

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

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод переменного тока насоса Д200-36 подачи питьевой воды

УДК 62:83-523:628.12

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Левашов Павел Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШЭ, ОЭЭ	И.А. Чернышев	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	А.М. Ледовская			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, руководитель ОЭЭ	Ю.Н. Дементьев	PhD Доцент		

Томск – 2018 г.

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель отделения ОЭЭ
_____ Ю.Н. Дементьев
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Левашов Павел Александрович

Тема работы:

Электрооборудование системы управления электроцентробежным погружным насосом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№3244/с от 10.05.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Подача воды: $Q = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$; Давление в системе: $H = 36 \text{ м вод. ст.}$; Сеть: 380/220 В, 50 Гц Режим работы: продолжительный, нереверсивный Нагрузка: реактивная Диапазон регулирования $D = 1:2$
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Технологический процесс. 2. Расчет мощности насоса и выбор асинхронного электродвигателя. 3. Описание и выбор системы управления ЭП. 4. Расчет схемы замещения и построение естественных и регулировочных характеристик АД. 5. Разработка и исследование имитационной модели «АД», «ПЧ-АД» в среде Matlab.

Перечень графического материала	1. Схема замещения АД. 2. Имитационные модели «АД», «ПЧ-АД». 3. Результаты исследований.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Попова Светлана Николаевна
«Социальная ответственность»	Ледовская Анна Михайловна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	21.03.2018 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Левашов Павел Александрович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Левашов Павел Александрович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	50 % доплата и надбавка; 30 % районный коэффициент; 15% дополнительная плата; 16% накладные расходы.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные страховые фонды – 30,2 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ конкурентных технических решений. исследования внешней и внутренней среды проекта на основе SWOT-анализа.
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: -определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка диаграммы Ганта. Формирование затрат на проектирование: - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы. Формирование сметы реализации технического проекта:

	- стоимость оборудования и комплектующих; -стоимость материалов для монтажа и установки; - стоимость монтажа
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение ресурсоэффективности проекта.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Левашов Павел Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Левашов Павел Александрович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Электропривод центробежного насоса системы «ПЧ-АД» для подачи питьевой воды
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты) 	<p>1.1. Анализ вредных факторов при разработке и эксплуатации электропривода УЭЦН</p> <ul style="list-style-type: none"> • Повышенный уровень вибрации; • Повышенный уровень шума; • Недостаток естественного света; • Отклонение показателей микроклимата. <p>1.2. Анализ опасных факторов при разработке и эксплуатации электропривода УЭЦН</p> <ul style="list-style-type: none"> • механические травмы; • поражение электрическим током
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 	Анализ воздействия на атмосферу (выбросы), гидросферу (сбросы) и литосферу (отходы)

<ul style="list-style-type: none"> – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Наиболее типичные ЧС для рассматриваемой рабочей зоны – пожар, разлив нефти. Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС, действий во время ЧС и для ликвидации её последствий.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Анализ правовых вопросов для работников насосных станций, перечень обязательной нормативно-технической документации.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Левашов Павел Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа – 76 с., 35 рисунков, 22 таблиц, 22 источника литературы.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование асинхронного электропривода насоса.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ MATLAB, Mathcad 14, MS Excel в текстовом редакторе MS Word и представлена на компакт - диске (в конверте на обороте обложки).

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	12
1.1. Описание технологического процесса	12
1.2 Описание и основные технические характеристики насоса Д200-36	15
2. ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА	18
2.1 Выбор приводного электродвигателя.....	18
2.2 Расчет параметров электродвигателя	21
2.3 Расчёт параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя	22
2.4 . Построение естественных электромеханической и механической характеристик	25
2.5 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии	26
2.6. Выбор преобразователя частоты	27
2.6.1. Выбор закона частотного скалярного управления для заданного механизма	28
2.6.2. Расчет семейства механических и электромеханических характеристик при изменении частоты	28
2.7 Прямой пуск двигателя	32
3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	36
3.1. Разработка имитационных моделей электропривода со скалярным управлением	36
3.2. Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой.....	38
3.3. Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой.	39
3.4. Модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением.	40
3.5. Параметры силового канала электропривода насоса.....	41
3.6. Исследование электропривода со скалярным управлением.....	41
4. ФИНАСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	48
4.1 SWOT-анализ технического проекта.....	48
4.2 Составление графика проведения работ технического проекта	51
4.3 Формирование затрат на проектирование.....	56
4.4. Формирование сметы на реализацию технического проекта.....	59
4.5. Оценка ресурсоэффективности технического проекта.....	60
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	64
5.1. Описание рабочего места машиниста насосных установок	64
5.2. Производственная безопасность.....	64
5.2.1. Анализ опасных и вредных факторов	64
5.2.2. Опасные факторы производственной среды	65
5.2.3. Вредные факторы производственной среды	67
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	72
5.4. Экологическая безопасность	74
5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	78

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одной из ключевых проблем, которой уделяется много внимания во всём мире и в Российской Федерации в частности – проблема энергосбережения. Наибольшие потери и расходы электроэнергии происходят в промышленности, в сфере жилищно-коммунального хозяйства и в топливно-энергетическом комплексе.

Энергосбережение напрямую зависит от рационального использования энергетических ресурсов. Меры, направленные на энергоэффективность в первую очередь подразумевает контроль над расходами ресурсов, умение управлять данными расходами, чтобы они могли принести максимальный эффект для потребителя.

