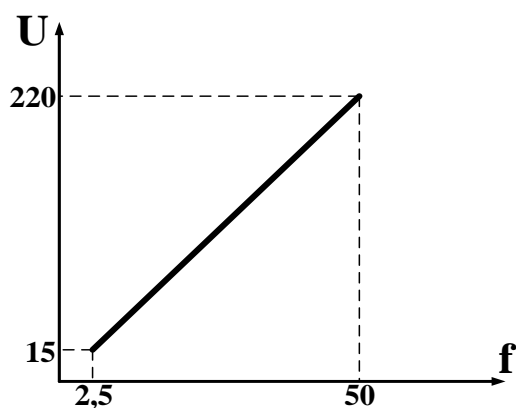


Рисунок 6 – Зависимость $U_{1j}/f_{1j} = const$.

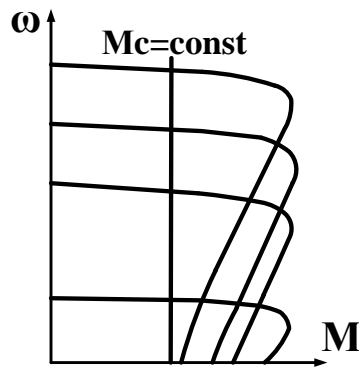


Рисунок 7 – Механические характеристики привода, контролируются системой ПЧ-АД с постоянным моментом.

При нелинейно-спадающей нагрузке – закон управления напряжением и частотой имеет вид $U_{1j}/\sqrt{f_{1j}} = const$;

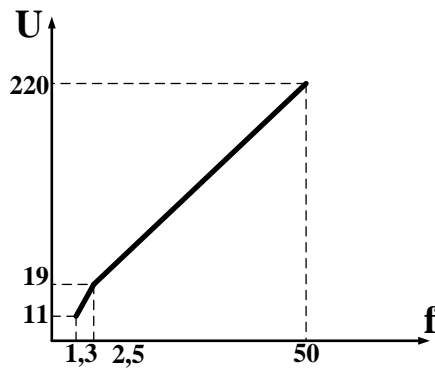


Рисунок 8 –Зависимость $U_{1j}/\sqrt{f_{1j}} = const$.

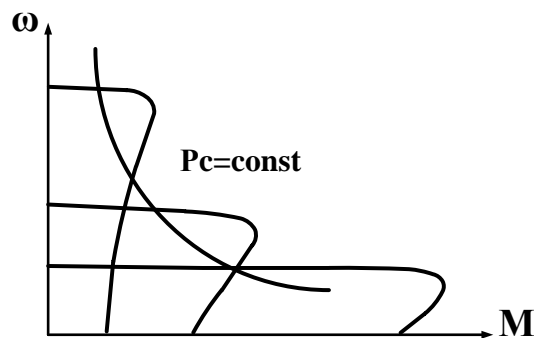


Рисунок 9 – Механические характеристики привода, контролируются системой ПЧ-АД с постоянной мощностью.

При нелинейно-возрастающей «вентиляторной» нагрузке напряжение и частота должны изменяться в соответствии с зависимостью $U_{1j}/f_{1j}^2 = const$;

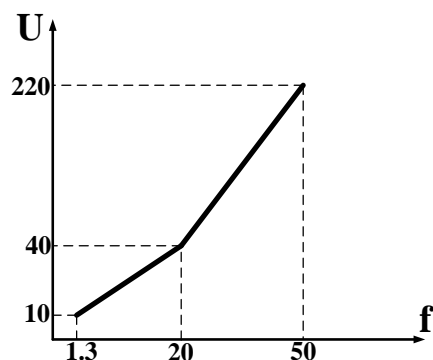


Рисунок 10 – Зависимость $U_{1j}/f_{1j}^2 = const$.

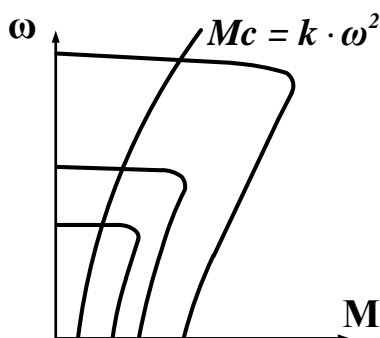


Рисунок 11 – Механические характеристики привода, контролируемые системой ПЧ-АД с вентиляторной нагрузкой.[2]

2.3 Требования, предъявляемые к электроприводу насосов

Насосы работают в сети с противодействием, и статическое давление в сети обычно составляет не менее 20% от общего давления. Единственным исключением являются циркуляционные насосы, которые могут работать в сети, в которой практически отсутствует статическое давление. Насосы, как правило, представляют собой механизмы с непрерывной нагрузкой и большим количеством работ в год; нагрузка на вал приводного двигателя легкая, перегрузка отсутствует. Центробежные насосы являются высокоскоростными механизмами, номинальная частота вращения приводного двигателя обычно составляет не менее 600 об/мин; верхний предел скорости для насосов ограничен 3000 об/мин, более высокая номинальная скорость требуется только в редких случаях. Самый современный способ регулирования производительности насосов - это изменение скорости их двигателей. Диапазон

вращения обычно небольшой, глубокая регулировка необходима только в некоторых случаях.

Системы с центробежными насосами являются наиболее распространенными. Рабочее колесо с лопастями расположено в спиральном корпусе насоса. Когда двигатель вращает колесо, жидкость, которая поступает в центр колеса из заборного бака через всасывающую трубу и открытый клапан, центробежной силой отводится вдоль лопастей к периферии корпуса. В результате в центре рабочего колеса создается вакуум, жидкость всасывается в насос, снова сливается и затем подается в напорную линию. Таким образом, в системе задвижек с открытым затвором создается непрерывный поток, и центробежный насос имеет плавный ход. Центробежный насос должен быть заполнен жидкостью перед пуском. Насос может находиться ниже или выше уровня жидкости. Если он ниже уровня, просто откройте затвор клапана, чтобы заполнить его. Если насос находится выше уровня перекачиваемой жидкости, в корпусе должен быть создан вакуум, чтобы заполнить насос пользуются специальным вакуумным насосом, который обычно представляет собой поршневой насос. После того, как насос заполнен, приводной двигатель может быть включен.

Используются три метода запуска:

I. Запуск с закрытой задвижкой с плавным повышением давления в системе. Запуск с закрытым клапаном давления, в котором давление в линии возрастает равномерно и устраняет гидравлический удар в системе. Увеличенный пусковой момент двигателя, не требуется поскольку пуск происходит практически на холостом ходу, но дополнительное время затрачивается на последующее открытие задвижки.

II. Запуск с открытой задвижкой давления удобен, когда насос находится ниже уровня жидкости в заборном баке и имеется обратный клапан – нет траты времени на открывание задвижки, а общее время меньше, даже несмотря на то, что запуск самого двигателя происходит дольше из-за увеличения $M_{с.п.}$

III. Запуск с одновременным включением привода для открытия задвижки насоса можно рассматривать как частный случай первого и второго способа в зависимости от соотношения времени, в которое задвижка открывается и насос запускается.

Насосы обычно запускаются с закрытыми задвижками. Зависимость крутящего момента на валу от скорости вращения во время процесса запуска носит характер вентилятора, при этом максимальный крутящий момент для большинства насосов составляет от 0,4 до 0,8 от номинального значения.

3 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСОМ

3.1 Обзор системы управления

Структурная схема

Имеется четыре скважины водозабора одинаковой конструкции. Все скважины располагаются отдельно друг от друга, каждая в своем павильоне, находящийся на расстоянии от 20 до 150 метров от водохранилища. В каждом павильоне есть отдельная комната, где установлен шкаф с блоками питания и управления насосной установкой. После добычи воды из скважин, вода подается в специальный резервуар, (служащий буфером и отстойником) заполняя его. Далее вода поступает в насосную станцию второго подъема, которая состоит из трех насосных установок. После этого вода поступает в трубопроводную сеть города.

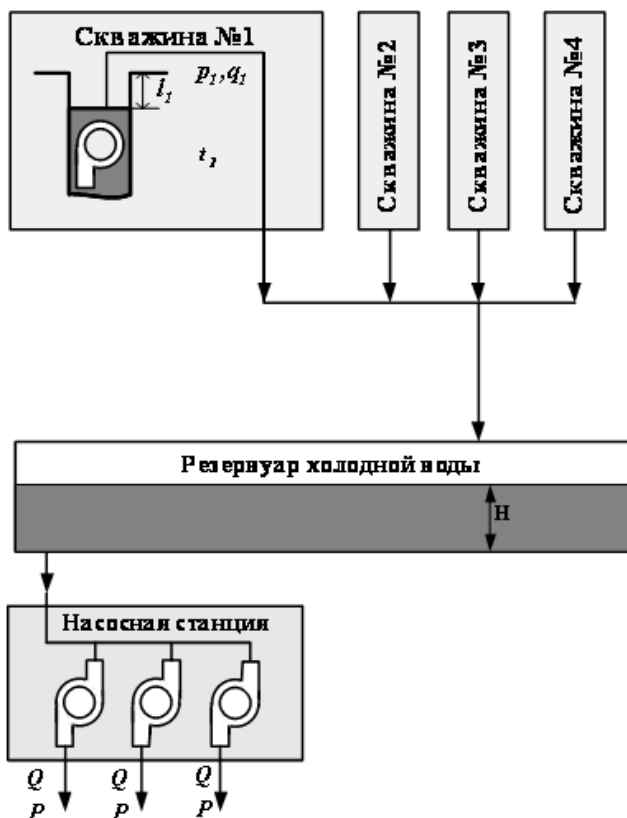


Рисунок 12 – Схема водозаборного узла (структурно).

Оборудование электрощитовой



Рисунок 13 - Электрощитовая насосной станции.

В шкаф смонтированы устройства для управления частотой и давлением воды, подающейся на выход из насосной станции.

Три частотных регулятора мощностью 55 кВт каждый, используются для регулирования частоты двигателей бытовых питьевых насосов. Контроллеры имеют интерфейс RS-485. Управление осуществляется через сеть RS-485.1.

Давление на выходах насосной станции измеряется датчиками DMP-331i, имеющие выходной интерфейс RS-232.

Выходные сигналы от датчиков давления приходят на модули ADAM-4521. Контроллеры интегрированы в сеть RS-485.2.

Центральный пост оператора

Центральный пост оператора состоит из ряда технических устройств, которые расположены в комнате оператора. Он включает в себя шкаф с оборудованием, монитор и пульт управления. В качестве системы управления используется промышленный компьютер, который состоит из корпуса PAC-40H с пассивной объединительной платой, процессорной карты PCA-6154 с флэш-накопителем DiskOnChip, 32 МБ оперативной памяти и процессора Pentium с частотой 150 МГц, а также PCL-745. Интерфейсная карта (два гальванически развязанных канала RS-485). В шкафу установлен

промышленный компьютер с платами связи и источником бесперебойного питания.

Комната управления подключена к центральной станции оператора через два канала RS-485: RS-485.1 и RS-485.2.

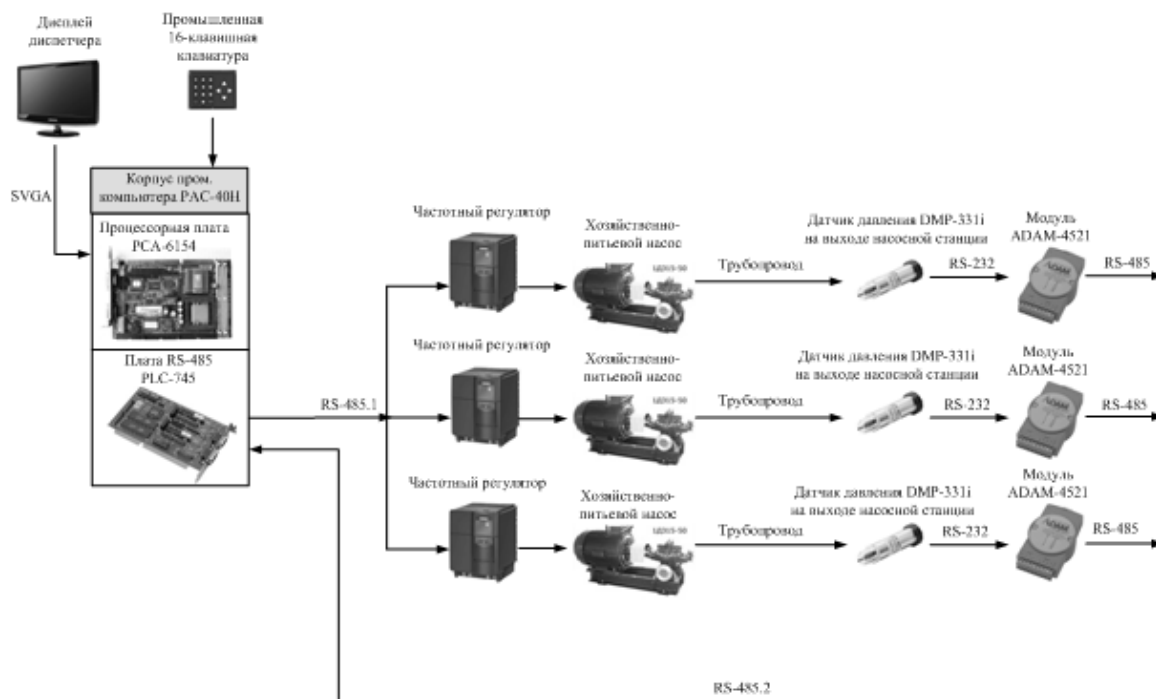


Рисунок 14 – Функциональная схема насосной станции.

Процессорная плата PCA-6154

Системная информация:

- Процессор: Pentium MMX до 233 МГц, AMD K5, K6, K6-II до 300 МГц;
- ОЗУ: EDO / FPM SIMM x 2 Макс. 128 Мб;
- Кэш-память: 512 Кб Pipeline burst SRAM;
- Чипсет: SiS 5598;
- BIOS: Award 256 Кб Flash BIOS;
- SSD: DiskOnChip 2000;
- Watchdog Timer: 1~62 секунды, 16-битный ISA слот;

- Аккумулятор: Встроенный/10 лет;
- Управление питанием: АРМ 1.1;
- Потребляемая мощность:
 - 5 В@3.97А Intel P55С-233, 32 Мб DRAM;
 - Макс.: 5В@5А;
- Размер / вес: 185x122мм / 0,3 кг;
- Влажность: 0%-90% относительной влажности, без конденсации.

Ввод / Вывод:

- МІО: 1 х EIDE (Ultra DMA33), 1 х FDD, 1 х К/В, 1 х mouse, 1 х RS232/422/485, 1 х RS232, 1 х xLTP;
- IrDA: 115Кб/с SIR, IrDA 1.0 совместимый;
- Ethernet: 10/100 Мб/с, разъем RJ45;
- USB: 2 USB ports, USB 1.0 совместимый.

Дисплей:

- Чипсет: SiS5598 встроенный;
- Объем памяти: Макс. 4Мб (UMA);
- Разрешение: CRT 1280x1024 @ 24 бит/пиксел (CRT).



Рисунок 15 – Процессорная плата PCA-6154.

Интерфейсная плата PCL-745

- Два независимых RS-422/485 последовательных порта;
- Обеспечивает 3000BDC изоляции (PCL-745B/745S);
- Обеспечивает 2500BDC защита от перенапряжений (PCL-743S/745S);
- Передача со скоростью до 921,6 кбит/с;
- Широкий выбор IRQ: 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12 или 15;
- Поддержка 2-х проводной или 4-проводной операции;
- Поддержка Tx, Rx, RTS, CTS и сигналов;
- Автоматические RS-485 данные потока управления или контроля PTC;
- Место, отведенное для дополнительной защиты от перенапряжений на линии передачи данных (PCL-743B/745B);
- Поддержка стандартов DOS COM1, COM2, COM3, и COM4;

- Поддержка сигналов: TxD +, TxD-, RxD +, RxD-, CTS +, CTS-, RTS + и RTS-;
- Поддержка Windows 98/2000/XP, Linux;
- Мощная и простая в использовании утилита (ICOM Tools);
- Потребляемая мощность: +5V@400мА, 950мА макс.;
- Рабочая температура: 0 65 °С;
- Размеры: 185 x 100 мм;
- Вес: 0,6 кг.



Рисунок 16 – Интерфейсная плата PCL-745.

Модуль ADAM-4521

Таблица 1 – Технические характеристики модуля ADAM-4521

Модель	ADAM-4521
Описание	Конвертер RS-232 в RS-485 или RS-422 с автоматическим контролем за направлением передачи данных и изоляцией для RS-485.
Длина линии связи	1200 м
Сторожевой таймер	Есть
Гальваническая изоляция	3000 В (RS-485)
Крепление	Монтаж на DIN рейку
Наибольшее количество модулей в сети	256 с репиттерами или 32 без репиттеров (RS-485).
Исполнение корпуса	Пластмасса
Разъемы	Винтовые клеммы (RS-485, RS-422), DB9 female (RS-232)
Интерфейс	RS-232 (COM)
Питающее напряжение	10 В - 30 В
Потребляемая энергия	1.2 Вт
Скорость передачи данных	300 ~ 115200 кБит/сек
Размеры	72 x 25 x 142 мм
Температура в работе	0 ~ 75°C



Рисунок 17 – Модуль ADAM-4521.

Промышленная клавиатура TKG-016

- Количество клавиш: 16
- Степень защиты: IP65 (передняя панель)
- Материал изготовления
- ✓ клавиши: силиконовая резина
- ✓ контакты: углепластик
- ✓ панель: алюминий
- Интерфейс: матричный выход или АТ
- Размеры:
- ✓ клавиатура 128x98x6 мм
- ✓ панель 142x128x20 мм
- Диапазон рабочих температур: 0... +50°C.



Рисунок 18 – Промышленная клавиатура TKG-01.

Датчик давления с цифровым выходом DMP 331i

Таблица 2 – Технические характеристики DMP 331i

Диапазоны давления	от 0...0,17 бар до 0...20 бар (от 0...17 кПа до 0...2 МПа), избыточное, абсолютное, разрежение
Погрешность	0,1 % ВПИ
Сигнал выходной	4 - 20 мА (Ех-исполнение), RS 232 для настройки «нуля» и «диапазона»
Сенсор	кремниевый пьезорезистивный
Присоединение DMP 331i:	
- механическое	G1/4", G1/2"
- электрическое	DIN 43650, Binder 723 (5 конт.), M12x1 (4 конт.), кабельный ввод PG7, Виссaneer
- опции	возможность перенастройки нуля и диапазона
Применение DMP 331i	для калибровочных и испытательных стендов, поверочных установок, контроль технологических процессов, учет расхода и калориметрия
Измеряемая среда	Газ, пар, гидравлические жидкости, сжатый воздух, вода, ДТ или бензин.



Рисунок 19 – Датчик давления с цифровым выходом DMP 331i.

3.2 Выбор электродвигателя и расчет силовой части

Исходные данные:

Таблица 3 – Технические характеристики насоса 1Д315-50а

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. измерения
Подача	Q	300	м ³ /час
Напор	H	42,00	м
Частота вращения	n	2900	об/мин
Максимальная потребляемая мощность	N	50,00	кВт
Допускаемый кавитационный запас	$\Delta h_{\text{доп}}$	6,70	м, не менее
Массанасоса	m	190	кг

Мощность насоса:

$$P_H = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_H} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,083 \cdot 42}{1000 \cdot 0,79} = 43,462 \text{ кВт}$$

где Q – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q = \frac{300 \text{ м}^3/\text{ч}}{3600} = 0,083 \text{ м}^3/\text{с}$;

H – напор, м; ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса.

Мощность электродвигателя выбирается с помощью расчета по вышеприведенной формуле, учитывая отклонения режима работы насоса от номинального режима. Для работы двигателя без перегрузок во всех режимах работы, мощность выбирается с запасом.

$$P_{\text{д}} = \frac{k \cdot P_{\text{н}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{1,2 \cdot 43,462}{0,98} = 53,219 \text{ кВт};$$

где k – коэффициент запаса, мы принимаем $k = 1,2$, поскольку ЭД - это привод насоса, который работает с постоянной нагрузкой при непрерывной работе и редко запускается при закрытии задвижки;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД передачи при соединении валов двигателя и насоса с муфтой $\eta_{\text{п}}=0,98$.

Для дальнейшего рассмотрения выбран асинхронный двигатель АД255М2.