На производстве безостановочно происходит старение и износ оборудования, что приводит к повышенному энергопотреблению. При этом издержки, вызванные высокими энергозатратами, на данный момент в среднем составляют порядка 12%, и с течением времени данный показатель становится всё выше. Таким образом, энергосбережение в сфере промышленности ориентировано, прежде всего, на использование энергосберегающего оборудования и технологий, оптимизацию его загрузки, обследование систем энергоснабжения и другие мероприятия.

Наибольшая часть потребляемой электроэнергии в различных отраслях народного хозяйства приходится на асинхронные двигатели, причём подавляющее большинство из них – асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Привода с данным типом двигателя, зачастую являются нерегулируемыми. Как правило, это приводит к необоснованно высоким тратам электроэнергии.

Немалую часть среди приводов с асинхронными двигателями занимают привода насосов систем водоснабжения, которые играют немаловажную роль в технологическом процессе предприятий. Выполнение необходимых требований, определённых технологическим процессом, позволяет выпускать

качественную продукцию и работу предприятия в нормальном режиме. В случае невыполнения данных требований на удовлетворительном уровне, возможны такие негативные последствия, как ухудшение качества выпускаемой продукции, удорожание производства и прочие издержки, а в отдельных случаях это приводит к порче оборудования и серьёзным авариям.

Кроме технологических нужд на предприятии необходима вода для хозяйственно-питьевых нужд, а также для целей пожаротушения. Наиболее широкое распространение для различных целей получили насосы серий Д, К, 1ЦНСг, ЦНСп, ЦНСв, конденсаторные насосы 1Кс, питательные ЦВК, двухвинтовые 2ВВ и другие.

В данной работе осуществлено проектирование регулируемого привода насоса Н1 марки Д200-36 насосной станции НСВ-4 предприятия ООО «Томскнефтехим» для подачи питьевой воды. Из всего вышеизложенного следует, что данная задача имеет высокую актуальность.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Описание технологического процесса

С целью описания технологической установки в данном разделе даны следующие термины и определения, которые характерны для установок данного типа:

Насос – гидравлическая машина, которая предназначена для напорного перемещения различных жидкостей, механических смесей жидкости с твёрдыми и коллоидными веществами, а также сжиженных газов путём преобразования механической энергии приводного двигателя в энергию потока жидкости.

Насосный агрегат – это совокупность устройств, включающая в себя насос, передаточного механизма и электропривод.

Насосная установка – это комплекс оборудования для обеспечения требуемого режима работы насосов одного или группы насосных агрегатов.

Насосная станция – это система, которая включает в себя одну или несколько насосных установок, вспомогательные устройства, а также здание, где они расположены.

Насосные установки бывают следующих типов:

- Водопроводные
- Канализационные
- Мелиоративные
- Теплофикационные

Водопроводные насосные станции – это сооружение водопровода, оборудованное насосно-силовой установкой для подъёма и подачи воды в водоводы и водопроводную сеть.

Для приведения насоса в действие необходим электродвигатель и устройство регулирования давления/разрежения. Наиболее широко применяемым способом регулирования в насосных установках является дросселирование, когда двигатель работает на максимальных оборотах, а

регулирование в системе осуществляется с помощью задвижек, вентелей, отводов и т.д., т.е. путём изменения поперечного сечения трубопровода. Характеристики насоса (пунктирная линия) и трубопровода (сплошная линия) представлены на рисунке 1.

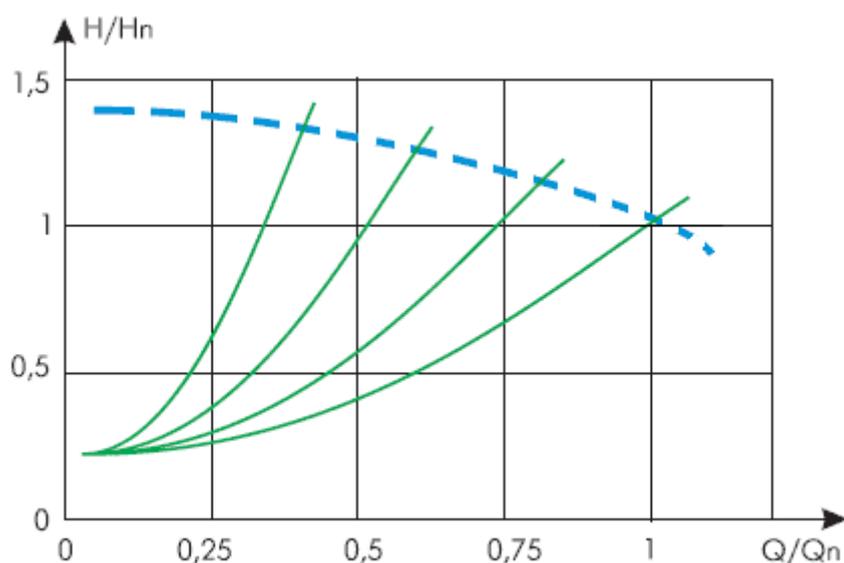


Рисунок 1 – Характеристики насоса (пунктирная линия) и трубопровода (сплошные линии) при регулировании дросселированием.

Данный способ регулирования способствует необоснованным тратам электроэнергии, поскольку мощность, потребляемая насосной установкой, также остаётся постоянной. Излишек мощности расходуется на повышение давления в трубопроводе выше расчётного значения, что приводит к преждевременному износу трубопроводных систем и запорных устройств. Ещё один неблагоприятный момент при данном способе регулирования – гидроудар, ударное механическое воздействие на границе раздела вода-воздух, который вызывает порывы ветхих участков труб, а также в местах их соединений. Потери электроэнергии при регулировании дросселированием могут составлять порядка 5-30% от потребляемой электроэнергии, а в отдельных случаях данный показатель может достигать 50 %.

Для борьбы с описанными недостатками всё больший интерес в последнее время начинают приобретать автоматизированные регулируемые

приводы с преобразователями частоты. Применение данного привода обеспечивает:

- плавный пуск электродвигателя, отсутствие бросков тока в питающей сети;
- отсутствие гидроударов;
- эффективное использование потребляемой мощности насосным агрегатом на всём диапазоне регулирования;
- значение коэффициента мощности двигателя насоса близким к единице;
- снижение уровня шума во время пуска и при работе;
- автономную и безопасную работу;
- интеграцию в системы автоматических систем управления технологических процессов;

Характеристики насоса и трубопровода при использовании привода с частотного преобразователя приведены на рисунке 2.

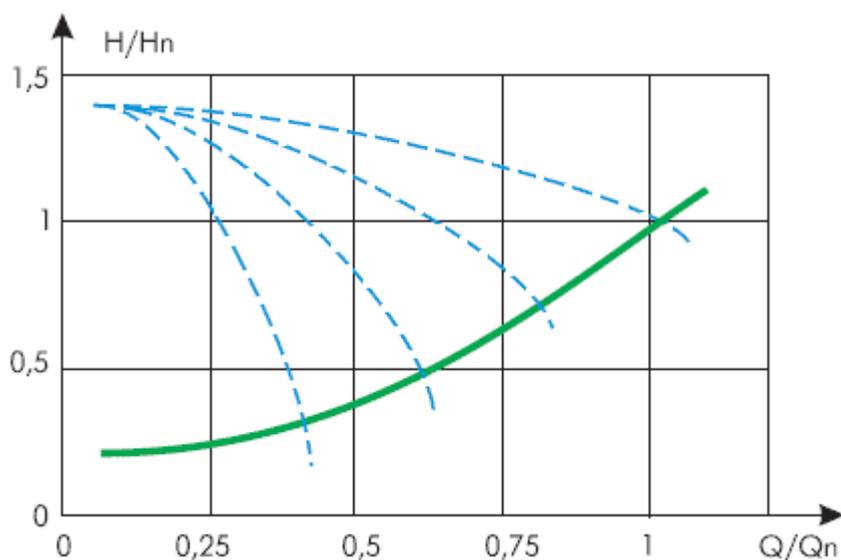


Рисунок 2 – Характеристики насоса (пунктирные линии) и трубопровода (сплошная линия) при использовании привода с частотным преобразователем.

1.2 Описание и основные технические характеристики насоса Д200-36



Рисунок 3 – Насос Д200-36.

Центробежные насосы – самые распространенные гидравлические машины, применяемые для водоснабжения, водоотведения и перекачивания различных жидкостей не только в быту, но и в промышленности, строительстве, теплоэнергетике, автомобильной и авиационной технике и т.д. Устройство центробежного насоса приведено на рисунке 4.

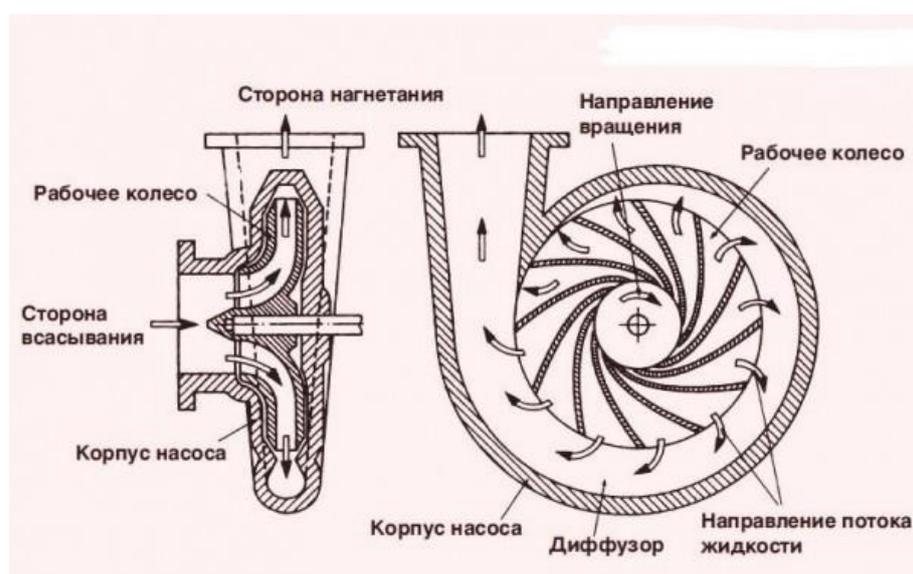


Рисунок 4 – Схема устройства центробежного насоса.

Центробежные насосы двухстороннего типа Д имеют предназначение перекачивать воду, либо иные жидкости, которые имеют сходные с водой значение вязкости до $36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и химическую активность, с диапазоном температур от 1 до 85 °С, с содержанием твёрдых включений по массе не более 0,05 %, размером не более 0,2 мм и микротвёрдостью не более 6,5 ГПа. (650 кгс/мм²).

На рисунке 5 приведена схема насоса Д200-36.