Определим параметры Т-образной эквивалентной принципиальной схемы асинхронного двигателя АД255М2 со следующими данными каталога:

- Номинальная мощность: $P_{\text{н}} = 55 \text{ кВт}$.
- Номинальное напряжение фазное: $U_{\text{1н}} = 220 \text{ В}$.
- Номинальное напряжение сети: $U_{\text{фн}} = 380 \text{ В}$.
- Номинальная частота вращения: $n_{\text{н}} = 2945 \text{ об} / \text{мин}$.
- КПД для режима номинальной мощности: $\eta_{\text{н}} = 0,925 \text{ о.е.}$
- Момент инерции: $J_{\text{дв}} = 0,173 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.
- Коэффициент мощности в номинальном режиме: $\cos \varphi = 0,91 \text{ о.е.}$

- Кратность пускового тока: $k_i = 7,50.e.$
- Кратность пускового момента: $k_n = 2,00.e.$
- Кратность момента максимального: $k_{\max} = 3,20.e.$
- Коэффициент загрузки двигателя: $p_{эс} = 0,750.e.$
- Число пар полюсов: $p=2.$

Составим Т-образную схему замещения, для дальнейшего расчета электромеханических и механических характеристик:

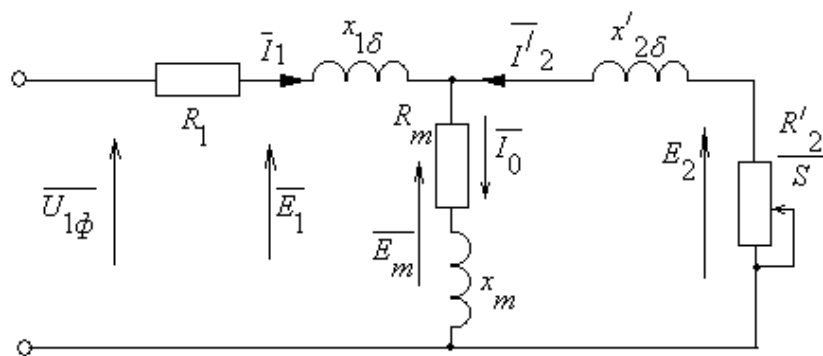


Рисунок 20 – Т-образная схема замещения АД.

- $U_{1\phi}$ – фазное напряжение подведенное к обмотке статора;
- I_1 – ток в обмотки статора;
- R_1 – активное сопротивление обмотки статора;
- $X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;
- I_2' – отношение тока обмотки ротора и обмотке статора;
- R_2'/S – отношение активного сопротивления цепи обмотки ротора и цепи обмотке статора;
- $X'_{2\sigma}$ – отношение индуктивного сопротивления рассеяния цепи обмотки ротора и цепи обмотки статора;

- I_0 – ток намагничивания (холостого хода);
- X_m - индуктивное сопротивление контура намагничивания

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие этой схеме:

$$\bar{U}_{1\Phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0$$

$$\bar{E}_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2' + R_2' \cdot \bar{I}_2' / s = 0$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 = 0$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений приведена на рисунке 21:

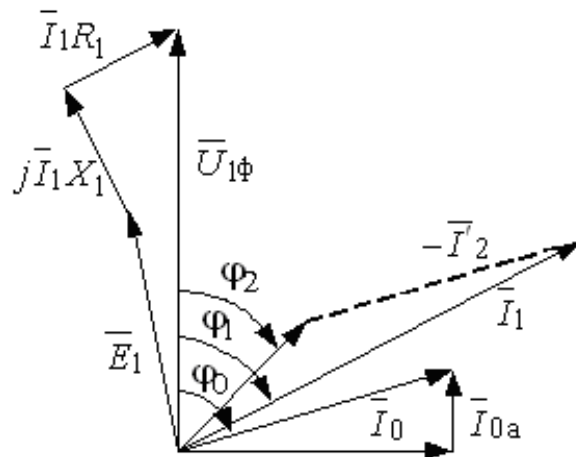


Рисунок 21 – Векторная диаграмма асинхронной машины.

Синхронная частота вращения:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ об / мин}$$

Номинальное скольжение:

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{3000 - 2945}{3000} = 0.018 \text{ o.e.}$$

Ток холостого хода:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p_{жс} \cdot I_{1H} \cdot \frac{1 - S_H}{1 - p_{жс} \cdot S_H} \right)^2}{1 - \left(p_{жс} \cdot \frac{1 - S_H}{1 - p_{жс} \cdot S_H} \right)^2}},$$

$$I_{11} = \frac{p_{жс} \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{pжс} \cdot \eta_{Hржс}} = \frac{0,75 \cdot 55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,901 \cdot 0,925} = 75,208 \text{ А}$$

– ток статора при

частичной нагрузке,

$$\eta_{Hржс} = \eta_H = 0,925 \text{ – КПД при частичной нагрузке,}$$

$$\cos \varphi_{pжс} = \cos \varphi \cdot \left(\frac{\cos \varphi_{0,75}}{\cos \varphi} \right) = 0,91 \cdot 0,99 = 0,901$$

– коэффициент мощности при

частичной нагрузке,

$$\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H = 0,99 \text{ – приведенный коэффициент мощности при}$$

частичной нагрузке (из графика на рисунке 22):

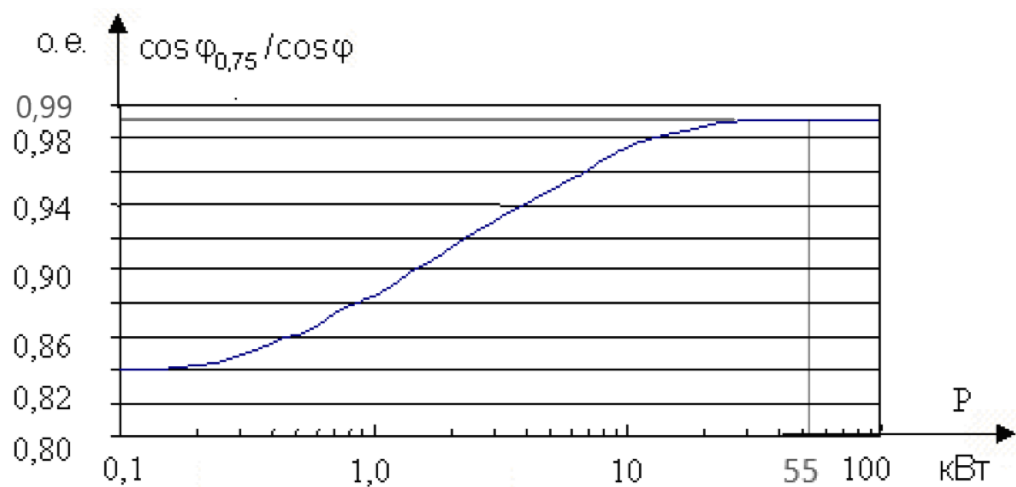


Рисунок 22 – Зависимость отношения $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$ от мощности асинхронного двигателя.

Номинальный ток статора:

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_H} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,91 \cdot 0,925} = 99,274 \text{ А} ;$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{75,208^2 - \left(0,75 \cdot 99,274 \cdot \frac{1 - 0,018}{1 - 0,75 \cdot 0,018} \right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1 - 0,018}{1 - 0,75 \cdot 0,018} \right)^2}} = 19,245 \text{ А} ;$$

Определим коэффициент для расчета критического скольжения.

Принимаем $\beta = 1$

$$s_k = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} = 0,018 \cdot \frac{3,2 + \sqrt{3,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,018 \cdot 1 \cdot (3,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,018 \cdot 1 \cdot (3,2 - 1)} = 0,125 \text{ o.e.}$$

Вычислим значения коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \left(\frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} \right) = 1 + \left(\frac{19,245}{2 \cdot 7,5 \cdot 99,274} \right) = 1,013$$

$$A_1 = m \cdot U_{1H}^2 \cdot \frac{1 - s_H}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = 3 \cdot 220^2 \cdot \frac{1 - 0,018}{2 \cdot 1,013 \cdot 3,2 \cdot 55000} = 0,398$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k} \right) \cdot C_1} = \frac{0,398}{\left(1 + \frac{1}{0,125} \right) \cdot 1,013} = 0,044 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,013 \cdot 0,044 \cdot 1 = 0,044 \text{ Ом}$$

Вычислим γ , чтобы найти индуктивное сопротивление КЗ x_{KH} :

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k^2} \right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,125^2} \right) - 1^2} = 7,957$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$x_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 7,957 \cdot 1,013 \cdot 0,044 = 0,351 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$x_{2H}' = 0,58 \cdot \frac{x_{KH}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{0,351}{1,013} = 0,201 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$x_{1H} = 0,42 \cdot x_{KH} = 0,42 \cdot 0,351 = 0,147 \text{ Ом}$$

Из значений C_1, R_2' и x_{KH} рассчитаем критическое скольжение:

$$s_{k1} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + x_{KH}^2}} = \frac{1,013 \cdot 0,044}{\sqrt{0,044^2 + 0,351^2}} = 0,125 \text{ o.e.}$$

Значения $S_{\kappa 1}$ и S_{κ} равны.

Найдем E_1 и $\sin \varphi$:

$$\varphi = \arccos(\cos \varphi) = \arccos(0,91) = 0,428$$

$$\sin \varphi = 0,415$$

Находим ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенную потоком воздушного зазора в обмотке статора при номинальном режиме:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - x_{1H} \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,91 - 0,044 \cdot 99,274)^2 + (220 \cdot 0,415 - 0,147 \cdot 99,274)^2} = 209,663 \text{ В} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$x_{\mu n} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{209,663}{19,245} = 10,895 \text{ Ом}$$

3.3 Выбор преобразователя

Мы выбираем преобразователь частоты из серии SIEMENS, MIDIMASTER ECO.

Область применения: использование в системах водоснабжения, отопления, а так же вентиляции и кондиционирования воздуха, экономит до 60% расходов.

Режимы работы: скалярное управление частотой вращения.

Выбирая преобразователь частоты ориентируемся на условие:

$$I_{н.пч} \geq I_{н.д.}, \quad P_{н.пч} \geq P_{н.д.}$$

Выбираем модель ECO1-5500/3, со следующими техническими параметрами (таблица 4):

Таблица 4 – Параметры ПЧ ECO1-5500/3

Модель	Типоразмер	Число фаз	Напряжение питания, В	Мощность двигателя, кВт	Номинальный ток, А	Степень защиты
ECO1-5500/3	7	3	380-500	55	102	IP56

Что удовлетворяет условиям: $102 \geq 99,274A$, $55кВт \geq 55кВт$.



Рисунок 23 – Преобразователи частоты серии Midimaster Eco.

Характеристики преобразователей частоты серии Midimaster Eco представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики преобразователей частоты Midimaster Eco

Напряжение сети	3 фазы, 380-500 В ($\pm 10\%$)
Частота сети, Гц	47-63
Коэффициент мощности	0.98
Выходная частота, Гц	400
Перегрузка по току (от номинального тока в течение 1 мин.)	110%
Способ управления	U/f^2
Способ торможения	Комбинированное Генераторное Динамическое
Регулятор управления процессом с замкнутой обратной связью	ПИД

Виды защит	Низкое напряжение Перенапряжение Перегрузка по току Перегрузка по мощности Короткое замыкание Перегрев двигателя Перегрев преобразователя
Дискретные входы (параметрируемые)	6
Фиксированные частоты вращения	8
Релейные выходы	2, параметрируемые 230 В AC / 1.0 А
Аналоговые входы	2 (0 В до 10 В, 2 В до 10 В, -10 В до +10 В, 0/4 до 20 мА)
Аналоговые выходы (параметрируемые)	2 (0/4 до 20 мА)
Последовательный интерфейс	RS485
Уровень защиты	IP20, IP56
Параметры окружающей среды	
температура окружающей среды	От 0°C до +40°C
температура хранения	От -30°C до +70°C
высота над уровнем моря	1000 м
допустимая относительная влажность	95

3.4 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик

Синхронная угловая скорость:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{1} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Расчеты для построения естественной электромеханической характеристики:

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

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + x_{KH}^2}}$$

где

$I_2'(\omega)$ - приведенный ток ротора от скольжения;

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + (x_{1H} + x_{2H}')^2}}$$

Используя полученные данные, рассчитывается и строится естественная электромеханическая характеристика, представленная на рисунке 24:

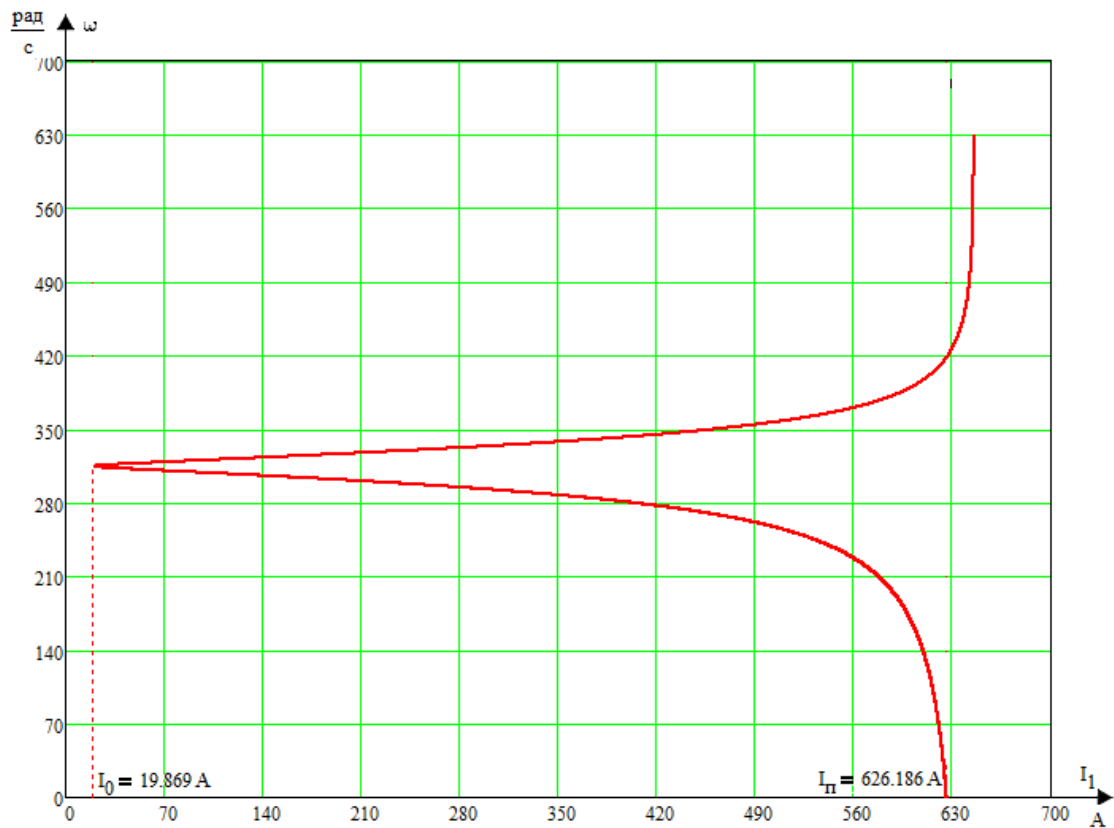


Рисунок 24 – Естественная электромеханическая характеристика АД.

Расчет и построение естественной механической характеристики по следующей формуле:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}} \right)^2 + x_{KH}^2 \right]}$$

Проведем расчет контрольных точек механической характеристики по паспортным данным:

Номинальная скорость: $\omega_H = \omega_0 \cdot (1 - s_n) = 314.159 \cdot (1 - 0.018) = 308,4 \text{ рад/с} ;$

Момент номинальный: $M_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\omega_{НОМ}} = \frac{55000}{308,4} = 178,34 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$

Момент критический: $M_{КР} = M_{НОМ} \cdot k_{\max} = 178,34 \cdot 3,2 = 570,688 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$

Момент пусковой: $M_{П} = M_{НОМ} \cdot k_n = 178,34 \cdot 2,0 = 356,68 \text{ Н} \cdot \text{м} .$

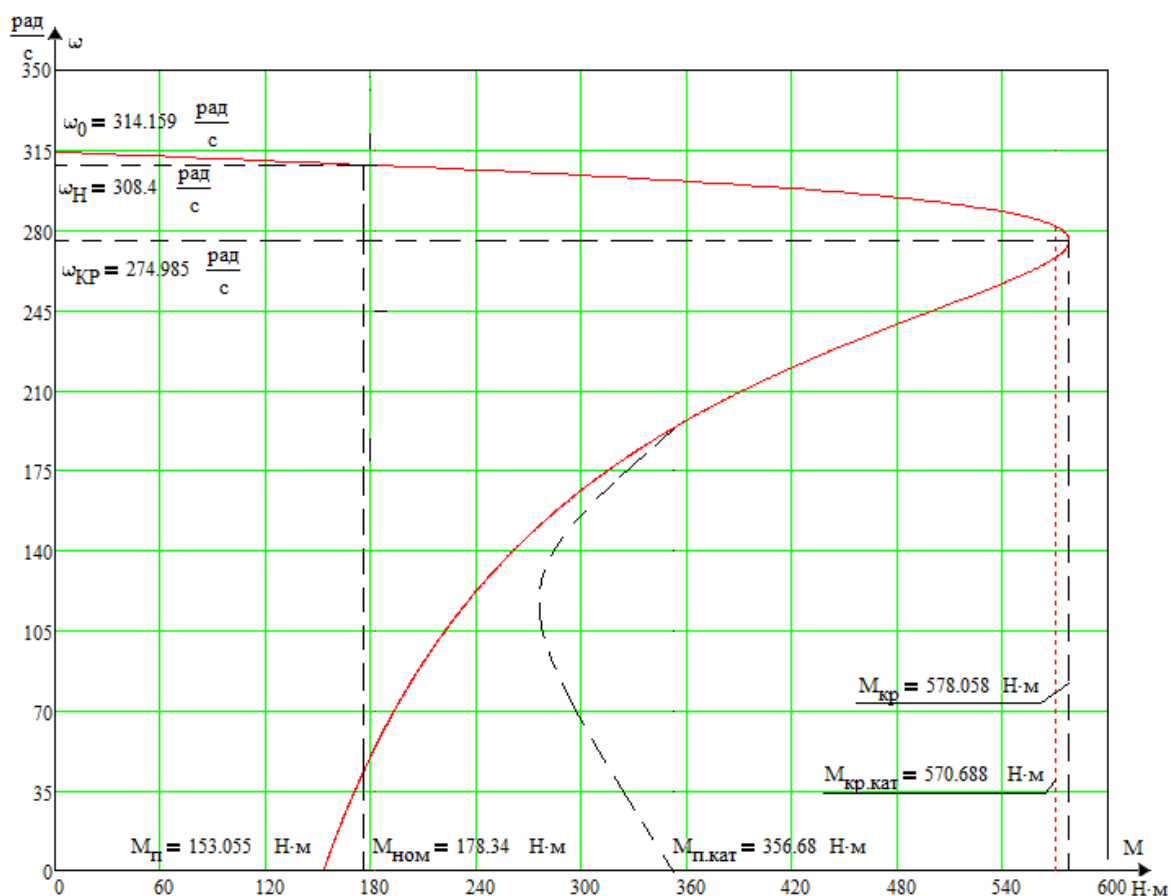


Рисунок 25 – Естественная механическая характеристика АД.

По графику механической характеристики находим:

1. синхронная скорость $\omega_0 = 314,159 \text{ рад/с}$;
момент ХХ $M(\omega) = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
2. номинальная скорость $\omega_H = 308,4 \text{ рад/с}$;
номинальный момент $M_H = 178,34 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
3. критическое скольжение $s_k = 0,125$, $\omega_K = 274,985 \text{ рад/с}$;
критический момент $M_{\text{макс}} = 578,058 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
4. скольжение в момент пуска $s = 1$;
пусковой момент $M_{\text{п}} = 153,055 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

Эти же точки рассчитаем аналитически:

1. синхронная скорость $\omega_0 = 314,159 \text{ рад/с}$;
момент ХХ $M(\omega) = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
2. номинальная скорость $\omega_H = 308,4 \text{ рад/с}$;
номинальный момент $M_H = 178,34 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
3. критическое скольжение $s_k = 0,125$, $\omega_K = 274,985 \text{ рад/с}$;
критический момент $M_{\text{макс}} = 570,688 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
4. скольжение в момент пуска $s = 1$;
пусковой момент $M_{\text{п}} = 356,68 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

Сравнивая данные полученные графическим и аналитическим способом, делаем вывод, что только значение начального крутящего момента значительно отличается. Это объясняется тем фактом, что скольжение близкое к единице имеет поверхностный эффект, который не учитывался в расчетах.

3.5 Расчет и построение искусственных механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы «Преобразователь частоты - Асинхронный двигатель»

Расчет производим для частот: $f_1=50;30;15;10$ Гц.

Закон регулирования:
$$Z_p = \frac{U_{1H}}{f^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088$$

Находим относительные значения частот питающего напряжения:

при $f_{1H1}=50$ Гц
$$f_{1*1} = \frac{f_{1I}}{f_{1I}} = \frac{50}{50} = 1$$

при $f_{1H2}=30$ Гц
$$f_{1*2} = \frac{f_{2I}}{f_{1I}} = \frac{30}{50} = 0,6$$

при $f_{1H3}=15$ Гц
$$f_{1*3} = \frac{f_{3I}}{f_{1I}} = \frac{15}{50} = 0,3$$

при $f_{1H4}=10$ Гц
$$f_{1*4} = \frac{f_{4H}}{f_{1H}} = \frac{10}{50} = 0,2$$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1H1} = Z_p \cdot f_{1H1}^2 = 0,088 \cdot 50^2 = 220 \text{ В};$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2}^2 = 0,088 \cdot 30^2 = 79,2 \text{ В};$$

$$U_{1H3} = Z_p \cdot f_{1H3}^2 = 0,088 \cdot 15^2 = 19,8 \text{ В};$$

$$U_{1H4} = z_p \cdot f_{1H4}^2 = 0,088 \cdot 10^2 = 8,8 \text{ В}.$$

В соответствии с частотами питающего напряжения, рассчитаем значения скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 30}{1} = 188,496 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15}{1} = 94,248 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{1} = 62,832 \text{ рад/с}.$$

Определим токи холостого хода при выбранных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H}} = \frac{220}{10,895} = 20,193 \text{ A};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{79,2}{10,895 \cdot 0,6} = 12,116 \text{ A};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{19,8}{10,895 \cdot 0,3} = 6,058 \text{ A};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{8,8}{10,895 \cdot 0,2} = 4,039 \text{ A}.$$

Построим электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ по выражениям:

$$I_2'(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{KH}}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2}},$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$.