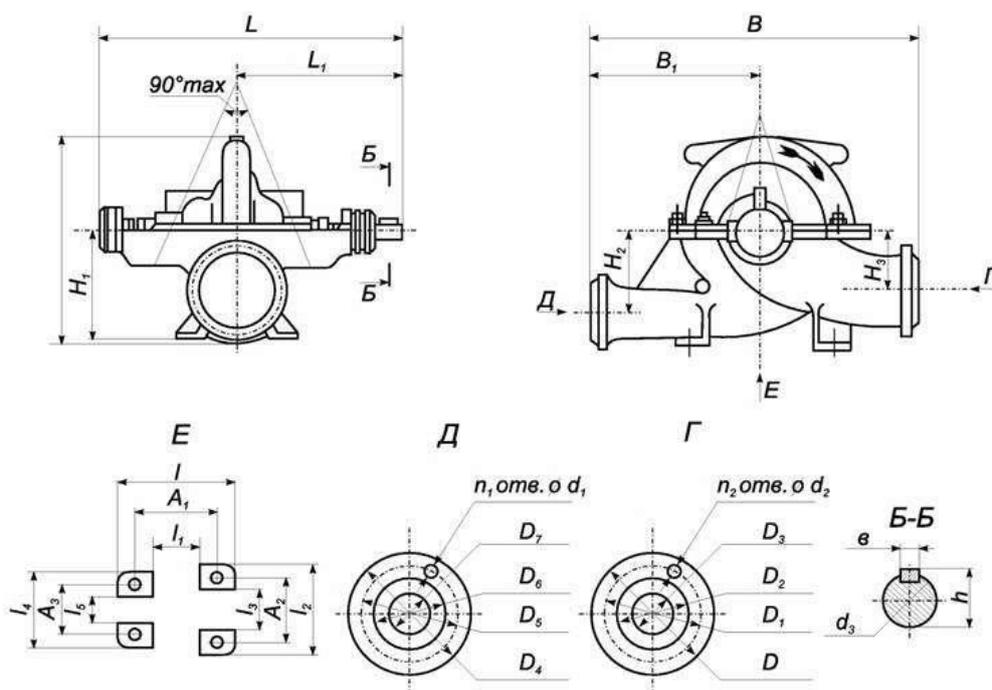


Рисунок 5 – Габаритные размеры насоса Д200-36.

Значения размеров, изображённых на схеме 5 сведены в таблицу 1.1, в таблицу 1.2 и таблицу 1.3.

Таблица 1.1. Габаритные размеры насоса Д200-36.

Тип	Размеры, мм											
	L	L1	I	I1	I2	I3	I4	I5	B	B1	H	H1
Д200-36	830	458	510	300	340	160	340	160	800	373	620	350

Таблица 1.2. Габаритные размеры насоса Д200-36.

Тип	Размеры, мм											
	H2	H3	A1	A2	A3	h	D	D1	D2	D3	D4	D5
Д200-36	224	162	430	260	260	35	260	225	202	150	235	200

Таблица 1.3. Габаритные размеры насоса Д200-36.

Тип	Размеры, мм								
	D6	D7	d	d1	d2	d3	n	n1	b
Д200-36	178	125	18	18	23	32	8	8	10

Условное обозначение центробежного насоса Д 200-36, где:

- Д – центробежный насос двухстороннего типа
- 200 – подача Q , м³/ч;
- 36 - напор H , м.

Характеристики насоса Д200-36 при частоте вращения вала 1450 об/мин представлены на рисунке 6.

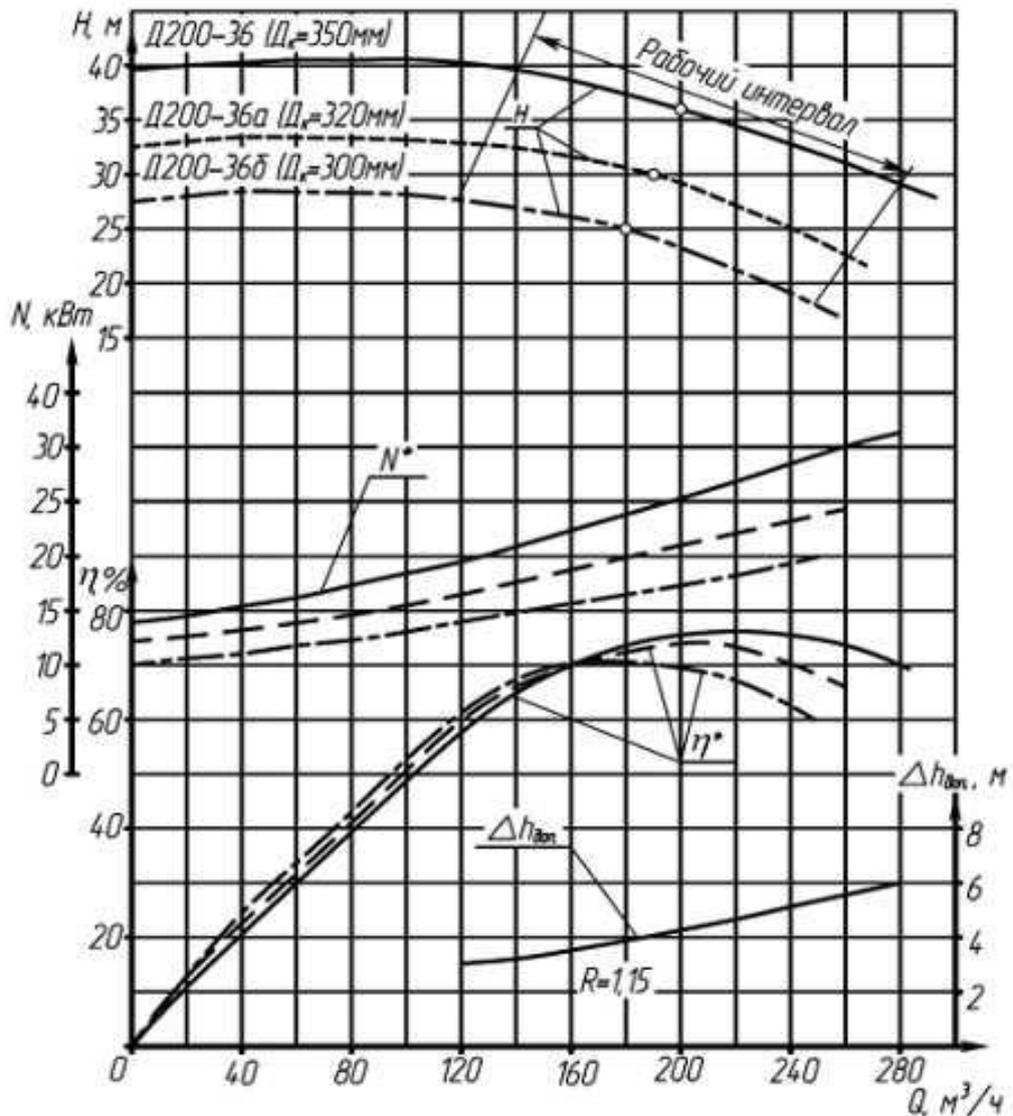


Рисунок 6 – Характеристики насоса Д200-36.

2. ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА

2.1 Выбор приводного электродвигателя

Выбор приводного двигателя осуществляется в соответствии с формулой:

$$P_{\text{эд}} = K_3 \cdot \frac{g \cdot Q \cdot H}{\eta_H \cdot 3600};$$

$K_3 = 1,1$ – коэффициент запаса;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

$Q = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$ – требуемый расход системы;

$H = 36 \text{ м}$ – требуемый напор;

$\eta_H = 0,76$ – коэффициент полезного действия.

В соответствии с данными значениями производим расчёт:

$$P_{\text{эд}} = 1,1 \cdot \frac{9,81 \cdot 200 \cdot 36}{0,76 \cdot 3600} = 1,1 \cdot 25,81 = 28,4 \text{ кВт};$$

Исходя из полученного результата, выбираем асинхронный двигатель серии ВА 180 М4 мощностью 30 кВт. Расшифровка обозначения ВА 180 М4:

ВА – асинхронный взрывозащищённый двигатель;

180 – габарит двигателя (расстояние от оси вращения до плоскости крепления равно 180 мм);

М – установочный размер по длине станины;

4 – количество полюсов двигателей с синхронной частотой 1500 об/мин.

Изображение двигателя серии ВА 180 М4 представлено на рисунке 7.



Рисунок 7 – Асинхронный двигатель серии ВА 180 М4.

Параметры данного двигателя представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры двигателя ВА 180 М4.

Параметр	Значение
Номинальная скорость вращения ротора, об/мин	1460
Номинальная мощность P_H , кВт	30
Входное напряжение U , В	380
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0,85
Номинальный ток I_{1H} , А	59,3
КПД, %	90,5
Кратность пускового момента $M_{п}/M_H$	1,7
Кратность максимального момента $M_{макс}/M_H$	2,7
Кратность пускового тока $I_{п}/I_H$	7
Класс защиты	IP54
Динамический момент инерции ротора, кг · м ²	0,2
Масса, кг	234
Климатическое исполнение	У3

Режим работы двигателя – S1 (продолжительный).

Охлаждение двигателя – принудительное воздушное.

Габаритно-присоединительные размеры двигателя изображены на рисунке 8.

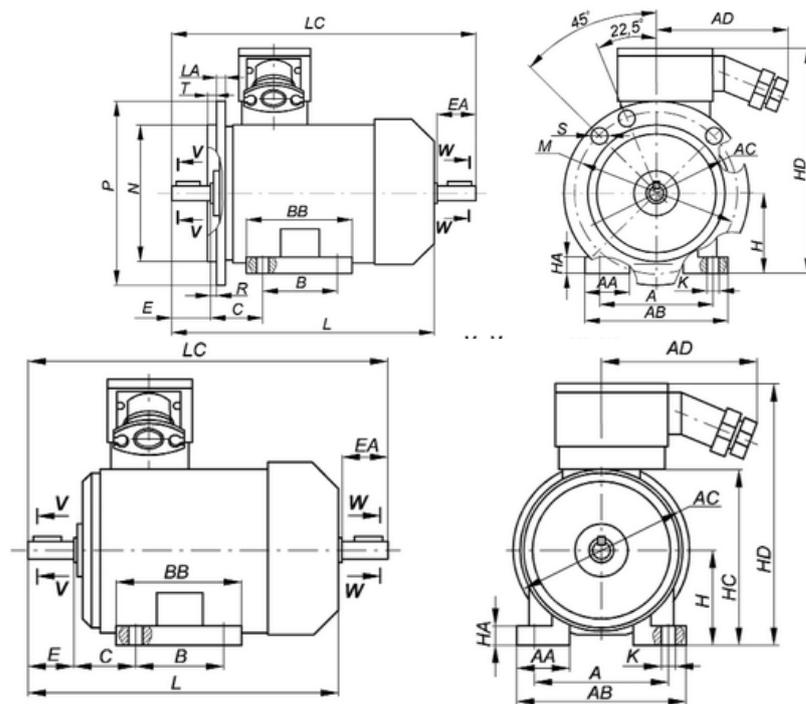


Рисунок 8. Габаритно-присоединительные размеры двигателя ВА 180 М 4.

Значения габаритных размеров приведены в таблицах 3.1, 3.2, 3.3 и 3.4.