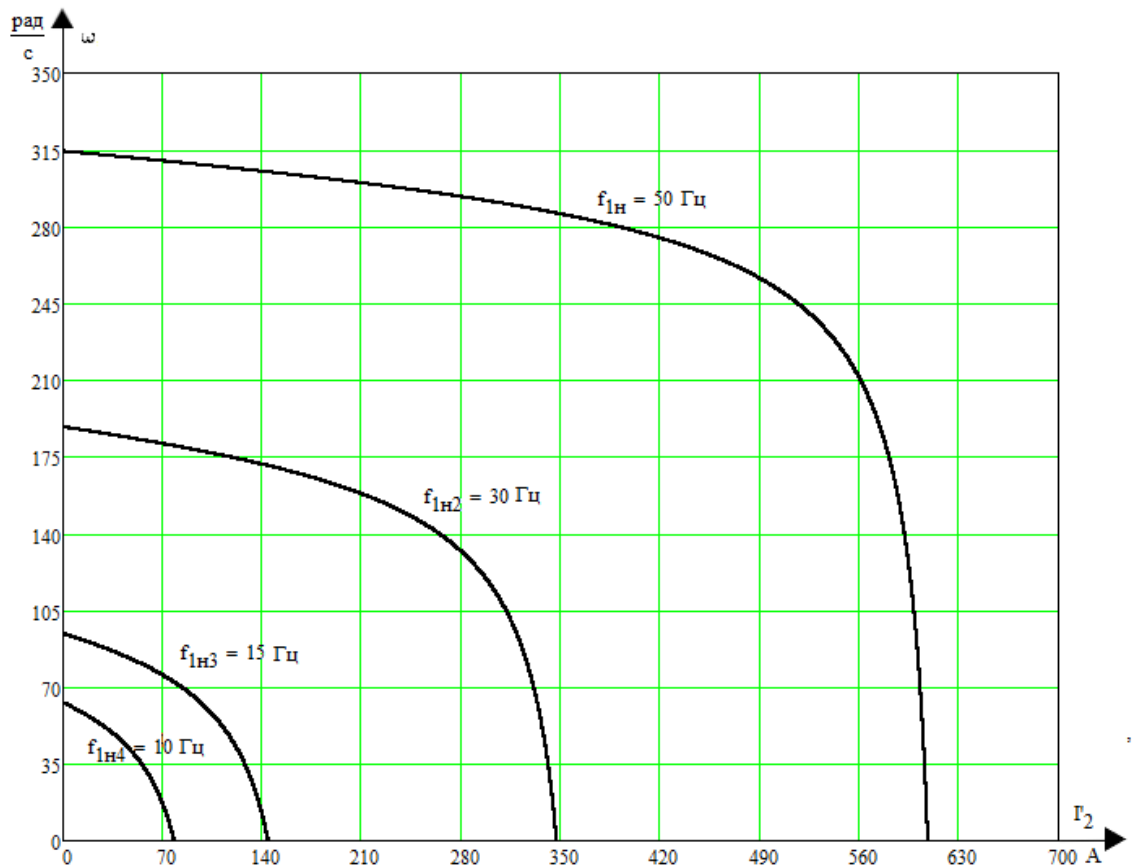


Рисунок 26 – Искусственные электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ при частотном регулировании.

Далее построим электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$I_1(s, f) = \sqrt{(I_0(f))^2 + (I_2'(s, f))^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot I_2'(s, f) \cdot \sin \varphi_2(s, f)},$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s),$$

$$\sin \varphi_2(s, f) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}};$$

где

$$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}$$

– ток холостого хода асинхронного двигателя при изменении частоты.

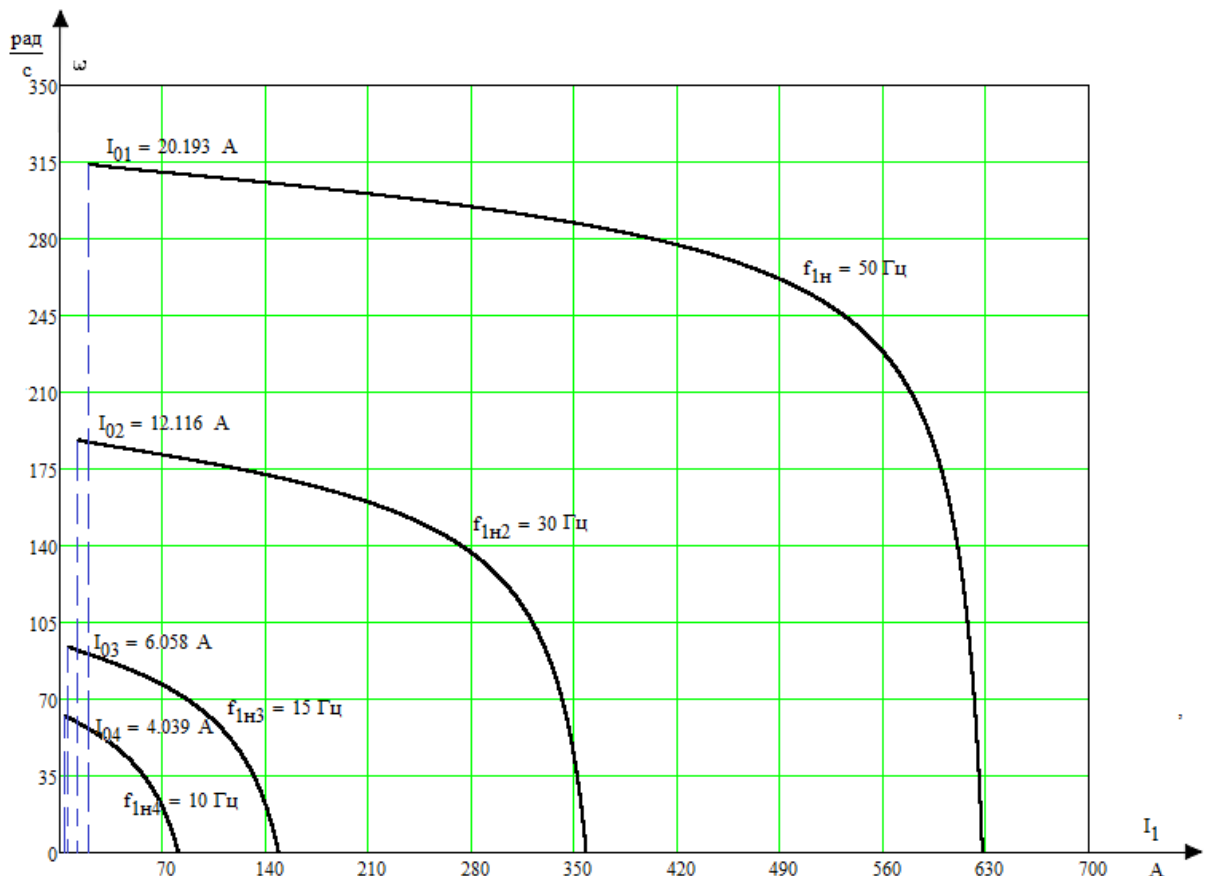


Рисунок 27 – Искусственные электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ при частотном регулировании .

Механические характеристики асинхронного двигателя $M(\omega)$, рассчитываем по выражениям:

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{эф}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\text{эф}} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2 \right]},$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s).$$

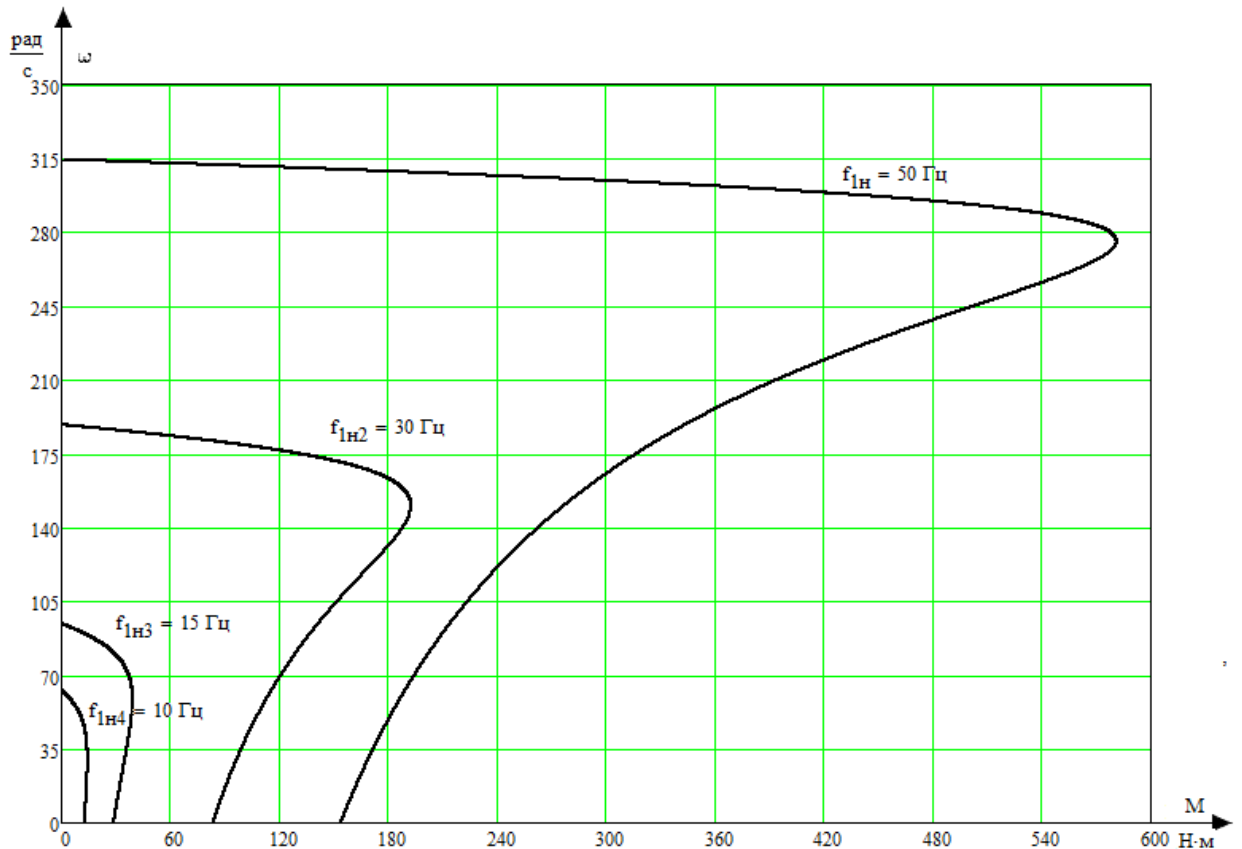


Рисунок 28 – Искусственные механические характеристики $M(\omega)$ при частотном регулировании.

3.6 Расчет потерь в асинхронном двигателе при работе на искусственных характеристиках

Определяя потери, при работе насосной установки, в роторе, зададим функцию нагрузки.

Вентиляторная нагрузка для насоса описывается выражением:

$$M_C = M_0 + (M_{C, \text{НОМ}} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{НОМ}}} \right)^{x-1},$$

где M_C - момент нагрузки, при скорости вращения ω ;

$M_{с.ном}$ - момент нагрузки при скорости $\omega_{ном}$;

M_0 - момент трения;

X - показатель степени, для насоса $X = 3$.

Номинальный электромагнитный момент:

$$M_{эм.н} = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,044}{314,159 \cdot 0,018 \cdot \left[0,351^2 + \left(0,044 + \frac{0,044}{0,018} \right)^2 + \left(\frac{0,044 \cdot 0,044}{0,018 \cdot 10,895} \right)^2 \right]} = 182,798 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_0 = M_{эм.н} - M_{ов.н} = 182,798 - 178,34 = 4,458 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Механические характеристики двигателя и нагрузки изображены на рисунке 29.

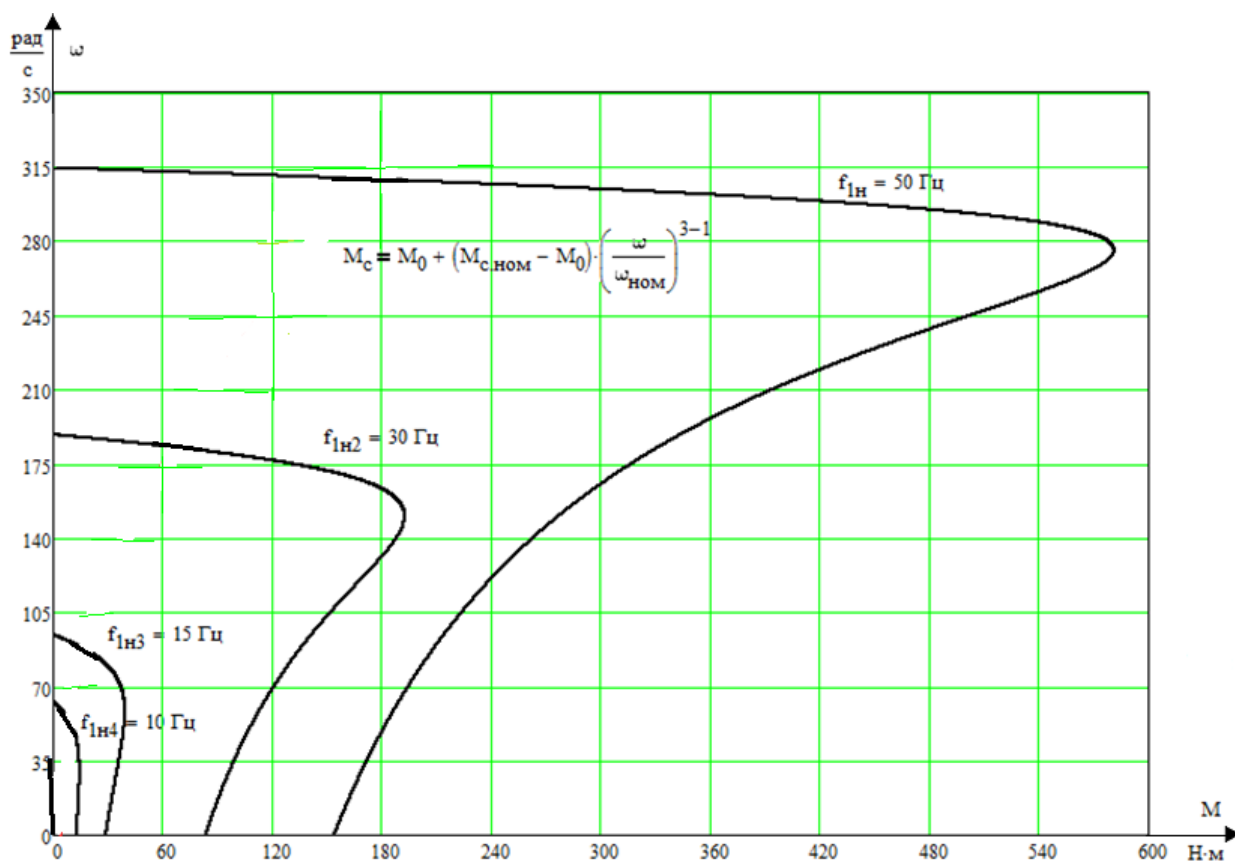


Рисунок 29 – Искусственные механические характеристики $M(\omega)$ при частотном регулировании.

Найдем частоты вращения, при которых происходит пересечение механических характеристик нагрузки и двигателя:

1. при $f_{1н1}=50$ Гц – $\omega_{p1}=308,6$ рад/с;
2. при $f_{1н2}=30$ Гц – $\omega_{p2}=182,65$ рад/с;
3. при $f_{1н3}=15$ Гц – $\omega_{p3}=87,1$ рад/с;
4. при $f_{1н4}=10$ Гц – $\omega_{p4}=52,8$ рад/с;

Найдем значения момента нагрузки и скольжение для разных частот вращения.

1.

$$M_{C1} = M_0 + (M_{C.HOM} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega_{p1}}{\omega_{HOM}} \right)^2 = 4,458 + (178,34 - 4,458) \cdot \left(\frac{308,6}{308,4} \right)^2 = 178,566 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p1} = \frac{\omega_{01} - \omega_{p1}}{\omega_{01}} = \frac{314,159 - 308,6}{314,159} = 0,018.$$

2.

$$M_{C2} = M_0 + (M_{C.HOM} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega_{p2}}{\omega_{HOM}} \right)^2 = 4,458 + (178,34 - 4,458) \cdot \left(\frac{182,65}{308,4} \right)^2 = 65,449 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p2} = \frac{\omega_{02} - \omega_{p2}}{\omega_{02}} = \frac{188,496 - 182,65}{188,496} = 0,031.$$

$$3. \quad M_{C3} = M_0 + (M_{C.HOM} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega_{p3}}{\omega_{HOM}} \right)^2 = 4,458 + (178,34 - 4,458) \cdot \left(\frac{87,1}{308,4} \right)^2 = 18,327 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p3} = \frac{\omega_{03} - \omega_{p3}}{\omega_{03}} = \frac{94,248 - 87,1}{94,248} = 0,076.$$

$$4. \quad M_{C4} = M_0 + (M_{C.HOM} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega_{p4}}{\omega_{HOM}} \right)^2 = 4,458 + (178,34 - 4,458) \cdot \left(\frac{52,8}{308,4} \right)^2 = 9,554 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p4} = \frac{\omega_{04} - \omega_{p4}}{\omega_{04}} = \frac{62,832 - 52,8}{62,832} = 0,16.$$

Производим расчет потерь в роторе по формуле: $\Delta P_2 = \omega_0 \cdot s_\delta \cdot M_{\bar{n}}$

$$\Delta P_{21} = \omega_{01} \cdot s_{p1} \cdot M_{c1} = 314,159 \cdot 0,018 \cdot 178,566 = 1009,767 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_{22} = \omega_{02} \cdot s_{p2} \cdot M_{c2} = 188,496 \cdot 0,031 \cdot 65,449 = 382,442 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_{23} = \omega_{03} \cdot s_{p3} \cdot M_{c3} = 94,248 \cdot 0,076 \cdot 18,327 = 131,273 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_{24} = \omega_{04} \cdot s_{p4} \cdot M_{c4} = 62,832 \cdot 0,16 \cdot 9,554 = 96,047 \text{ Вт}.$$

Если мы проанализируем потери в роторе, мы можем сказать, что уменьшение частоты приводит к уменьшению и потерь. Это можно объяснить тем, что момент нагрузки прямо пропорционален частоте.

Из 4 рассчитанных точек построим кривую, которая отражает зависимость потерь в роторе от частоты питающего напряжения. Это показано на рисунке 30.

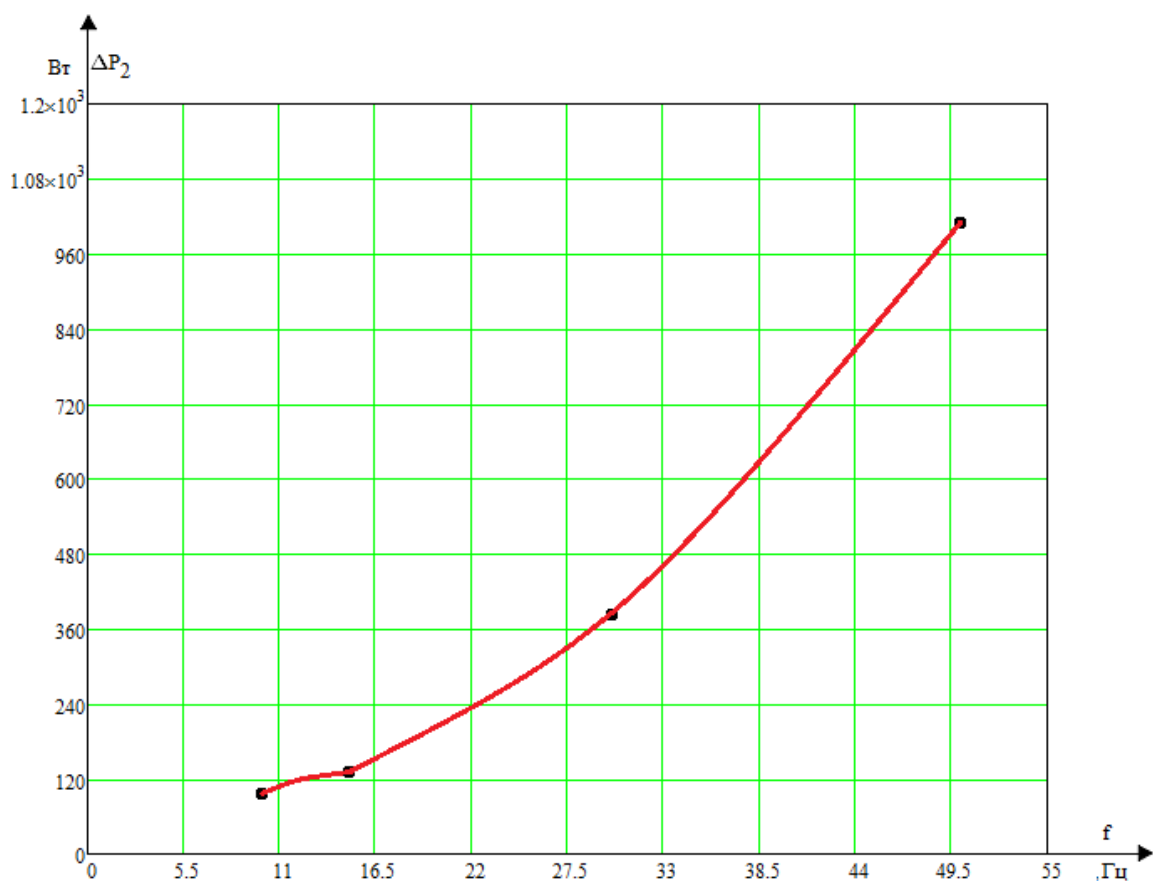


Рисунок 30 – Зависимость потерь в роторе от частоты питающего напряжения.