Таблица 3.1. Габариты двигателя по корпусу.

Габарит	L	HD	AC	C	LC	AD	H	HC
Значение	730	525	380	121	845	305	180	398

Таблица 3.2. Габариты двигателя по валу.

Габарит	F	D	GA	E	GC	FA	DA
Значение	16	55	59	110	52	14	48

Таблица 3.3. Габариты двигателя по лапам.

Габарит	HA	AA	K	A	AB
Значение	22	60	15	279	320

Таблица 3.4. Габариты двигателя по фланцу.

Габариты	P	N	M	S	LA	T
Значение	400	300	350	19	17	5

2.2 Расчет параметров электродвигателя

Расчёт синхронной угловой частоты вращения:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1500}{30} = 157,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Расчёт номинальной угловой частоты вращения:

$$\omega_{\text{дв.ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв.ном.}}}{30} = \frac{\pi \cdot 1460}{30} = 152,9 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Расчёт номинального скольжения:

$$s_{\text{н}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв.ном}}}{\omega_0} = \frac{157 - 153}{157} \cdot 100 = 2,7 \text{ \%}.$$

Расчёт номинальный момента:

$$M_{\text{дв.ном}} = \frac{P_{\text{дв.ном}}}{\omega_{\text{дв.ном}}} = \frac{30000}{152,9} = 196,22 \text{ Нм}$$

Номинальное фазное напряжение:

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В};$$

Номинальный ток статора при соединении обмоток по схеме «звезда»:

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = I_{1\text{н}} = \frac{P_{\text{дв.ном}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{30000}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,92} = 59,09 \text{ А}.$$

2.3 Расчёт параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя

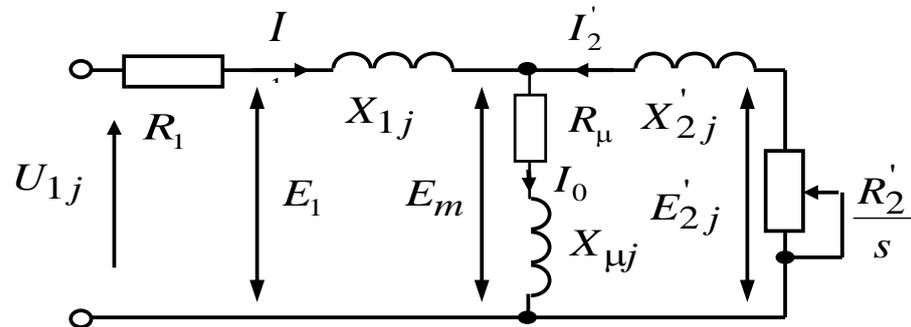


Рисунок 9 – Т-образная схема замещения АД.

Производим расчёт тока холостого хода:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p_{\text{ж}} \cdot I_{1\text{н}} \cdot \frac{(1 - s_{\text{н}})}{1 - p_{\text{ж}} \cdot s_{\text{н}}}\right)^2}{1 - \left(p_{\text{ж}} \cdot \frac{(1 - s_{\text{н}})}{(1 - p_{\text{ж}} \cdot s_{\text{н}})}\right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{50,69^2 - \left(0,86 \cdot 59,09 \cdot \frac{(1 - 0,027)}{1 - 0,86 \cdot 0,027}\right)^2}{1 - \left(0,86 \cdot \frac{(1 - 0,027)}{(1 - 0,86 \cdot 0,027)}\right)^2}} = 16,93 \text{ A,}$$

где

$$I_{11} = \frac{p_{\text{ж}} \cdot P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{1\text{ф}} \cdot \cos \varphi_{p_{\text{ж}}} \cdot \eta_{p_{\text{ж}}}} = \frac{0,86 \cdot 30000}{3 \cdot 220 \cdot 0,841 \cdot 0,92} = 51,37 \text{ A} - \text{ток фазы статора при}$$

неполной нагрузке;

$$p_{\text{ж}} = \frac{P}{P_{\text{н}}} = \frac{25,81}{30} = 0,86 - \text{коэффициент загруженности двигателя;}$$

$$\eta_{p_{\text{ж}}} = \eta_{\text{н}} = 0,905 - \text{принятый КПД при неполной нагрузке;}$$

Коэффициент мощности при неполной нагрузке:

$$\cos \varphi_{p_{\text{ж}}} = 0,989 \cdot 0,85 = 0,841.$$

Для дальнейшего расчёта необходимо рассчитать коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1\text{н}}} = 1 + \frac{16,93}{2 \cdot 7 \cdot 59,09} = 1,02;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,027)}{2 \cdot 1,02 \cdot 2,7 \cdot 30000} = 0,855.$$

Определяем критическое скольжение:

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)}$$

$$= 0,027 \cdot \frac{2,7 + \sqrt{2,7^2 - (1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 2 \cdot (2,7 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot (2,7 - 1)} = 0,171,$$

где β – коэффициент, чьё значение лежит в диапазоне 0,6–2,5.

Принимаем $\beta = 2$.