4 МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

4.1 Расчет переходных процессов скорости и момента

Моделирование асинхронного двигателя возможно с помощью программы MATLAB Simulink. Чтобы создать имитационную модель, мы находим следующие параметры двигателя.

Индуктивность фазы обмотки статора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1H}}{2\pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,147}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0004689 \text{ Гн.}$$

Индуктивность фазы обмотки ротора:

$$L_{2\sigma} = \frac{X'_{2H}}{2\pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,201}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0006393 \text{ Гн.}$$

Индуктивность цепи намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu H}}{2\pi \cdot f_{1H}} = \frac{10,895}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,035 \text{ Гн.}$$

Модель изображена на рисунке 31.

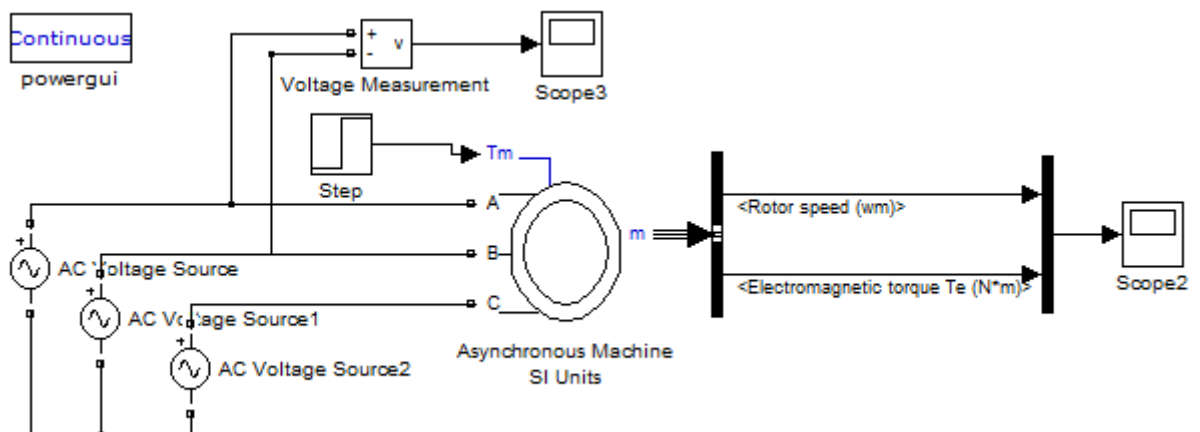


Рисунок 31 - Имитационная модель прямого запуска АД.

Переходные свойства скорости и крутящего момента, а также динамические свойства для прямого запуска АД без нагрузки и во время скачка нагрузки перечислены ниже.

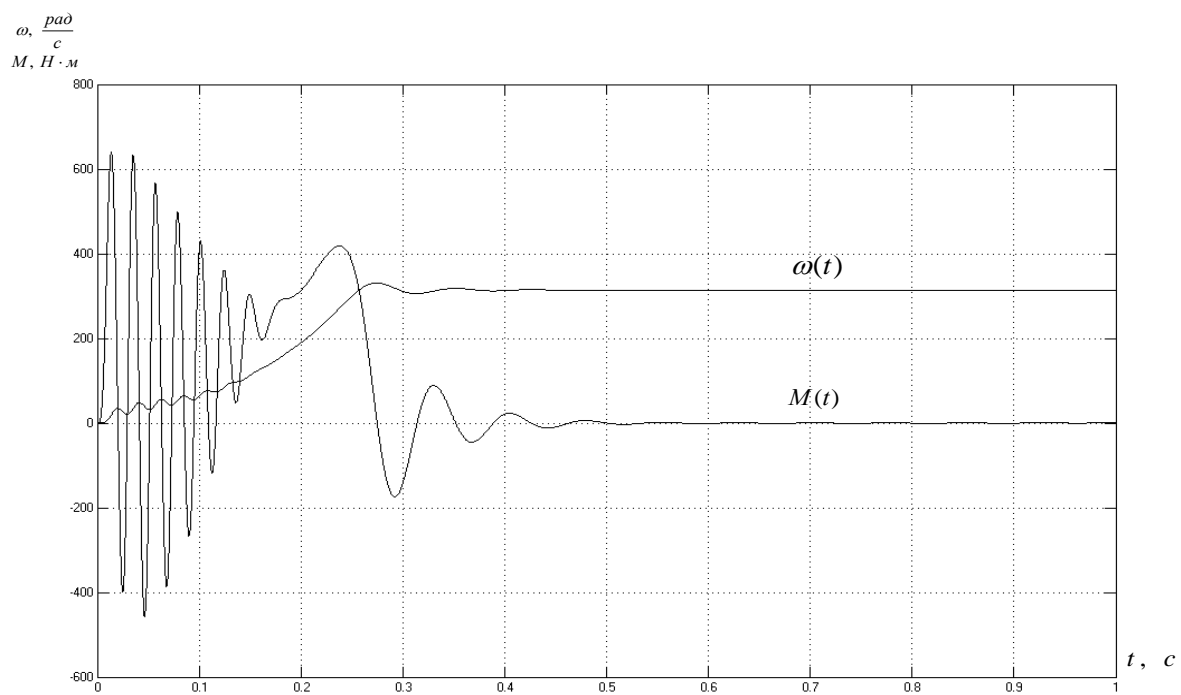


Рисунок 32 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске.

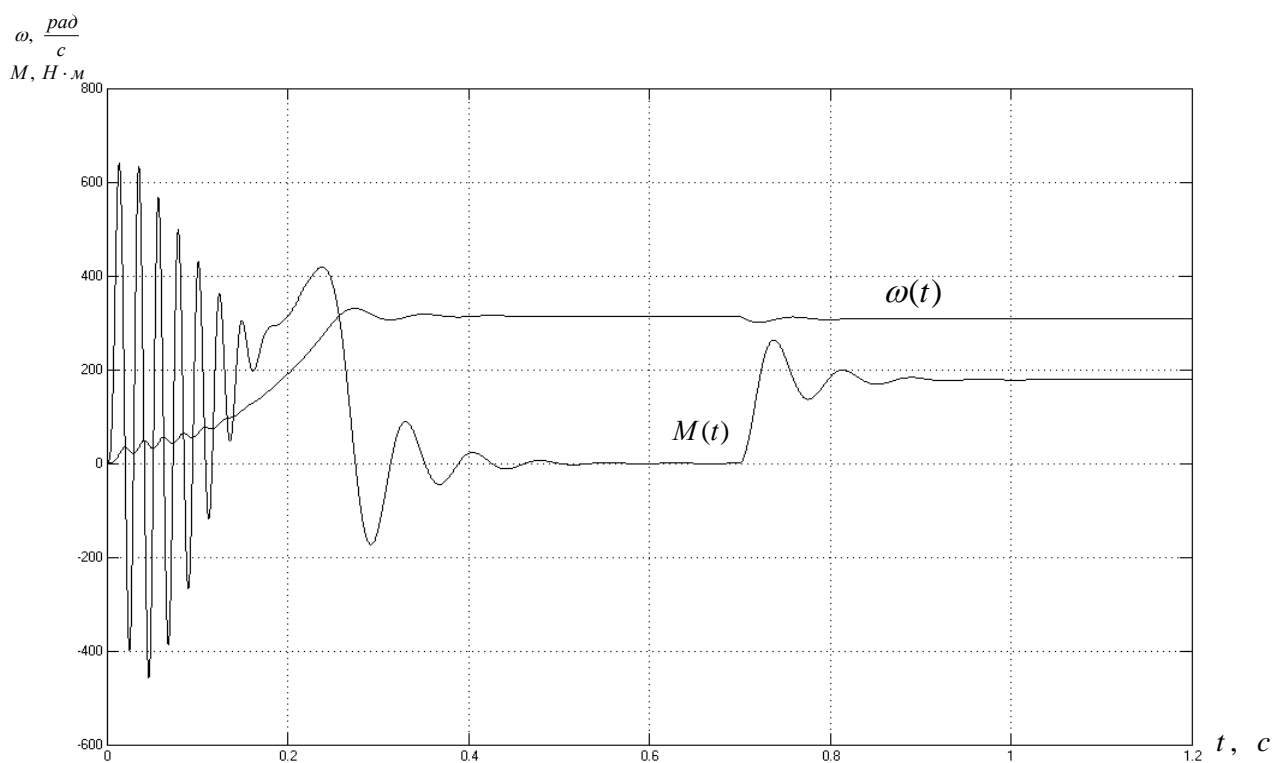


Рисунок 33 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки.

4.2 Силовой канал электропривода. Структурная схема силового канала

Силовой канал электропривода включает в себя:

- преобразователь частоты;
- электродвигатель;
- механическая система;

На рисунке 34 изображена структурная схема силового канала системы непрерывного линейризованного преобразователя - АД с фиксированной системой координат. Входные величины структурной схемы являются составляющими управляющего напряжения преобразователя $U_{уп\alpha}$ и $U_{уп\beta}$, величина на выходе – угловая скорость двигателя ω . Структурная схема на рисунке 20, характеризуется координатами :

$U_{1\alpha}, U_{1\beta}, I_{1\alpha}, I_{1\beta}, \psi_{2\alpha}, \psi_{2\beta}$ – составляющие напряжения, тока статора и потокосцепления ротора в ортогональной системе координат α и β ;

$M_{двэм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

Математическое описание силового канала системы преобразователь-асинхронный электродвигатель в фиксированной системе координат α, β , выровненная вдоль вектора потокосцепления ротора.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1\alpha} = R_2 \cdot (T_2 p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_2 \cdot (T_2 p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_\mu \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\beta} - L_\mu \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{эм} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{Jp} \cdot (M_{эм} - M_c) \end{array} \right.$$

На основе этой системы уравнений была создана структурная схема (рисунок 34), описывающая процессы в машине, значения напряжений, токов и потокосцепления действуют в синусоидальной форме.

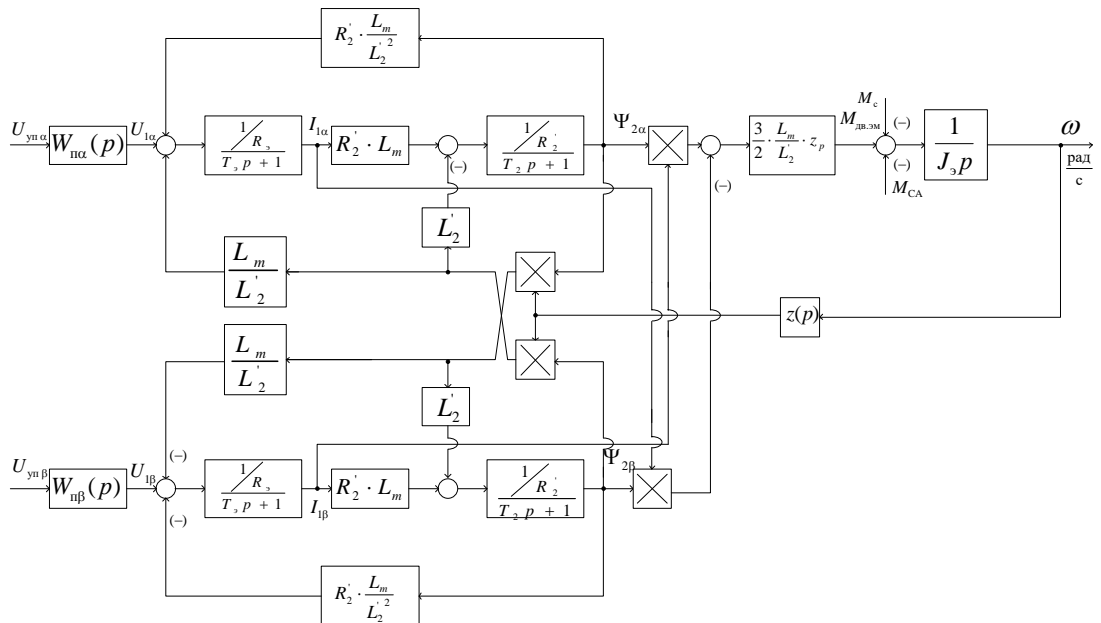


Рисунок 34 - Структурная схема силового канала системы преобразователь-асинхронный электродвигатель в неподвижной двухфазной системе координат.

С помощью MATLAB Simulink в фиксированной системе координат построена имитационная модель силового канала преобразовательной системы-асинхронного электродвигателя.

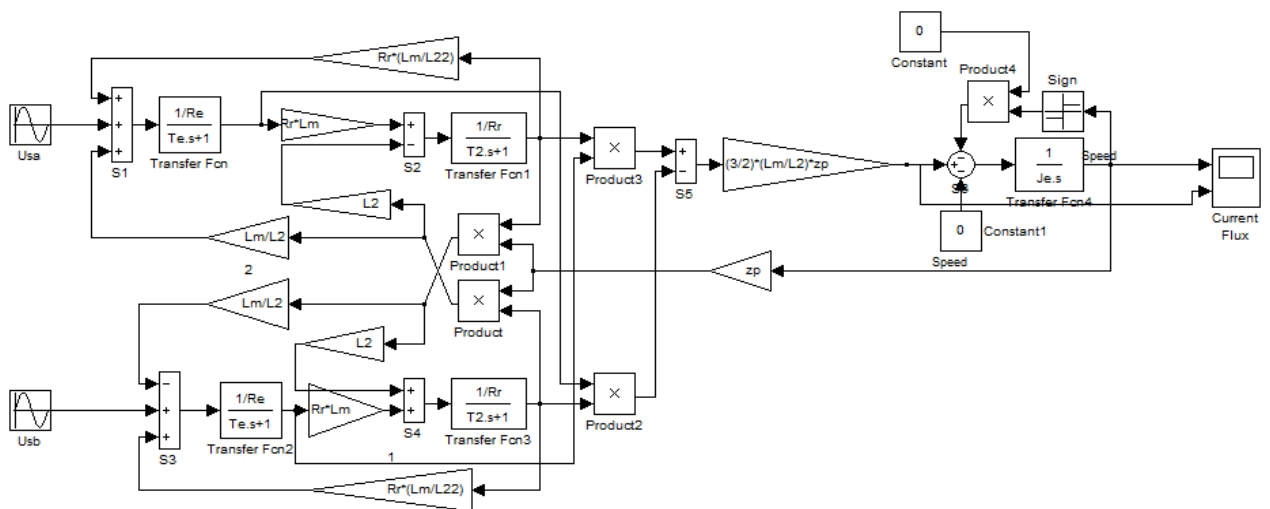


Рисунок 35 – Имитационная модель силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель.

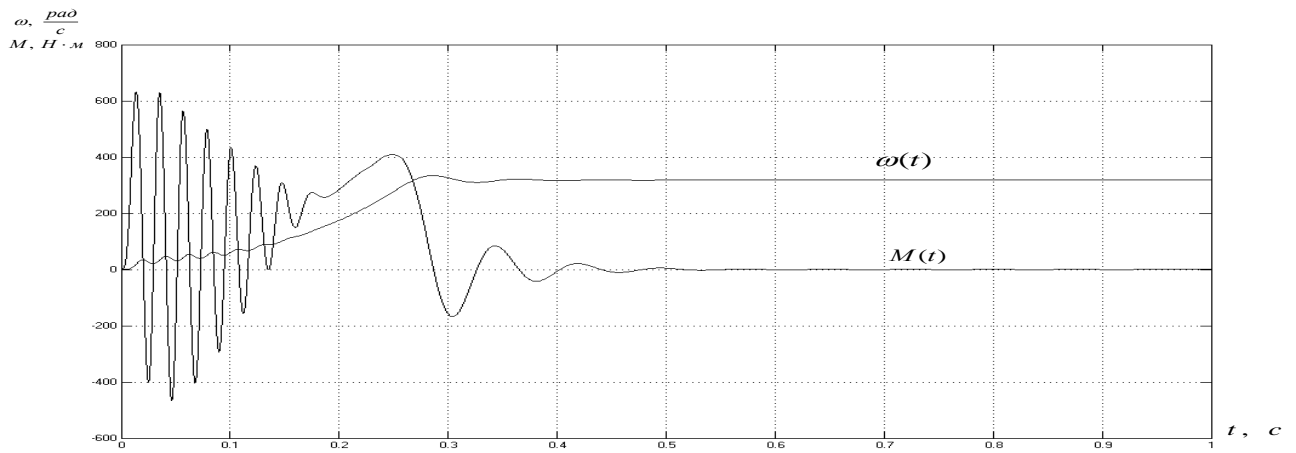


Рисунок 36 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске.

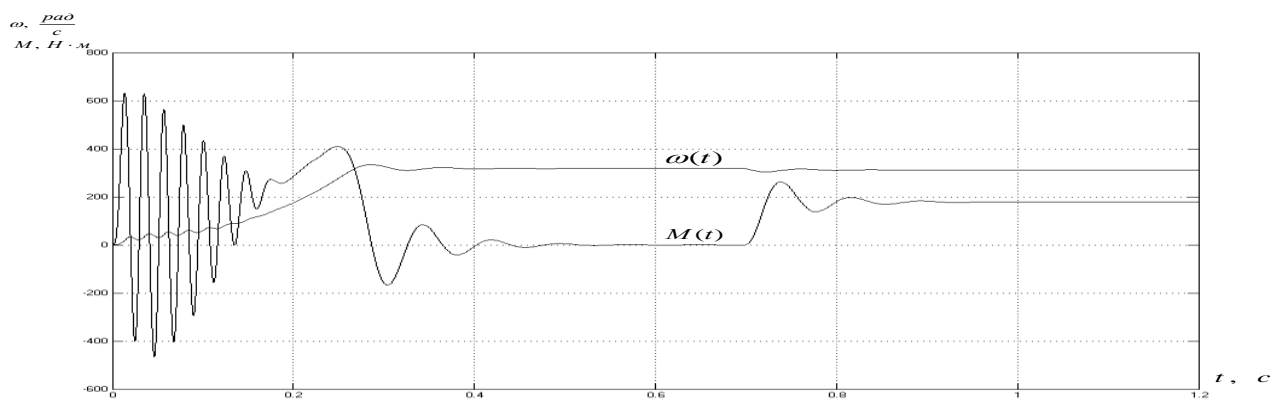


Рисунок 37 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки.

Сравним переходные процессы, имитационную модель канала мощности системы преобразователь-асинхронный электродвигатель, составленную в Simulink на основе системы уравнений, и имитационную модель, использующую предварительно изготовленную модель АД.