Определяем активное сопротивление обмотки ротора, приведённое к обмотке статора:

$$R'_2 = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{s_K}) \cdot C_1} = \frac{0,855}{(1 + \frac{1}{0,171}) \cdot 1,02} = 0,107 \text{ Ом},$$

Рассчитываем активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,02 \cdot 0,107 \cdot 2 = 0,218 \text{ Ом}.$$

Находим индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{\text{кн}}$:

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 5,502 \cdot 1,02 \cdot 0,107 = 0,599 \text{ Ом},$$

Где параметр γ имеет следующее значение:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,171^2} - 2^2} = 5,502,$$

Для выделения значений индуктивного сопротивления рассеяния обмотки ротора приведённой к статорной и индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора из индуктивного сопротивления рассеяния применяем следующие выражения:

Расчёт индуктивного сопротивления рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X'_{\sigma 2} = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,599}{1,02} = 0,34 \text{ Ом}.$$

Расчёт индуктивного сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_{\sigma 1} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 0,599 = 0,252 \text{ Ом.}$$

Находим, наведённую потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме ЭДС ветви намагничивания:

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - R_1 \cdot I_{1\text{н}})^2 + (U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{н}}} - X_{\sigma 1} \cdot I_{1\text{н}})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,85 - 0,218 \cdot 59,09)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,85^2} - 0,252 \cdot 59,09)^2} = \\ &= 201,32 \text{ В.} \end{aligned}$$

Следовательно, индуктивное сопротивление намагничивания имеет значение:

$$X_{\mu\text{н}} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{201,32}{16,93} = 11,892 \text{ Ом.}$$

По имеющимся значениям C_1 , R'_2 и $X_{\text{кн}}$ определяем критическое скольжение:

$$s_{\text{к1}} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = \frac{1,02 \cdot 0,107}{\sqrt{0,218^2 + 0,599^2}} = 0,171.$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{\sigma 1} = \frac{X_{\sigma 1}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,252}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 8,01 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{\sigma 2}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,34}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu\text{н}} = \frac{X_{\mu\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{11,892}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,038 \text{ Гн.}$$

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры схемы замещения электродвигателя.

R_1 , Ом	$X_{\sigma 1}$, Ом	$L_{\sigma 1}$, Гн	R'_2 , Ом	$X'_{\sigma 2}$, Ом	$L'_{2\sigma}$, Гн	$X_{\mu\text{н}}$, Ом	$L_{\mu\text{н}}$, Гн	$X_{\text{кн}}$, Ом
0,218	0,252	$8 \cdot 10^{-4}$	0,107	0,34	$1,1 \cdot 10^{-3}$	11,892	0,038	0,599

2.4 . Построение естественных электромеханической и механической характеристик

Расчет естественной электромеханической характеристики

Выражение естественной электромеханической характеристики $I_1(s)$ при частоте $f_{1H} = 50$ Гц будет иметь следующий вид:

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

где:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H}}\right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2}}.$$

Построенная электромеханическая характеристика $\omega(I_1)$ приведена на рисунке 10.

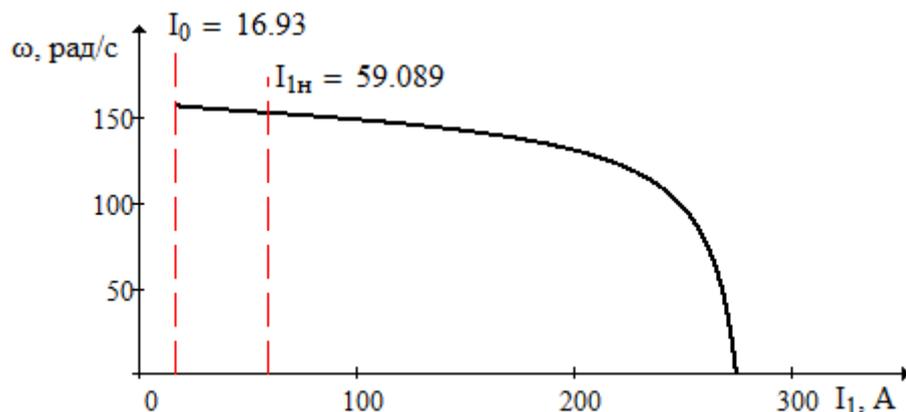


Рисунок 10 – Естественная электромеханическая характеристика $\omega(I_1)$

Расчет естественной механической характеристики

Выражение естественной механической характеристики $M(s)$ при частоте $f_{1H} = 50$ Гц будет выглядеть следующим образом:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left(X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H}} \right)^2 \right)}.$$

По результатам расчета строится естественная механическая характеристика $\omega(M)$ (рисунок 11), где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

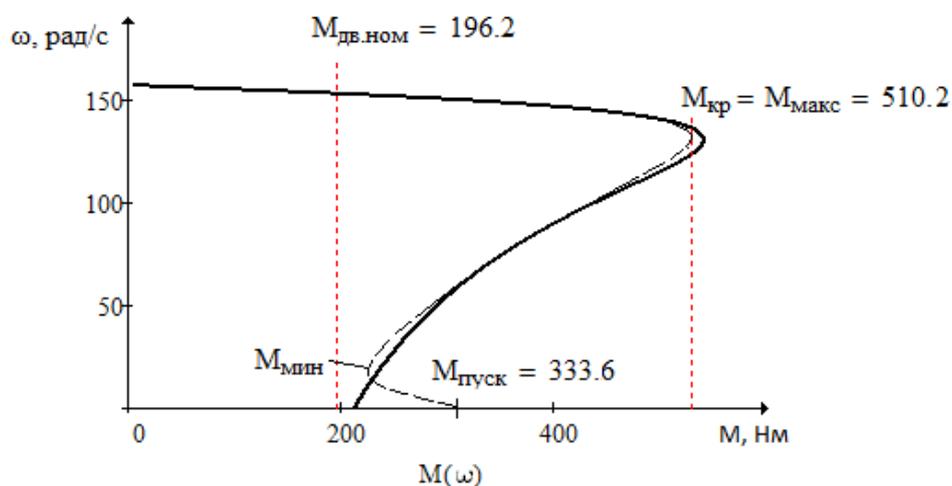


Рисунок 11 – Естественная механическая характеристика электродвигателя $\omega(M)$.