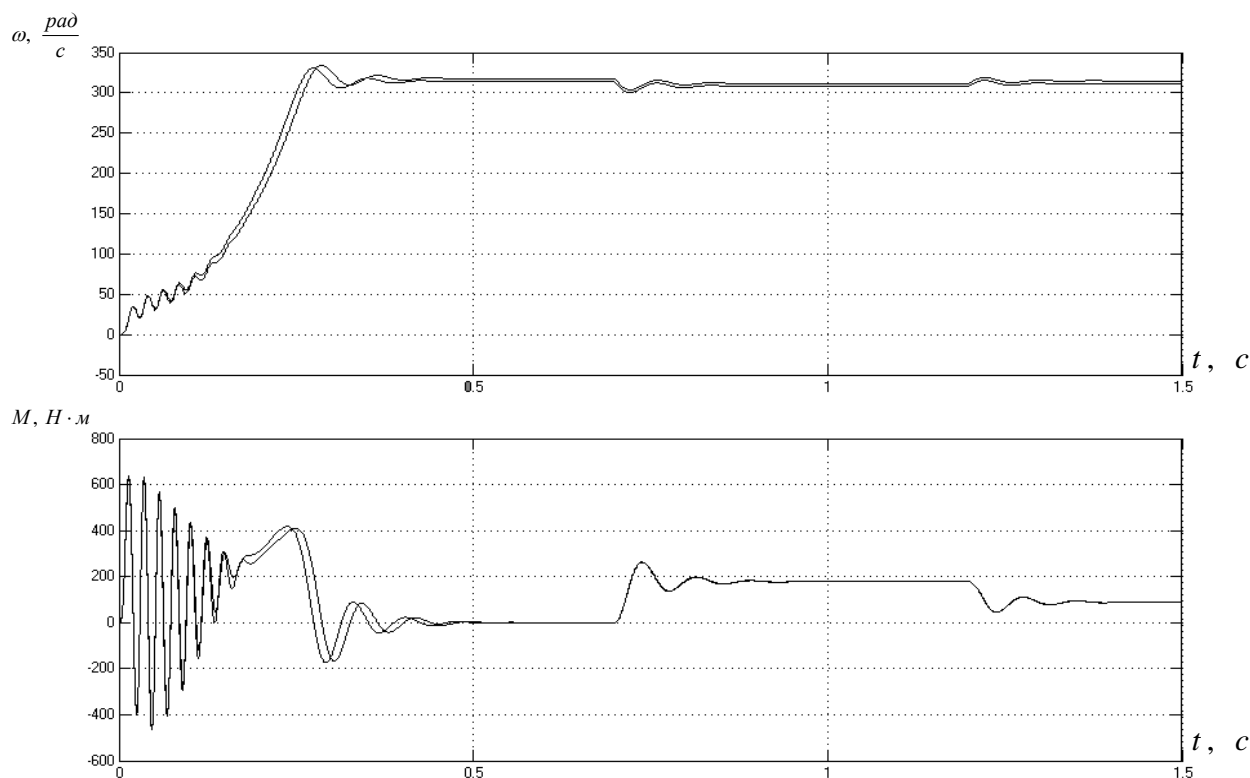


Рисунок 38 – Переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске, набросе и сбросе нагрузки.

Как видно на рисунке 38, переходные процессы практически идентичны в обоих случаях. Поэтому при моделировании достаточно использовать готовую модель двигателя из библиотеки SimPowerSystem, пакета Simulink и системы MatLab.

4.3 Расчет системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» с I_R-компенсацией.

Доказано, что в законах U_{1j}/f_{1j} при снижении частоты питающего напряжение, усиливается влияние сопротивления обмотки статора. Этот факт делает невозможным обеспечение требуемых механических и энергетических характеристик при изменении нагрузки и скорости в широком диапазоне одновременно. В частотно-регулируемых асинхронных электроприводах со скалярным управлением, возможно применение таких и законов

регулирования: E_1/f_1 , E_m/f_1 , E'_2/f_1 .

Практика показывает, что чаще используют законы: $E_{1j} / f_{1j} = const$,
 $E_{1j} / f_{1j}^2 = const$, $E_{1j} / \sqrt{f_{1j}} = const$.

Если регулирование скорости происходит по закону E_{1j} / f_{1j} , требуется увеличить фазное напряжение $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$ на величину падения напряжения $I_1 \cdot R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора. Данный способ называют частотным регулированием с IR-компенсацией.

Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией представлена на рисунке 39.

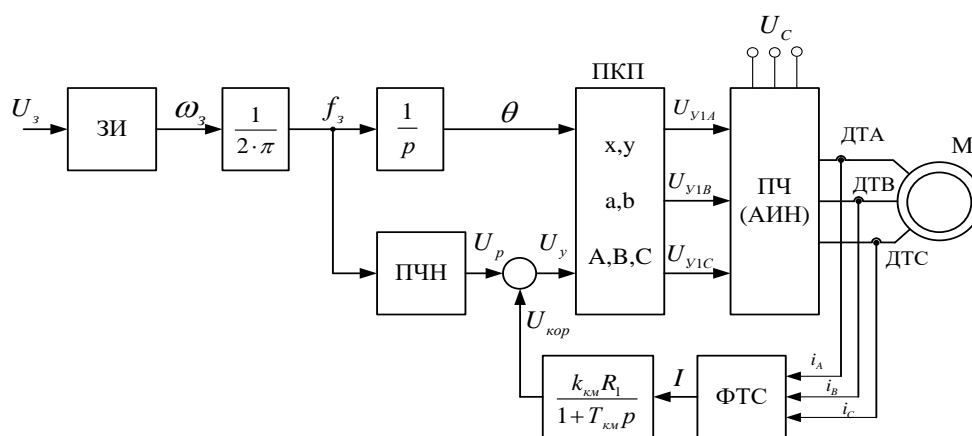


Рисунок 39 – Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией.

Задающим сигналом является напряжение U_3 , которому соответствует частота f_3 . В этом случае управление пуском и остановом двигателем осуществляется с помощью панели преобразователя. ПЧН (преобразователь частота-напряжение), создает необходимую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением, в результате устанавливается закон частотного регулирования $E_{1j} / f_{1j}^2 = const$.

Сигнал управления:

$$U_y = U_p + U_{кор} = U_p + k_{км} \cdot R_1 \cdot I ,$$

где $k_{км}$ – коэффициент положительной обратной связи по току;

R_1 - активное сопротивление фазы обмотки статора АД;

I – сигнал пропорциональный действующим значениям токов i_a, i_b, i_c обмоток статора АД.

Сигналы $U_{1yA}, U_{1yB}, U_{1yC}$ формируют фазные напряжения на выходе автономного инвертора напряжения (АИН).

Расчет статических характеристик.

Коэффициенты компенсации: $K_{KM}=0,25; 0,5; 0,75$.

Эквивалентные сопротивление ротора (с учетом ИР – компенсации):

$$R_{1ЭKB1} = R_1 \cdot (1 - K_{KM1}) = 0,044 \cdot (1 - 0,25) = 0,033 \text{ Ом.}$$

$$R_{1ЭKB2} = R_1 \cdot (1 - K_{KM2}) = 0,044 \cdot (1 - 0,5) = 0,022 \text{ Ом.}$$

$$R_{1ЭKB3} = R_1 \cdot (1 - K_{KM3}) = 0,044 \cdot (1 - 0,75) = 0,011 \text{ Ом.}$$

Строим электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ используя выбранные частоты и коэффициенты K_{KM} (рис.21) по выражениям

$$I_2'(s, f, K_{KM}) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_{1ЭKB}(K_{KM}) + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_{1ЭKB}(K_{KM}) \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2}},$$

Где $R_{1ЭKB}(K_{KM}) = R_1 \cdot (1 - K_{KM})$ – эквивалентное активное сопротивление статорной цепи.

$$\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s),$$

$$f_{1*}(f) = \frac{f}{f_{1H}} \text{ – относительная частота питающего напряжения;}$$

$\omega_0(f) = \omega_{0H} \cdot f_{1*}(f)$ – скорость идеального холостого хода при данной частоте напряжения питания;

в диапазоне скорости $\omega=0 \div \omega_0$.

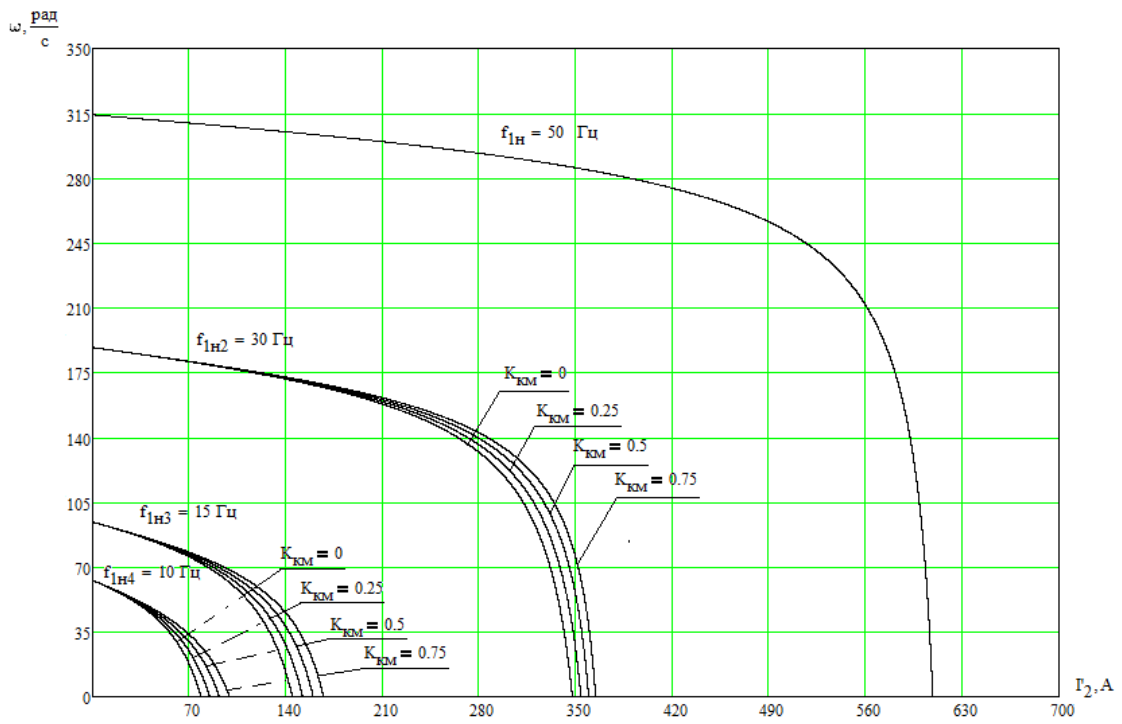


Рисунок 40 – Искусственные электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ при частотном регулировании скорости с ИР-компенсацией.

Электромеханические характеристики:

$$I_1(s, f, K_{\text{КМ}}) = \sqrt{(I_0(f))^2 + (I'_2(s, f, K_{\text{КМ}}))^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot I'_2(s, f, K_{\text{КМ}}) \cdot \sin \varphi_2(s, f, K_{\text{КМ}})}$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s),$$

$$\sin \varphi_2(s, f, K_{\text{КМ}}) = \frac{X_{\text{КН}} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_{1\text{ЭКВ}}(K_{\text{КМ}}) + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{КН}}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}};$$

где

$$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\text{МН}} \cdot f_{1*}(f)}$$

ток холостого хода асинхронного двигателя в зависимости от частоты.

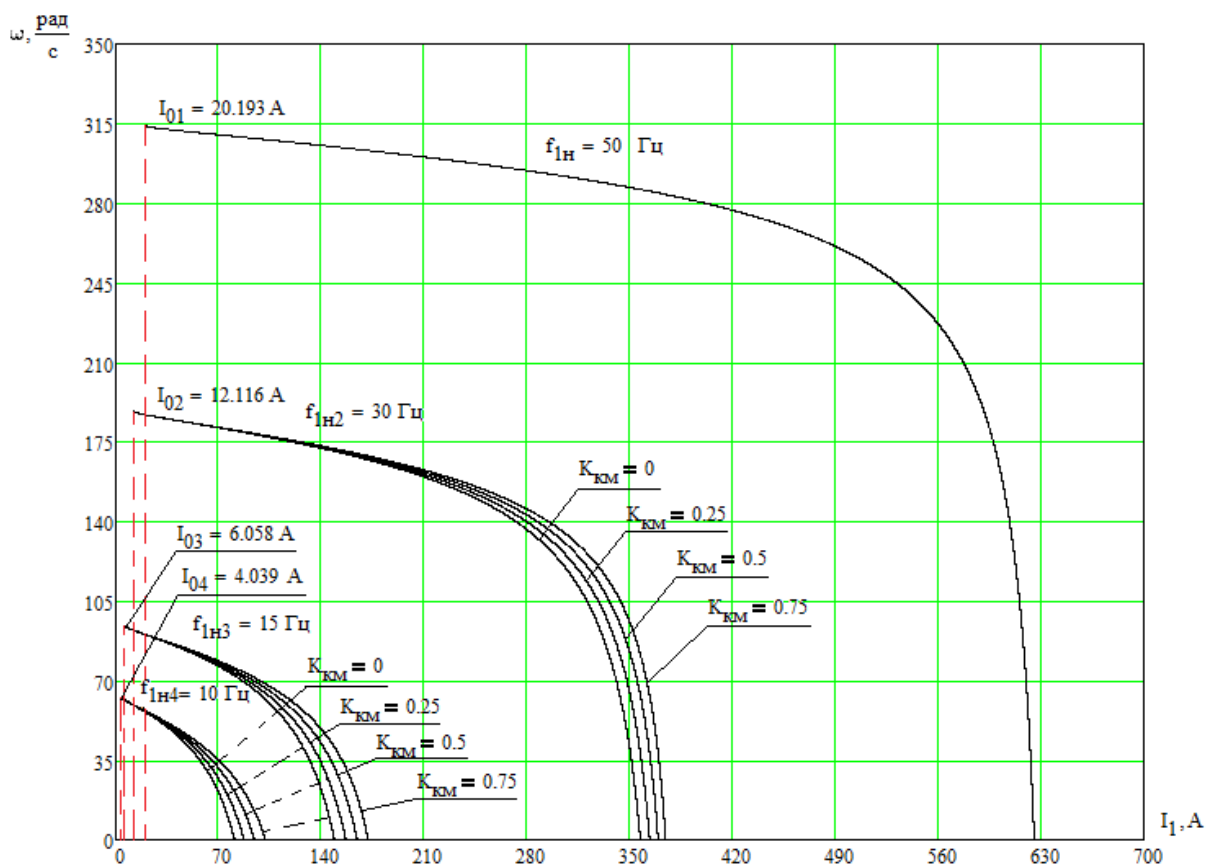


Рисунок 41– Искусственные электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ при частотном регулировании скорости с ИР-компенсацией.

Механические характеристики асинхронного двигателя $M(\omega)$ рассчитываем для выбранных частот и коэффициентов K_{KM} по выражениям

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_{1\Delta KB}(K_{KM}) + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1\Delta KB}(K_{KM}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{MH} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2 \right]}$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s).$$

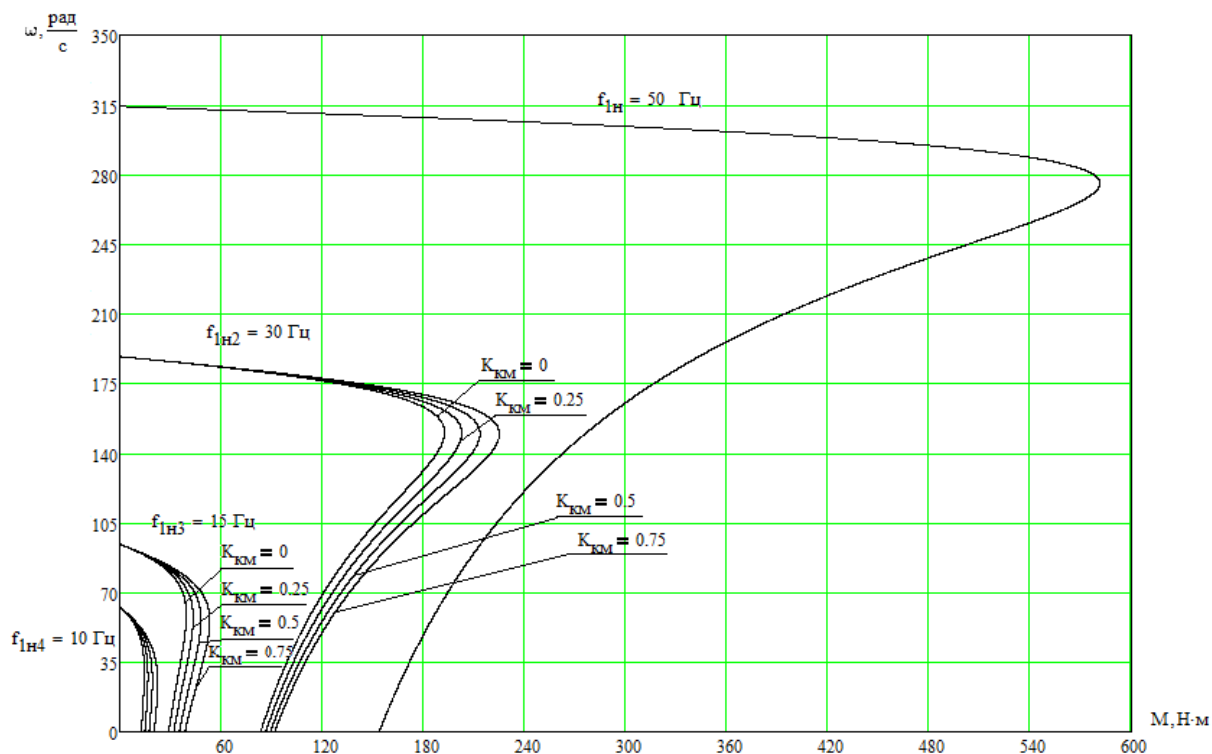


Рисунок 42 – Искусственные механические характеристики $M(\omega)$ при частотном регулировании скорости с ИР-компенсацией.

При работе на естественной характеристике ($f=50$ Гц) ИР-компенсация не применяется, так как фазное напряжение возрастает выше номинального.

- электромеханические характеристики;

при увеличении коэффициента компенсации крутящего момента токи короткого замыкания имеют большие значения, и чем ниже частота обмоток статора, тем больше эти различия. Это связано с тем, что на низких частотах доля падения напряжения на активном резисторе больше, поэтому доля компенсации больше.

- механические характеристики;

по мере увеличения коэффициента компенсации крутящего момента критический момент возрастает, характеристики становятся более жесткими. Анализируя график, становится понятно, что различия критического и пускового момента в разное время малозаметны. Это можно объясняется, высокой мощностью двигателя и низким сопротивлением обмотки статора, соответственно, падение напряжения над ним небольшое.

4.4 Расчет переходных процессов скорости и момента для пуска, сброса и наброса нагрузки на валу двигателя замкнутой системы «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель»

По функциональной схемой, представленной на рисунке 39, сделаем имитационную модель привода. Сначала определяем передаточные функции блоков в ее составе.

На рисунке 43 представлены математически рассчитанная и аппроксимированная ломаными линиями кривые зависимости $U_{1j} / f_{1j}^2 = const$.

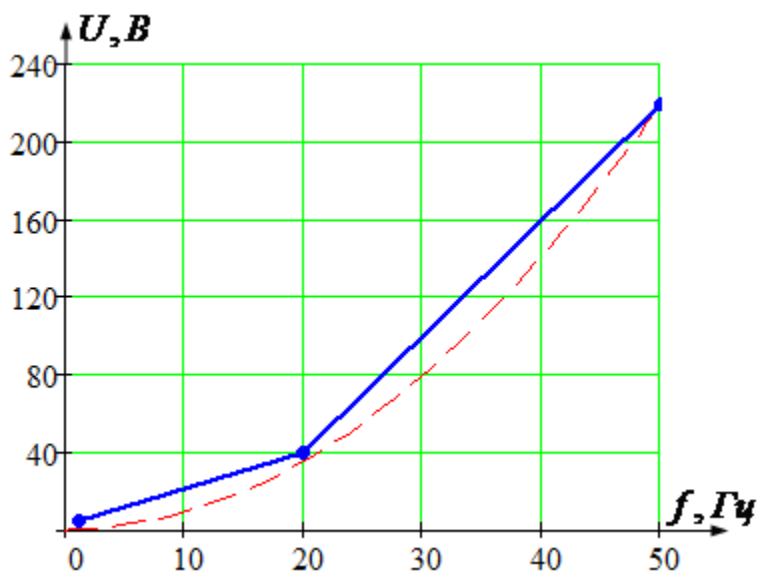


Рисунок 43 - Кривая зависимости $U(f)$.

Кривая задается в блоке ПЧН тремя точками:

1. $f = 1,3 \text{ Гц}$, $U = 10 \text{ В}$.
2. $f = 20 \text{ Гц}$, $U = 40 \text{ В}$.
3. $f = 50 \text{ Гц}$, $U = 220 \text{ В}$.

Инвертор напряжения - апериодическое звено. Передаточная функция:

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин}}{T_{ин} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0002p + 1},$$

где $k_{ин} = 1$ - коэффициент передачи инвертора;

$$T_{ин} = \frac{1}{f_{нч}} = \frac{1}{5000} = 0,0002$$

постоянная времени запаздывания автономного инвертора напряжения,

где $f_{нч} = 5000 \text{ Гц}$ - несущая частота инвертора.

Положительная обратная связь по току:

$$W_{om}(p) = \frac{k_{км}}{T_{км} \cdot p + 1} = \frac{0,1}{0,001 \cdot p + 1},$$

где $k_{км}$ - коэффициент положительной обратной связи по току, примем $k_{км} = 0,1$;

$T_{км}$ - постоянная времени задержки контура тока, время достаточное для определения мгновенного значения тока статора асинхронного двигателя с современными контроллерами составляет $T_{км} = 0,001$.

Имитационная модель изображена на рисунке 44. Модели входящих в нее блоков представлены на рисунках 45-47.

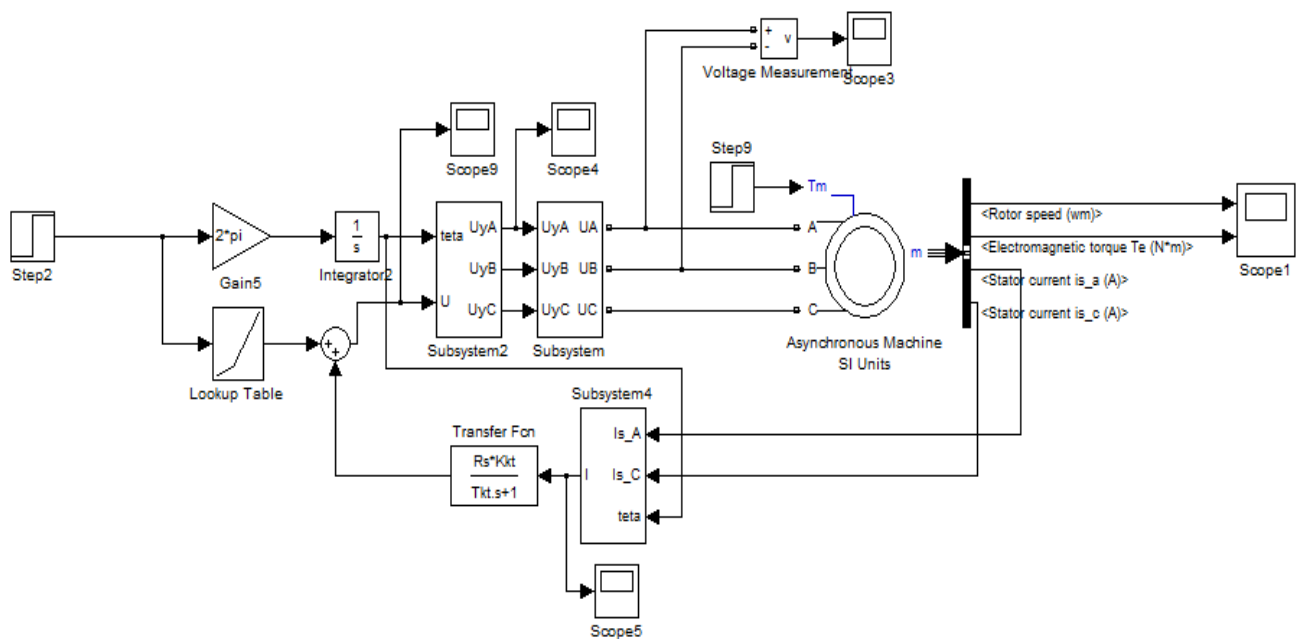


Рисунок 44 - Имитационная модель замкнутой системы ПЧ-АД с IR-компенсацией.

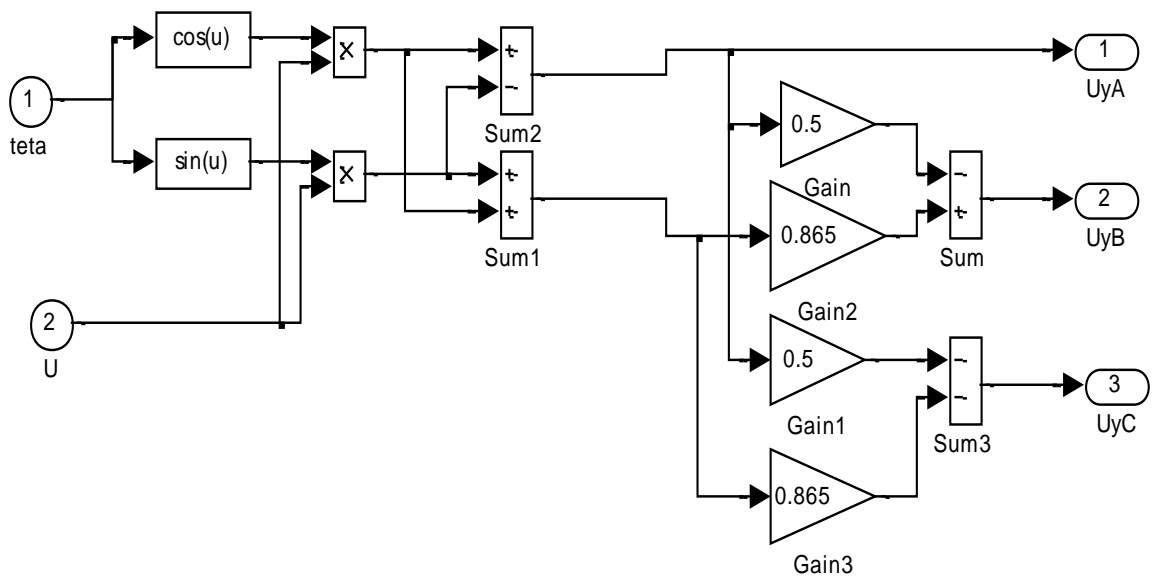


Рисунок 45 - Имитационная модель прямого координатного преобразователя.

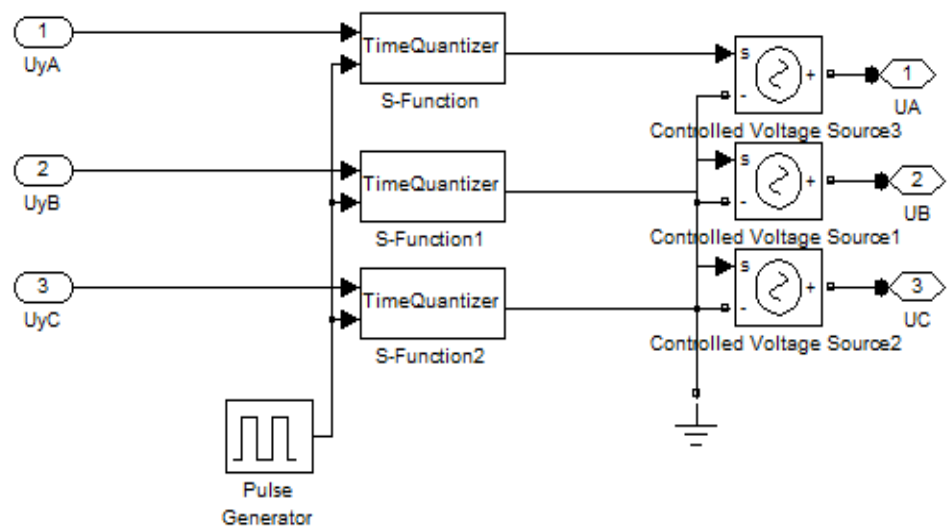


Рисунок 46 - Имитационная модель преобразователя частоты.

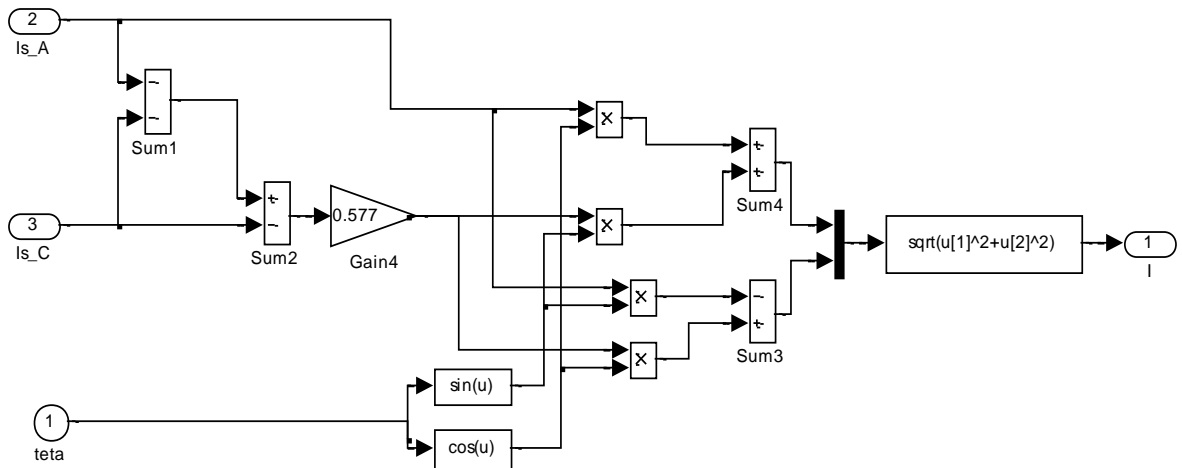


Рисунок 47 - Имитационная модель обратного координатного преобразователя.

Переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД и динамическая механическая характеристика при пуске с $k_{км} = 0,1$, представлены на рисунке 48.

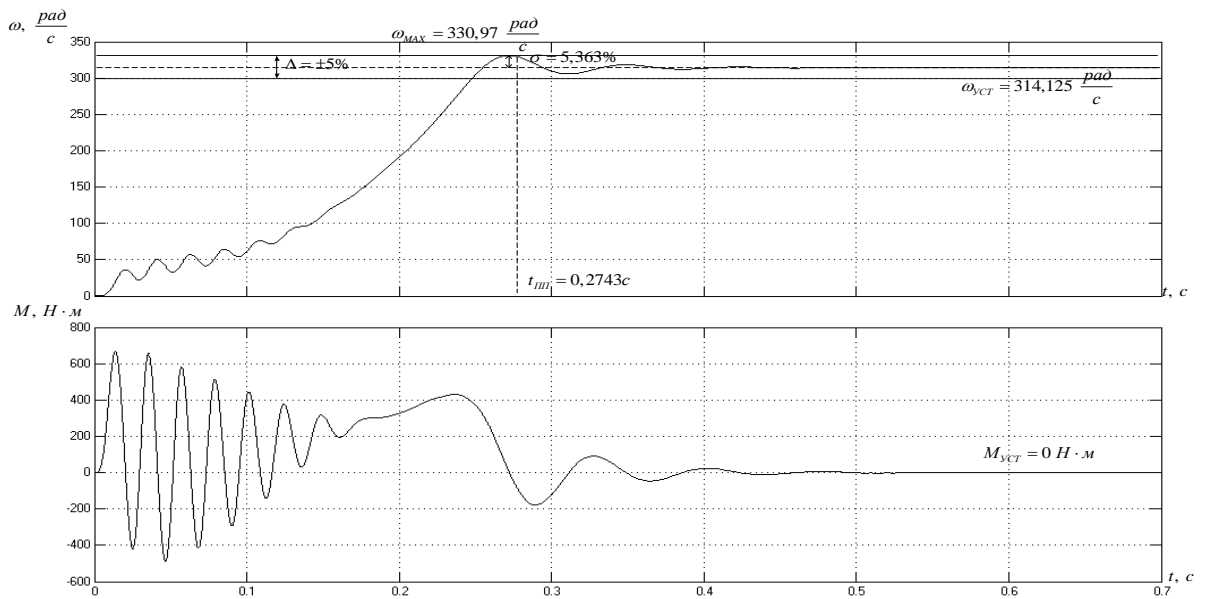


Рисунок 48 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске ($k_{км} = 0,1$).

Сравним снятые переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске с $k_{км} = 0,1$ и $k_{км} = 0,75$, изображены на рисунке 49.

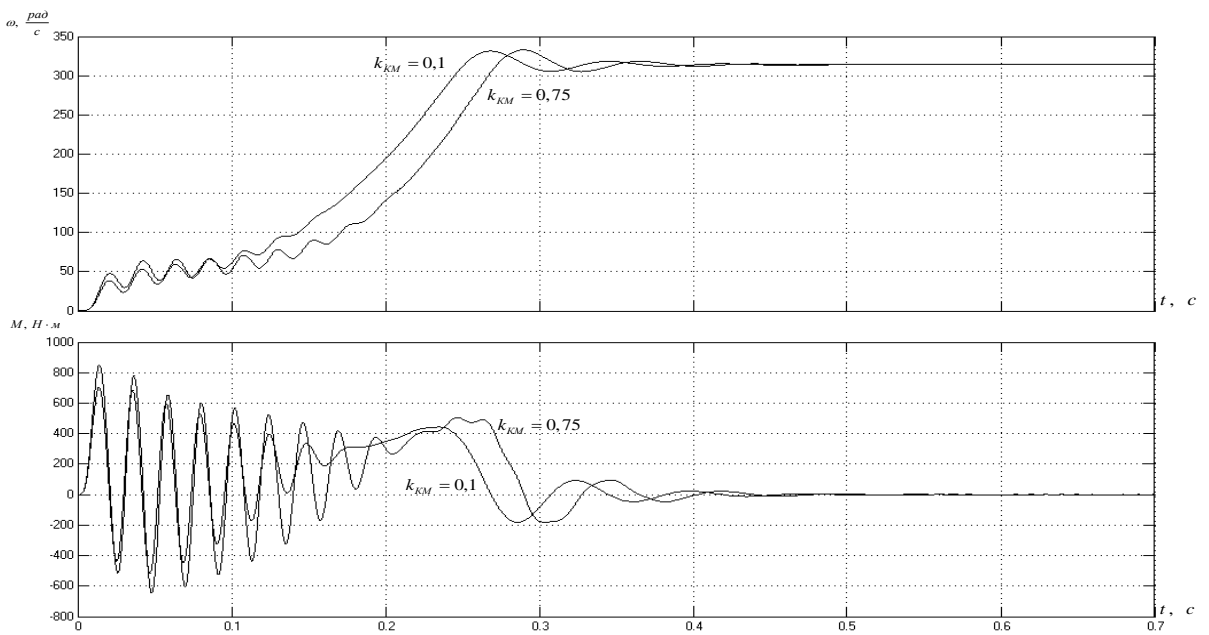


Рисунок 49 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске.

Как видно из полученных характеристик, время перехода и колебания электромагнитного момента двигателя увеличиваются с увеличением коэффициента IR- компенсации.

Имитационная модель, представляющая насосную нагрузку.

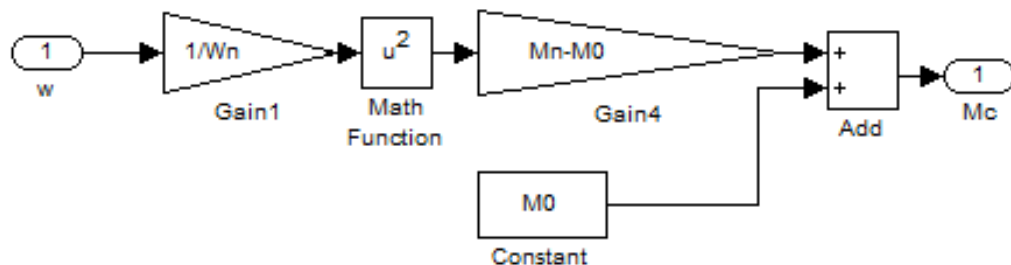


Рисунок 50– Имитационная модель насосной нагрузки.

Переходные характеристики давления, скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске под насосной нагрузкой с $k_{KM} = 0,1$.

4.5 Синтез регулятора давления

Средняя скорость течения воды в трубе:

$$v_{cp} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{0,083}{3,14 \cdot \frac{0,3^2}{4}} = 1,179 \text{ м/с}$$

где Q - подача, $м^3 / с$;

D - диаметр трубы, примем $D = 0,3 м$.

Давление при движении воды в трубе:

$$P = \frac{\rho \cdot v_{cp}^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h + p = \frac{1000 \cdot 1,179^2}{2} + 1000 \cdot 9,81 \cdot 42 + 196133 = 608847,933 \text{ Па} = 6 \text{ атм}$$

;

где ρ - плотность воды, $кг/м$

v_{cp} - средняя скорость движения потока, $м/с$;

g - ускорение свободного падения, $м/с$;

h - напор, $м$;

p – статическое давление, $Па$.

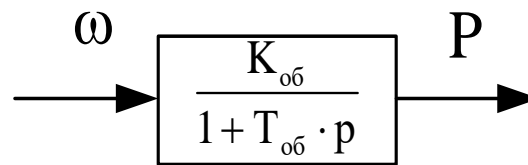


Рисунок 51 – Модель насоса, в MatLab Simulink, выраженная апериодическим звеном.

$T_{об} = 0,1$ – время разгона насоса;

$$K_{об} = \frac{P}{\omega_{нас.н}} = \frac{6}{303,665} = 0,01976$$

где $\omega_{нас.н}$ - номинальная скорость насоса, $рад/с$;

P - давление, при скорости $\omega_{нас.н}$, $атм$.

Модель контура стабилизации давления изображена на рисунке 52.

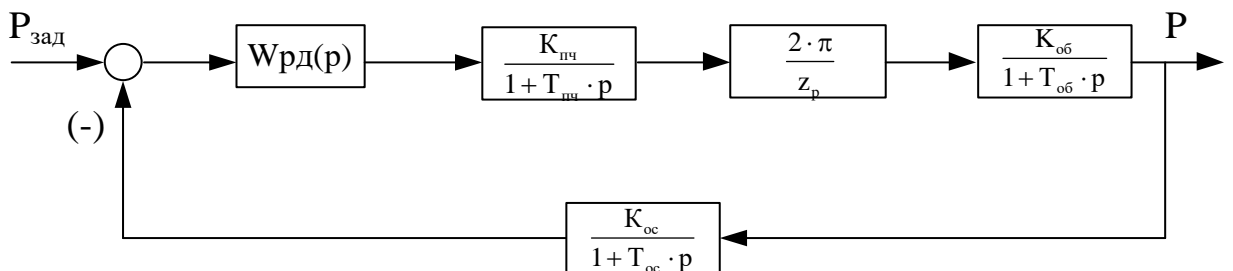


Рисунок 52 – Структурная схема контура давления.

Обозначения на рисунке 52:

$W_{рд}(p)$ – передаточная функция регулятора веса;

$K_{пч}$ – коэффициент передачи инвертора;

$K_{об}$ – коэффициент передачи насоса;

$K_{ос}$ – коэффициент передачи обратной связи;

$T_{пч}$ – постоянная времени запаздывания автономного инвертора

напряжения;

$T_{об}$ – постоянная времени запаздывания насоса;

$T_{ос}$ – постоянная времени запаздывания обратной связи.

Разомкнутый контур давления, настроенный на модульный оптимум, должен иметь передаточную функцию вида:

$$W_{то}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)}$$

где T_{μ} - малая постоянная времени контура давления.

Передаточная функция разомкнутого контура веса рассматриваемой системы определяется выражением:

$$W_{разкд}(p) = W_{рд}(p) \cdot \frac{2\pi}{z_p} \cdot \frac{K_{пч}}{1 + T_{пч}p} \cdot \frac{K_{об}}{1 + T_{об}p} \cdot \frac{K_{ос}}{1 + T_{ос}p}$$

отсюда получаем:

$$W_{рд}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} p \cdot (T_{\mu} p + 1)} \cdot \frac{(T_{пч}p + 1)(T_{об}p + 1)(T_{ос}p + 1)}{k_{пч} \cdot k_{об} \cdot k_{ос}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}$$

Во время оптимизации инерционность в канале обратной связи является «маленькой» и за малую некомпенсированной постоянной времени всей цепи принимают:

$$T_{\mu к} = T_{\mu} + T_{ос} = 0,0002 + 0,125 = 0,1252$$

$$T_{об} = T_{пч}$$

$$T_{пч} = T_{\mu}$$

$$W_{рд}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu\kappa} p \cdot (T_{\mu\kappa} p + 1)} \cdot \frac{(T_{\mu\kappa} p + 1)(T_{об} p + 1)}{k_{пч} \cdot k_{об} \cdot k_{oc}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}$$

$$W_{рд}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu\kappa} p} \cdot \frac{(T_{об} p + 1)}{k_{пч} \cdot k_{об} \cdot k_{oc}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}$$

$$W_{рд} = \frac{T_{об} \cdot z_p}{2 \cdot T_{\mu\kappa} \cdot k_{пч} \cdot k_{об} \cdot k_{oc} \cdot 2 \cdot \pi} \cdot \frac{(T_{об} p + 1)}{T_{об} p} =$$

$$= \frac{0,1 \cdot 1}{2 \cdot 0,1252 \cdot 1 \cdot 0,01976 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3,14} \cdot \frac{(0,1 p + 1)}{0,1 p} = 3,217 \cdot \frac{(0,1 p + 1)}{0,1 p}$$

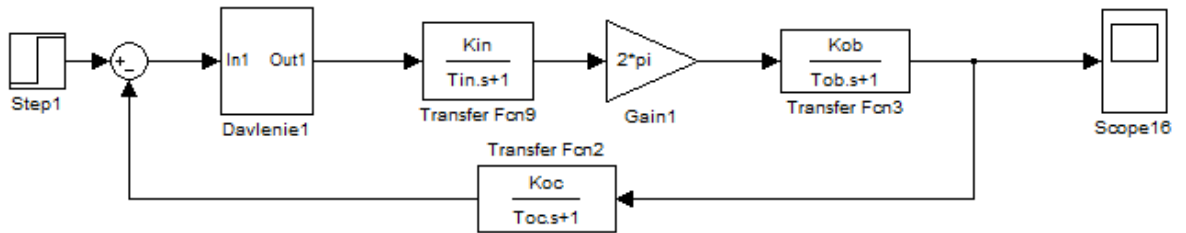


Рисунок 53 – Имитационная модель контура давления, собранная в Matlab Simulink.

В имитационную модель, рисунок 39, добавляем регулятор давления и насосную нагрузку.

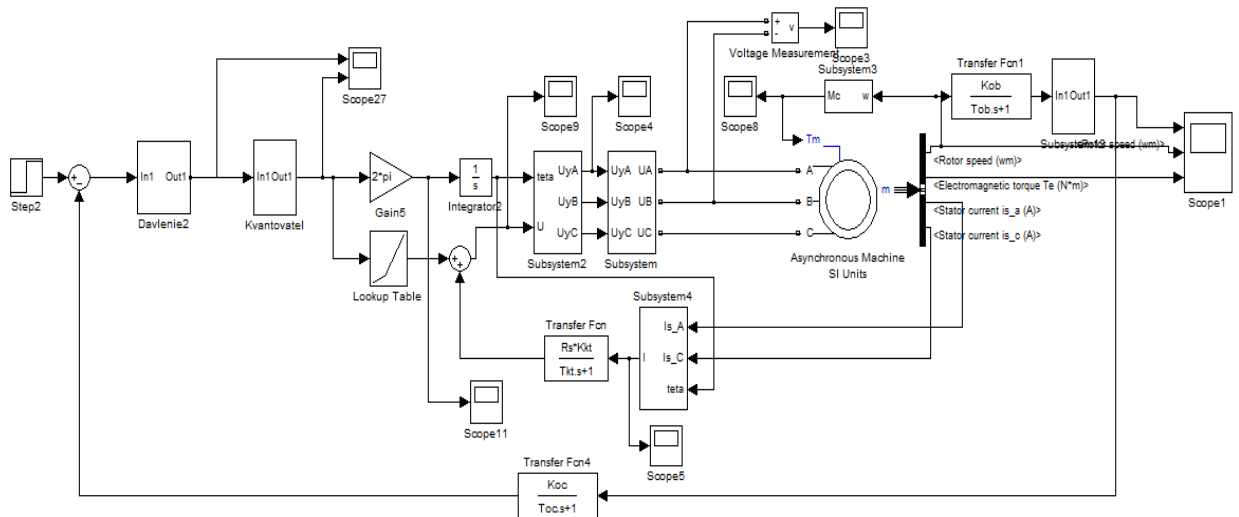


Рисунок 54 – Имитационная модель автоматической системы регулирования давления в водозаборном узле.

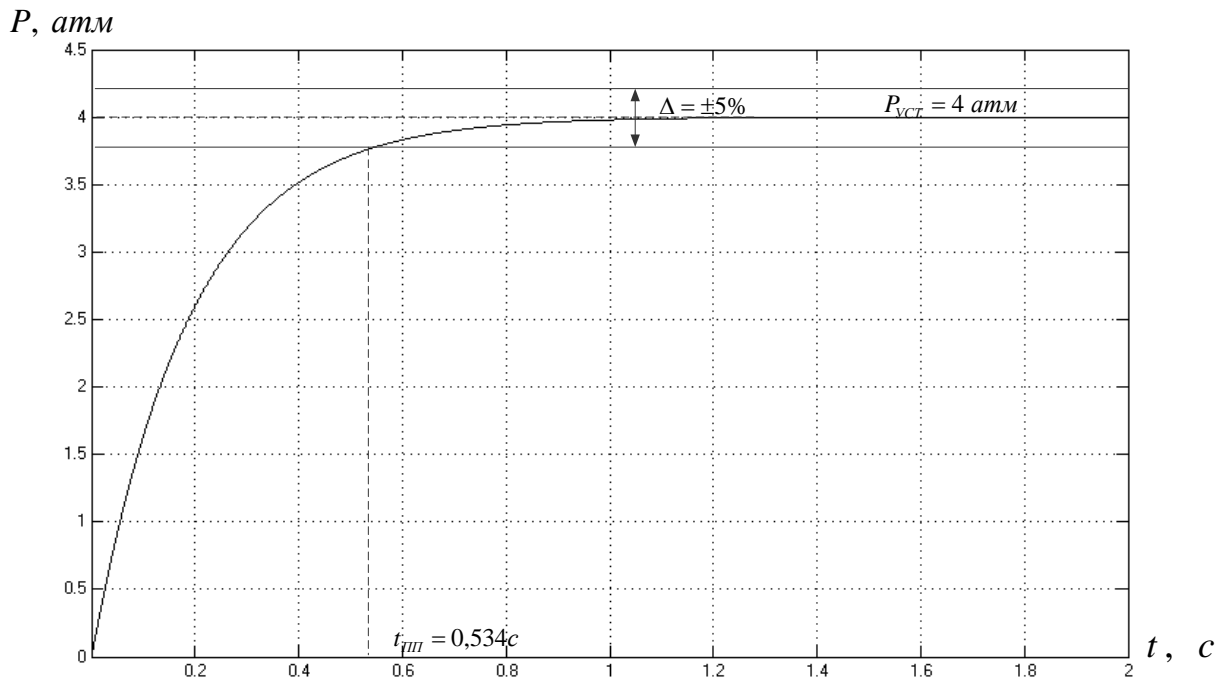


Рисунок 55 – Переходные процессы контура давления.

Таблица 6 – Показатели качества работы контура давления

$t_{PY1}^{(5)}, c$	$t_{PY2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta P_{уст}, A$
Ожидаемые показатели			
0,51332	0,51332	4,3%	0
Результаты моделирования			
0,534	0,534	0%	0

$$t_{PY1.\Phi}^{(5)} = t_{PY2.\Phi}^{(5)} = 4,1 \cdot (T_{\mu} + T_{oc}) = 4,1 \cdot (0,0002 + 0,125) = 0,51332c ; \sigma = 0\% .$$

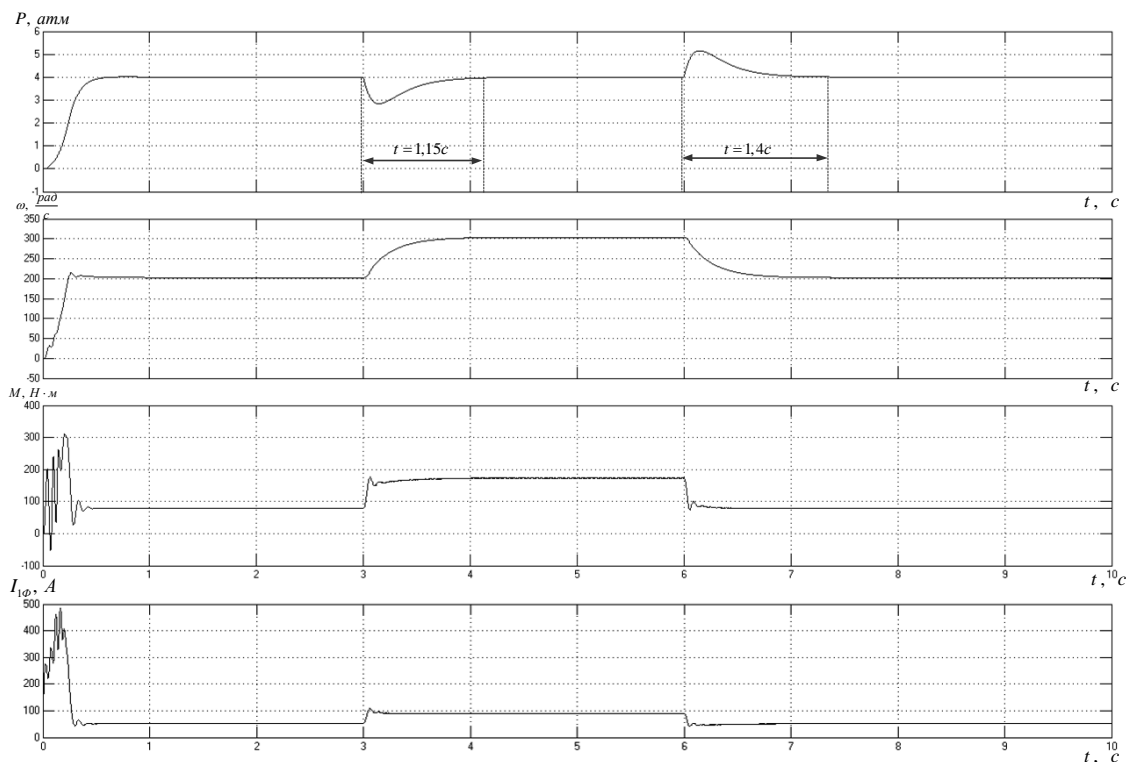


Рисунок 56 – Переходная характеристика давления, скорости ротора, электромагнитного момента и фазного тока АД при пуске, открытии и закрытии клапана.

Переходные процессы при падении и поднятии давления до максимального значения, которое система может обрабатывать.



Рисунок 57 – Переходная характеристика давления, скорости ротора, электромагнитного момента и фазного тока АД при пуске, падении и нарастании давления до максимальных значений.

При снятии переходных процессов падения и нарастания давления, до максимальных значений, которые может обрабатывать разработанная система, рисунок 38, наблюдаем, что система может обрабатывать падение давления в 2 атмосферы, за 1,15 сек. и нарастание давление до 5 атмосфер, за 1,4 сек.

После создания нелинейной модели с контуром давления в переходных процессах возникает меньшая колебательность, чем с моделью неуправляемого электропривода. Время переходного процесса при пуске на не изменилось. С введением квантования по времени и постоянной времени транспортной задержки произошло перерегулирование, это означает, что системе требуется дополнительная настройка параметров контроллера для реального технического объекта.

При снятии переходных процессов (рис. 56) моделировалось открытие и закрытие клапана. Согласно СП 30.13330.2012 давление воды не должно превышать 4 атмосфер. Мы принимаем 4 атмосферы в качестве заданного давления, которое необходимо поддерживать. При открытии клапана мы имитируем падение давления на 2 атмосферы. Как видно из переходных процессов, система быстро рассчитывает падение давления за 1,15 секунды. В этом случае скорость вращения ротора и электромагнитный момент возрастают.

Когда мы закрываем клапан, мы моделируем повышение давления на 2 атмосферы. Мы видим, что система обрабатывает это падение давления за 1,4 секунды. Скорость ротора и электромагнитный момент падают.

При снятии переходных процессов перепада давления и увеличении их до максимальных значений, которых может достичь разработанная система (рис. 52), мы обнаружим, что система может рассчитать падение давления в 2 атмосферы за 1,15 секунды и повышение давления до 5 атмосфер в течение 1,4 секунды.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ТК РФ Статья 92, продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Для работников до 16 лет – не более 24 часов в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы. Для работников, работающих на местах, отнесенных к вредным условиям труда 3 и 4 степени – не более 36 часов.

Согласно ТК РФ Статья 93, возможно установление неполного рабочего дня для одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до четырнадцати лет (ребенка-инвалида в возрасте до восемнадцати лет). Оплата труда при этом производится пропорционально отработанному времени. Ограничений продолжительности ежегодного основного оплачиваемого отпуска, исчисления трудового стажа и других трудовых прав при этом не имеется.

Согласно ТК РФ Статья 96, при работе в ночное время, продолжительность рабочей смены должна составлять на один час меньше. К работе в ночные смены не допускаются: работники, имеющие детей инвалидов, а также работники, осуществляющие уход за больными членами их семей в соответствии с медицинским заключением, отцы одиночки детей до пяти лет.

Согласно ТК РФ Статья 122, организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Согласно ТК РФ Статья 108, работнику в течение рабочего дня должен предоставляться перерыв не более 2 часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается.

Согласно ТК РФ Статья 113, всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с письменного согласия работника.

На работах с вредными или опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия средства индивидуальной защиты в соответствии с типовыми нормами, утвержденными в порядке, установленном Правительством Российской Федерации ТК РФ Статья 221.

Рассматриваемую зону можно отнести во 2-й класс – допустимые условия труда характеризуются такими уровнями факторов среды и трудового процесса, которые не превышают гигиенических нормативов для рабочих мест.

Для рассматриваемых условий соответствует допустимый уровень физических нагрузок.

Правильное расположение и компоновка рабочего места, обеспечение удобной позы и свободы трудовых движений, использование оборудования, отвечающего требованиям эргономики и инженерной психологии, обеспечивают наиболее эффективный трудовой процесс, уменьшают утомляемость и предотвращают опасность возникновения профессиональных заболеваний.

Выбор рабочей позы зависит от мышечных усилий во время работы, точности и скорости движений, а также от характера выполняемой работы.

Размерные соотношения на рабочем месте при работе стоя, строятся с учетом того, что рост мужчин и женщин в среднем отличается на 11,1 см, длина вытянутой в сторону руки – на 6,2 см, длина вытянутой вперед руки – на 5,7 см, длина ноги – на 6,6 см, высота глаз над уровнем пола – на 10,1 см. На рабочем месте в позе сидя различия в размерных соотношениях у мужчин и женщин выражаются в том, что в среднем длина тела мужчин на 9,8 см и высота глаз над сиденьем на 4,4 см больше, чем у женщин.

Основные требования к размерам и конструкции рабочего стула в зависимости от вида выполняемых работ приведены в ГОСТ 12.2.032–78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и ГОСТ 21889–76* «Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования».

При компоновке постов и пультов управления необходимо знать, что в горизонтальной плоскости зона обзора без поворота головы составляет 120°, с поворотом – 225°; оптимальный угол обзора по горизонтали без поворота головы – 30÷40° (допустимый – 60°), с поворотом – 130°. Допустимый угол обзора по горизонтали оси зрения составляет 130°, оптимальный – 30° вверх и 40° вниз. Максимальные размеры зон досягаемости правой рукой – 70÷110 см. Глубина рабочей панели не должна превышать 80 см. Высота пульта, предназначенного для работы сидя и стоя, должна быть 75÷85 см. Панель пульта может быть наклонена к горизонтальной плоскости на 10÷20°, наклон спинки кресла при положении сидя – 0÷10°.

5.2 Производственная безопасность

Для сооружений и сетей водопроводно-канализационного хозяйства необходимо учитывать наличие и возможность воздействия опасных и вредных факторов, представленных в таблице 1.

Таблица 7 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Вредные факторы				
1. Превышение уровня шума и вибрации		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.566–96; ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ; СП 51.13330.2011; СанПиН 2.2.4/2.1.8.562–96; СП 52.13330.2016;
2. Отсутствие или недостаток освещения	+	+	+	

3. Отклонение показателей микроклимата		+	+	СанПиН 2.2.4.548–96; СП 60.13330.2012;
Опасные факторы				
5. Электропоражение	+	+	+	ПУЭ; ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ; ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ; ГОСТ 12.1.045-84;

5.3 Анализ выявленных вредных и опасных факторов. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия на работника

Превышение уровня шума и вибрации

Источником производственного шума и вибрации являются насосы, вентиляторы, фильтры, электродвигатели, ЭВМ.

Имеют негативное влияние для организма человека, выражаются ухудшением работы слухового аппарата, психологического состояния, развитием вибрационной болезни.

Таблица 8 – Предельно допустимые уровни шума в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Насосная станция	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Пульт	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Таблица 9 – Технические нормы вибрации в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Насосная станция	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Пульт	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89;

- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Отсутствие или недостаток освещения

Причиной недостатка освещения может быть отсутствие солнечных лучей или плохое их прохождение в помещение, плохое искусственное освещение.

Отрицательно влияет на зрение человека, может стать причиной травм работников.

Таблица 10 – Нормы освещённости рабочих мест в соответствии с СП 52.13330.2016

Наименование помещения	Характер работы	КЕО, %		Искусственная освещённость		Тип светильника
		При вертикальном и комбинированном	При боковом	Комбинированное	Общее	
Щит управления	Наблюдение за измерениями, приборами	1	0,8	300–350	200–350	(ЛД – 40) ОДОР – 100
Насосная станция	Наблюдение за технологическим процессом	1	0,25	300	100	ЛДЦ – 40 ППР – 100

В помещении насосного цеха предусматривается освещение в соответствии со СП 52.13330.2016:

- естественное через боковые проёмы;
- искусственное, комбинированная система. Источники освещения: лампы накаливания, лампы газоразрядные;
- рабочее, для освещения помещения в соответствии с характером выполняемых работ применяют люминесцентные лампы низкого давления

дневного света с исправленной цветностью ЛДЦ, и дневного света ЛД со светильниками рассеянного света типа ОД, ОДОР, пылеводозащищённые типа ПВЛМ, ППР;

- аварийное, для продолжения работ при отключении рабочего освещения (питание от независимого источника энергии, аккумуляторных батарей) с лампами накаливания в универсальных светильниках прямого света типа Астра, УПМ – 15, светильник типа ПСХ;

- дежурное и охранное (вдоль границы территории) прожекторы заливающего света ПГЦ с лампами ДРИ;

- эвакуационное (по основным проходам и лестничным клеткам).

Отклонение показателей микроклимата

Помещение насосного цеха характеризуется:

- повышенной влажностью;
- движением воздуха;
- пониженной температурой.

Повышенная влажность, превышение скорости воздуха и пониженная температура могут стать причиной обморожения, разного рода заболеваний.

Таблица 11 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96

Сезон года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	Средней тяжести	19-21	17-23	40-60	15-75	0,2	0,1-0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20-22	18-27	40-60	15-75	0,2	0,1-0,4

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96, следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СП 60.13330.2012 установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;
- герметизация технологического оборудования.

Электропоражение

Источником могут быть токоведущие части оборудования, токопроводящие корпуса оборудования при неисправном или отсутствующем заземлении.

Последствиями воздействия данного фактора на человека могут быть: ожоги, спазмы мышц, потеря сознания, остановка сердца, летальный исход.

Размещение электроустановок, прокладка кабелей и системы защиты должны соответствовать правилам устройства электроустановок (ПУЭ), а так же ГОСТ 12.1.019-79.

Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО), предупредительная сигнализация и блокировка, использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов, защитное заземление и зануление. Должны использоваться индивидуальные электрозащитные средства, в соответствии с классом напряжения, регламентированным ПУЭ.

5.4 Экологическая безопасность

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилия учёных многих специальностей. Выброс токсичных веществ в окружающую среду, поступление бытовых и производственных отходов в различных формах прежде всего, отражается на здоровье населения, ухудшает качество жизни населения, вредит сельскому хозяйству, металлоконструкции промышленных и гражданских сооружений, оказывает влияние на климат

отдельных регионов и состояния озонового слоя Земли, приводит к гибели флоры и фауны.

Образование, сбор, накопление, хранение отходов является неотъемлемой составной частью технологических процессов, в ходе которых они образуются и должны быть отражены в технологических регламентах и другой нормативно технической документации в соответствии с ГОСТ 30772-2001.

Влияние отходов и мероприятия по защите атмосферы

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения; пары воды; летучие органические соединения; ЛОС (альдегиды, кетоны); азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели, оборудования и др.

Способ борьбы с газообразными отходами: согласно ГОСТ Р ЕН 779-2014, перед выбросом в атмосферу, воздух помещений подвергается очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения.

Влияние отходов и мероприятия по защите гидросферы и литосферы

Жидкие отходы загрязняющие гидросферу и литосферу, образовавшиеся после: использования душевых и туалетных комнат, ручек; после проведения влажной уборки помещений; замены охлаждающих и рабочих жидкостей оборудования.

Способ борьбы с жидкими отходами: отходы образовавшиеся в следствие использования туалетных и душевых комнат, ручек и проведения влажной уборки помещения, сбрасываются в городскую канализационную систему, после чего поступают на очистные сооружения;

Отходы образовавшиеся после замены охлаждающих и рабочих жидкостей оборудования, утилизируются согласно ГОСТ Р 57703-2017.

Твердые отходы загрязняющие гидросферу и литосферу: обтирочные материалы; бытовой мусор (бумага, пищевые отходы); отработанные лампы;

вышедшее из строя оборудование и инструменты, не подлежащее восстановлению.

Способ борьбы с твердыми отходами: для утилизации твердых отходов следует руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) - бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681.

Важными направлениями в сфере защиты окружающей среды следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды. Так же важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных зон вокруг промышленных предприятий.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможные ЧС:

- Землетрясение – в результате землетрясения могут быть нарушены технологические соединения трубопроводных систем, повреждение оборудования и обрушение конструкций;
- Наводнение – в результате повышения уровня воды в близлежащем водоеме или реке, может нарушиться функционирование ряда производственно необходимых систем, затоплена часть

сооружений или зданий, в результате чего на производстве остановится технологический процесс.

- Пожар – наиболее вероятная чрезвычайная ситуация.

Пожар как наиболее вероятная ЧС

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 , пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно-техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты, согласно ГОСТ 12.1.004-91, относятся: применение пожарных оповещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; два ручных углекислотных огнетушителя (ОУ-2), два ящика с песком объемом 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 101 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается первая медицинская помощь, так же необходимо вызывать скорую медицинскую помощь, позвонив по телефону 103.

6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

6.1 Выбор и обоснование структурной схемы электропривода

Выбор структурной схемы сводится к сравнению нескольких возможных вариантов и выбору наиболее оптимальной.

I вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

II вариант: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

Таблица 12 - Анализ структурных схем

	Варианты		Преимущества, недостатки
	I	II	
1. Общее количество составных частей	4	4	
2. Количество типов элементов	4	4	
3. Количество оригинальных элементов	2	2	
4. Стоимость покупных комплектующих		Стоимость в 2 раза меньше	Простота конструкции
5. Показатели надежности		Надежность, простота обслуживания	Отсутствие щеточного аппарата
6. Питание: а) вид	U=380 В	U=380 В	
б) мощность	P=55 кВт	P=55 кВт	
7. Габариты		Меньше в 2 раза	
8. Масса		Легче в 2 раза	

Таблица 13 - Коэффициент весомости критериев

Номер критерия	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент весомости	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1

Для проведения оценки выбраны следующие показатели:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;
4. завышение мощности электропривода;
5. уровень затрат на эксплуатацию;
6. коэффициент мощности;
7. генерирование помех;

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

Таблица 14 - Оценка степени обеспечения цели

Уровень цели	низкий	средний	высокий
Оценка обеспечения цели	1,0	0,5	0

Таблица 15 - Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов
выбранных качественных характеристик

Номер варианта	Групповой критерий							Общая оценка качества
	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1	
I	0,5	0	0,5	0	0.5	0,5	0.5	1,15
II	1,0	0,5	1,0	0	0.5	0	0.5	2,25

Таким образом, из таблицы 15 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте II.

6.2 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i,$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

$П_i$ – количественная оценка i – го признака.

Таблица 16 - Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 17 - Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 18 - Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8

Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 19 - Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, P_1 = 6, k_2 = 0.4, P_2 = 7,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$НТУ = 0.6 \cdot 6 + 0.4 \cdot 7 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 9.2$$

Таким образом, по полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

6.3 Планирование проекта

Планирование проекта – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов.

Основные задачи:

1. Взаимная увязка работ проекта;
2. Согласование выполнения отдельных этапов работ во времени, определение их длительности и обеспечение их выполнения в установленные сроки;
3. Определение общего объема работ и потребных для его выполнения денежных, материальных и трудовых ресурсов;
4. Распределение общего объема работ между исполнителями.

Графический метод планирования.

При графическом методе планирования на основе расчета трудоемкости и календарной продолжительности выполнения всех включенных в план работ с учетом их взаимосвязи и последовательности выполнения во временном масштабе (соответствующим производственному календарю планируемого года) строится графическая модель комплекса работ в виде линейной диаграммы, в которой положение и длина каждой линии характеризует дату начала (окончания) и продолжительность выполнения каждой работы. На основе линейного графика определяется общая продолжительность всего комплекса работ.

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ.

Таблица 20 - Типовое содержание проектных работ

Содержание работ	Продолжительность работ				Длительность работ		Исполнители
	a_i	b_i	m_i	t_i	t_{pi}	t_{ki}	
1. Разработка ТЗ на проектирование	2	4	3	3	2	3	С, РП
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	2	4	3	3	2	3	С, РП
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	2	4	3	3	4	5	С

4. Функциональная схема насосной станции	4	6	5	5	6	9	С
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	5	7	6	6	7	11	С
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	7	9	8	8	10	14	С
7. Выбор способа регулирования давления	5	7	6	6	7	11	С
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	7	11	9	9	5	8	С, РП
9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	7	11	9	9	11	16	С
10. Оптимизация САР электропривода	10	14	12	12	14	21	С
11. Разработка программы имитационного моделирования	10	12	11	11	7	10	С, РП
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	4	6	5	5	6	9	С
13. Техничко-экономические расчеты	4	6	5	5	6	9	С
14. Составление пояснительной записки	7	9	8	8	5	7	С, РП
15. Разработка графического сопровождения проекта	4	6	5	5	3	4	С, РП

РП – руководитель проекта; С - студент.

График выполнения работ по дням составлен с учетом всех выходных, предпраздничных и праздничных дней. Общее количество рабочих дней = 151, которые требуются на выполнение данного проектирования.

Трудоемкость работ определяется по сумме трудоемкости этапов и видов работ, оцениваемых экспериментальным путем в человеко-днях, и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов, поэтому ожидаемое значение трудоемкости t_i рассчитывается по формуле:

$$t_i = \frac{a_i + 4 \cdot m_i + b_i}{6} = \frac{2 + 4 \cdot 3 + 4}{6} = 3 \text{ дня};$$

где t_i - трудоемкость выполнения отдельных видов работ, чел-дни; a_i - минимально возможная трудоемкость выполнения отдельных видов работ, чел-дни; b_i - максимально возможная трудоемкость выполнения отдельных видов

работ, чел-дни; t_i - наиболее вероятная трудоемкость выполнения отдельных видов работ, чел-дни.

Экспертные оценки и расчетные величины трудоемкости отражаются в таблице 20.

При составлении плана комплекса работ используются в основном сетевые и линейные методы планирования. Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни.

Расчет длительности работ в рабочих днях осуществляется по формуле:

$$t_{pi} = \frac{t_i}{c \cdot p \cdot K_{ен}} \cdot K_{\delta} = \frac{3}{1 \cdot 2 \cdot 1} \cdot 1,2 = 2 \text{ дней};$$

где t_{pi} - трудоемкость работы, чел-дни; p - количество смен в сутки ($p=1$); $K_{ен}$ - коэффициент выполнения нормы ($K_{ен}=1$); c - число работников, занятых в выполнении данной работы; K_{δ} - коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{\delta}=1,2$).

Для перевода рабочих дней в календарные используется следующая формула:

$$t_{ki} = t_{pi} \cdot K_{кал} = 2 \cdot 1,47 = 3 \text{ дней};$$

где t_{ki} - продолжительность выполнения работы в календарных днях; t_{pi} - продолжительность выполнения работы в рабочих днях; $K_{кал}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности $K_{кал}$ определяется по формуле:

$$K_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{пр} - T_{вых}} = \frac{365}{365 - 117} = 1,47,$$

где $T_{кал}$ - календарное число дней в году; $T_{пр}$, $T_{вых}$ - число праздничных и выходных дней в году.

Расчитанную величину продолжительности работ t_{ki} следует округлить до целого числа, расчетные значения сведены в таблицу 20.

6.4 Расчет сметы затрат на проект

Расчет сметы затрат на выполнение проекта, рекомендуется осуществлять методом сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов (таблица 21).

Основная заработная плата

В этой статье расходов планируется и учитывается основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании разработки:

$$C_{осн/зн} = \sum t_i \cdot C_{зн_i} = 39 \cdot 967,909 = 37748,451, \quad C_{осн/зн} = \sum t_i \cdot C_{зн_i} = 98 \cdot 325 = 31850;$$

где t_i - затраты труда, необходимые для выполнения i -го вида работ, в рабочих днях (таблица 5-18), $C_{зн_i}$ - среднедневная заработная плата работника, выполняющего i -ый вид работ, (руб./день).

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{зн_i} = \frac{D + D \cdot K}{F} = \frac{16380 + 16380 \cdot 30\%}{22} = 967,909,$$

$$C_{зн_i} = \frac{D + D \cdot K}{F} = \frac{5500 + 5500 \cdot 30\%}{22} = 325;$$

где D - месячный оклад работника, K - районный коэффициент (30%),
 F – количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Затраты на оплату труда могут определяться как оклад инженера кафедры (учебно-вспомогательный персоналу) в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы.

Расходы на основную заработную плату определяются как произведение трудоемкости работ каждого исполнителя на среднедневную заработную плату. Расчет затрат на основную заработную плату приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Затраты на основную заработную плату

Участники разработки (исполнители)	Среднедневная заработная плата ($C_{зн_i}$), руб.	Трудоемкость, (t_i), чел-дн.	Затраты на заработную плату ($C_{осн/зн}$), руб.
------------------------------------	---	----------------------------------	--

С	325	98	31850
РП	967,909	39	37748,451
Итого:			69598,451

Дополнительная заработная плата.

Дополнительная заработная плата включает заработную плату за не отработанное рабочее время, но гарантированную действующим законодательством (средний заработок за время предоставленных отпусков, а также в других установленных действующим законодательством случаях).

Дополнительная заработная плата принимается в размере 10 % от основной заработной платы (рассчитывается только для руководителя):

$$C_{\text{доп/зп}} = 0,1 \cdot C_{\text{осн/зп}} = 0,1 \cdot 37748,451 = 3774,845$$

Отчисления на социальные нужды.

В 2020 году совокупный тариф страховых взносов в государственные внебюджетные фонды составляет 30%,

$$C_{\text{соц}} = (C_{\text{осн.зп}} + C_{\text{доп.зп}}) \cdot 30\% = (69598,451 + 3774,845) \cdot 30\% = 22011,9888$$

Оборудование для выполнения работ.

При разработке программного продукта в статье «расходы на оборудование для выполнения работ» учитываются расходы, связанные с эксплуатацией персонального компьютера. Стоимость машинного времени, потраченного на проектирование, рассчитывается как:

$$C_{\text{об}} = C_{\text{мч}} \cdot T_{\text{об}} = 10 \cdot 640 = 6400$$

где $C_{\text{мч}}$ - стоимость 1 часа машинного времени (в среднем 10 руб/час.),

$T_{\text{об}}$ – количество часов работы на компьютере.

Таблица 22 – Смета затрат на проектирование

Статьи расхода	Сумма		Примечания
	руб	%	
1- Основная заработная плата научно-производственного персонала	69598,451	55	Трудоемкость нормо-д, Стоимость 1-го нормо-д.
2- Дополнительная заработная плата	3774,845	2,2	

научно-производственного персонала			
3- Отчисления во внебюджетные фонды	25093,667	30	30% (ст.1+ст.2)
4- Расходы на научные и производственные командировки	5869,864	4	5÷10% (ст.1+ст.2)
5- Расходы и услуги сторонних организаций	5000	3	
6- Накладные расходы	3019,876	1,8	60÷80% от ст.2
7- Плановая прибыль	6089,21	4	6÷8% от (ст.1+2+3+6)
Годовая сметная стоимость проекта	118445,913	100	

По результатам расчетов строим круговую гистограмму:

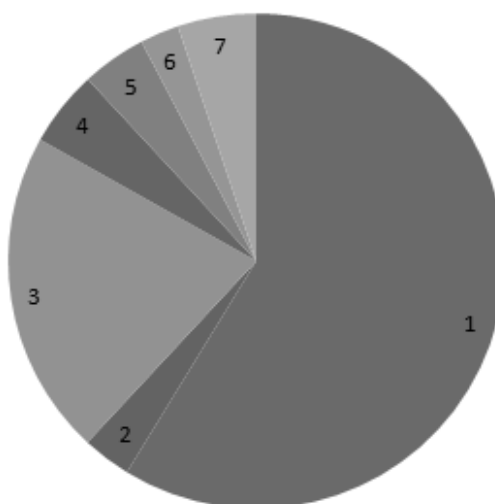


Рисунок 58 – Затраты на проектирование.

Таким образом, согласно смете затрат на проектирование, наибольшие затраты идут на основную заработную плату научно-производственного персонала.

6.5 Расчет капиталовложений на реализацию проекта

Капитальные вложения (инвестиции в реальные активы предприятия) включают:

- Затраты на приобретение, доставку, установку и наладку оборудования;
- Сопряженные затраты

- Затраты на пополнение оборотных средств.

Расчет капитальных вложений в таблице 23.

Таблица 23 – Бюджет инвестиций

	Кол -во	Цена, руб	Общая стоимость, руб
I. Оборудование: Насос 1Д315-50а, асинхронный двигатель АД255М2 ¹	3	98353	295059
Преобразователь Siemens Midimaster ЕСО1-5500/3 ²		56244	168732
Пуско-регулирующая аппаратура (20% стоимости некомплектного оборудования)	3		
II. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I. Некомплектный (15%)		30919	92758
III. Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II)		27827	83482
IV. Плановые накопления монтажной организации (6-15%) от II		4267	12801
V. Сметная стоимость проектно конструкторских работ		4174 496199	12522 496199
Всего затрат			1161554

¹ <http://mnz.ru/catalog.php?id=3> ² <http://www.siemens-ru.com>

Таким образом, в данном пункте были рассчитаны капитальные вложения необходимые для реализации проекта с учетом цен действительных на 11 марта 2020 года.

6.6 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт

Расчет стоимости силовой электроэнергии

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}}, \quad W_{\text{сил.эн}} = \frac{55 \cdot 7000 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{0,94 \cdot 0,93} = 74941 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где

$P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6–0.7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.7);

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7–0.8);

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92–0.95);

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9–0.93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \cdot C_{\text{э}},$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт·часа электроэнергии для промышленных предприятий. $C_{\text{э}}$ - одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию составляет 1,27руб/кВт·ч - введенный с 1 января 2019г.

$$C_{\text{эн}} = 74941 \cdot 1,27 = 95175 \text{ руб}$$

Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации, где

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_{\text{А}}}{100},$$

K – капитальные вложения в электрооборудование;

$H_{\text{А}}$ – проценты отчислений на амортизацию.

– Электродвигатели – 9.6%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_{\text{А}}}{100} = 295059 \cdot 0,096 = 28326 \text{ руб.}$$

– Преобразователи – 3.5%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 168732 \cdot 0.035 = 5906 \text{ руб.}$$

Годовая амортизация - 28326+5906= 34232 руб.

Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов

Оборудование электроприводов (электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) является ремонтируемым. Оно подвергается планово-предупредительным ремонтам, периодичность и объем которых регламентируется системой ППР и сетей промышленной энергетики.

Затраты на ППР электропривода

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}},$$

где $C_{\text{зар}}=100$ руб·час – заработная плата ремонтных рабочих насосной станции;

$C_{\text{м}}=90$ руб·час – стоимость материалов для ремонта;

$C_{\text{опр}}=180$ руб·час – общепроизводственные расходы (200% от основной зарплаты);

$C_{\text{охр}} =72$ руб·час – общехозяйственные расходы (80% от основной зарплаты).

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}} = 100 + 90 + 180 + 72 = 442 \text{ руб} \cdot \text{час}$$

Для определения составляющих затрат на ППР необходимо установить периодичность ремонтного цикла, межремонтного периода, и трудоемкость работ по ППР. По трудоемкости работ определяется зарплата энергоперсонала.

Таблица 24 – Нормы трудоемкости ремонта электропривода

Мощность, кВт	Норма трудоемкости, чел-ч		
	Капитального ремонта без перемотки обмоток	Текущего ремонта	Технического обслуживания
40,1-55	29	12	8

Таблица 25 – Затраты на ППР электропривода

ППР	Норма трудоемкости, чел-ч	Периодичность	Затраты на ППР электропривода в час	Затраты на ППР электропривода
Капитального ремонта без перемотки обмоток	29	Раз в 2 года	442	12818
Текущего ремонта	12	Раз в 6 месяцев	442	5304
Технического обслуживания	8	Раз в месяц	442	3536

В данной таблице рассчитаны затраты необходимые на планово-предупредительные работы, которые способствуют продлению эксплуатации данного электропривода.

Таблица 26 – Затраты на ППР электропривода в год

ППР	Затраты на ППР электропривода в год
Капитального ремонта без перемотки обмоток	6409
Текущего ремонта	10608
Технического обслуживания	42432
Итого	59449

В данной таблице рассчитаны затраты на планово-предупредительные работы, которые были произведены, исходя из расчетов ППР электропривода в год.

Таблица 27 – Эксплуатационные расходы

Наименование показателя	Стоимость, руб
Расчет стоимости силовой электроэнергии	95175
Расчет амортизационных отчислений	34232
Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов	59449
Итого:	188856

6.7 Оценка производственной эффективности

Проведем оценку организационной эффективности по следующим параметрам:

1. Эффективность управления технологическим процессом добычи воды;
2. Эффективность управления технологическим процессом транспортировки воды;
3. Устранение гидроударов, разрушающих систему водоснабжения;
4. Трудоемкость обслуживания.

Таблица 28 – Оценка организационной эффективности внедрения результатов разработки

Показатели организационной эффективности	Вес показателя K_i	Значение показателя до внедрения результатов разработки, балл a_i	Значение показателя до внедрения результатов разработки с учетом веса, $K_i \times a_i$	Значение показателя после внедрения результатов разработки, баллов b_i	Значение показателя после внедрения результатов разработки с учетом веса, $K_i \times b_i$
1	2	3	4	5	6
1	0,3	4	1,2	9	2,7
2	0,4	3	1,2	10	4
3	0,3	2	0,6	7	2,1
4	0,2	5	1	6	1,2
ИТОГО	1,00		4		10

Таким образом, из таблицы 28 видно, что значения показателей после внедрения результатов разработки значительно выше (более чем в 2 раза), чем до внедрения. Из этого следует, что в автоматизированных насосных станциях благодаря эффективности управления технологическим процессом добычи и транспортировки воды, а также благодаря устранению гидроударов, их организационная эффективность выше, чем у неавтоматизированных насосных станций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены системы управления частотно-регулируемыми электроприводами. После анализа был выбран удовлетворяющий нас закон регулирования – скалярное управление U/f^2 , для рассмотренного технологического процесса. Этот тип управления позволяет получить искусственные механические характеристики с необходимой жесткостью, так же его можно охарактеризовать, как технически простотой в измерении и контроле абсолютных значений переменных асинхронного двигателя.

Разработана функциональная схема насосной станции на водозаборном узле. Выбрана элементная база, с использованием процессорной платы PCA-6154, интерфейсной платы PCL-745, модуля ADAM-4521 – для согласования интерфейса RS-485 и RS-232, датчика давления с цифровым выходом DMP 331i и преобразователя частоты Siemens Midimaster Eco.

Установлено, что модель, в результате которой MATLAB Simulink поддерживает заданное давление и рассчитывает перепады давления при открытии и закрытии клапана на стороне потребителя, используя необходимые показатели качества.

В разделе социальной ответственности рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственной и экологической, а так же обеспечение безопасности в возможных чрезвычайных ситуациях и ликвидации их последствий. Проведен анализ вредных и опасных производственных факторов, разобраны меры предосторожности. Определены меры по обеспечению экологической безопасности. В результате, на предприятии могут быть приняты меры по исключению выявленных проблем.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, выполнено планирование проекта, составлена смета затрат для проектирования, произведен расчет капиталовложений для реализации. Для ремонтно-эксплуатационного обслуживания спроектированного электропривода, рассчитаны издержки и затраты.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А.Ю. Чернышев. Электропривод переменного тока: учебное пособие/ А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218с.
2. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 224с.
3. Кояин Н.В., Удут Л.С., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.5. Применение программы DORA-FUZZY в расчетах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – 156с.
4. Мальцева О.П. Системы управления электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152с.
5. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат; 1986. – 416с.: ил.
6. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под редакцией В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – 3-е изд., перераб. И доп.- М.: Энергоиздат, 1982 – 416с.,ил.-(Электроустановки промышленных предприятий).
7. Электрический привод: Учеб пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования –М.: Мастерство: Высшая школа, 2000.–368с.
8. Калинушкин М.П. Насосы и вентиляторы: учебное пособие для вузов, 6-е издание. – М.: Высшая школа, 1987. – 176с.
9. Онищенко Г.Б. Регулируемый Автоматизированный электропривод промышленных установок: Уч. пособие для ВУЗов, М: Энергоатомиздат, 2002 г
10. Ю.С. Прокофьев Экономическая оценка инвестиций: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 114с.
11. <http://www.danfoss-info.ru/shopping>

12. <http://www.nasos-egm.ru>
13. <http://www.metran.ru/catalog>
14. http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/fan_sourcebook.pdf
15. http://www.control-specialties.com/technical_tips/details~tid~15.asp
16. http://www.engineeringtoolbox.com/centrifugal-pumps-d_54.html
17. <http://www.energy.ca.gov/process/pubs/vfds.pdf>
18. <http://oee.nrcan.gc.ca/industrial/equipment/vfd/vfd>
19. <http://www.freepatentsonline.com/4893476.html>
20. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие /О.Б. Назаренко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Издво Томского политехнического университета, 2010. – 144 с;
21. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 - Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы;
22. СП 51.13330.2011 - Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003;
23. 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;
24. СП 52.13330.2016 - Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95;
25. СанПиН 2.2.4.548-96 - Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
26. СП 60.13330.2012 - Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003;
27. ГОСТ Р ЕН 779-2014 - Фильтры очистки воздуха общего назначения;
28. ПУЭ - Правила устройства электроустановок;
29. ГОСТ 12.1.038-82 - Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;

30. Федеральный закон - "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ;
31. ГОСТ 12.1.004-91 - Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования;
32. ГОСТ Р 57703-2017 - Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отработанных нефтепродуктов;
33. ГОСТ 30772-2001 - Ресурсосбережение. Обращение с отходами;
34. ТК РФ Статья 92. Сокращенная продолжительность рабочего времени.
35. ТК РФ Статья 93. Неполное рабочее время.
36. ТК РФ Статья 96. Работа в ночное время.
37. ТК РФ Статья 108. Перерывы для отдыха и питания.
38. ТК РФ Статья 113. Запрещение работы в выходные и нерабочие праздничные дни. Исключительные случаи привлечения работников к работе в выходные и нерабочие праздничные дни.
39. ТК РФ Статья 122. Порядок предоставления ежегодных оплачиваемых отпусков.