Данные методы позволяют построить электромеханическую характеристику, в то время как, механическая характеристика получается неточной. Это связано с тем, что принимается ряд допущений и не учитываются многие факторы: магнитные и механические потери в двигателе составляют 2 % от его номинальной мощности, активные сопротивления статорной и роторной обмоток принимаются независимыми от режима работы двигателя, эффекты вытеснения, которые оказывают влияние на характеристику асинхронного двигателя не учитываются.

Также, необходимо отметить, что расхождение полученных в ходе расчётов данных с паспортными, и построенных по ним графиков (сплошной и пунктирный график соответственно) вызвано тем, что паспортные данные приведены для двигателя с насыщенной магнитной системой, в то время как при данных расчётах насыщение не учитывалось.

2.5 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии

Применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получить новые качества систем и объектов.

Весьма ощутимая экономия электроэнергии производится за счет изменения того или иного технологического параметра. Например, в случае, если речь идёт о транспортёре или конвейере – то появляется возможность регулировать скорость его движения. Если же речь идёт о насосе или вентиляторе – то становится можно поддержать давление и регулировать производительность. Если это станок, то можно плавно регулировать скорость подачи или главного движения.

Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты дает применение частотного регулирования на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До сих пор самым распространённым способом регулирования производительности таких объектов является использование задвижек или регулирующих клапанов, но сегодня доступным становится частотное регулирование асинхронного двигателя, приводящего в движение, например, рабочее колесо насосного агрегата или вентилятора.

2.6. Выбор преобразователя частоты

Выбираем преобразователь частоты марки ИРБИ 823-30 (Рисунок 12) со следующими параметрами, которые приведены в таблице 5:

Таблица 5 – Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное Напряжение $U_{и}$, В	Выходная частота $f_{и}$, Гц	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя P_2 , кВт
	$U_{1л}$, В	f_C , Гц			$I_{ин}$, А	$I_{и макс.}$, А	
ИРБИ 823-30	3x380	50	380	0 ÷ 100	63	69,3	30



Рисунок 12 – Преобразователь частоты марки ИРБИ 823-30.

При этом должны выполняться следующие условия:

$$I_{ин} \geq I_{1н}$$

63А ≥ 59 А – условие выполняется.

$$U_{и} \geq U_{н,дв.}$$

380 В ≥ 380 В – условие выполняется.

2.6.1. Выбор закона частотного скалярного управления для заданного механизма

Так как у привода центробежного насоса нагрузка имеет нелинейный характер, то принимаем закон регулирования $\frac{U}{f^3} = const$.

Расчёты будут производиться для следующих частот:

$$f_{1н} = 50 \text{ Гц}; f_{11} = 40 \text{ Гц}; f_{12} = 30 \text{ Гц}; f_{13} = 25 \text{ Гц};$$

2.6.2. Расчет семейства механических и электромеханических характеристик при изменении частоты

Производим расчёт коэффициента пропорциональности для выше обозначенного закона регулирования:

$$K = \frac{U_{1н}}{f_{1н}^3} = \frac{220}{50^3} = 0,00176$$

Расчёт соответствующие напряжений, для заданных частот регулирования:

$$U_{11} = K \cdot f_{11}^3 = 0,00176 \cdot 40^3 = 112,64 \text{ В};$$

$$U_{12} = K \cdot f_{12}^3 = 0,00176 \cdot 30^3 = 47,52 \text{ В};$$

$$U_{13} = K \cdot f_{13}^3 = 0,00176 \cdot 25^3 = 27,5 \text{ В};$$

Определяем относительные частоты напряжения питания:

$$f_{11*} = \frac{f_{11}}{f_{1н}} = \frac{40}{50} = 0,8; f_{12*} = \frac{f_{12}}{f_{1н}} = \frac{30}{50} = 0,6;$$

$$f_{13*} = \frac{f_{13}}{f_{1н}} = \frac{25}{50} = 0,5;$$

Синхронные скорости вращения двигателя, соответствующие заданным частотам регулирования:

$$\omega_{011} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{11}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 40}{2} = 125,7 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{012} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{12}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 30}{2} = 94,2 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{013} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{13}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{2} = 78,5 \text{ рад/с};$$

Постройка механических характеристик асинхронного двигателя при переменных значениях величины напряжения и частоты строятся согласно выражению:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left(X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{мн} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right)}$$

Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется по формуле:

$$I_1(s) = \sqrt{I_{0j}^2 + (I_2'(s))^2 + 2 \cdot I_{0j} \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

где:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1*}}\right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кн}} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2}}.$$

Так как с изменением частоты и напряжения статора тока холостого хода изменяется, то его значение для каждой из частот определяется по выражению:

$$I_{0j} = \frac{U_{ij}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{\sigma 1} + X_{\text{мн}})^2 \cdot f_{1*}^2}}$$

Пересчет скольжения s на угловую скорость производится в соответствии с выражением:

$$\omega(s) = \omega_{0j} \cdot (1 - s).$$

Механическая характеристика центробежного насоса определяется по выражению:

$$M_{\text{с.прив.}}(\omega) = \Delta M_{\text{с.мех}} + \left(\frac{M_{\text{с.прив.}}}{\omega_{\text{мех.прив.}}^3}\right) \cdot \omega^3 =$$

$$= 15,7 + \left(\frac{156,98}{152,93}\right) \cdot \omega^3 = 15,7 + 4,392 \cdot 10^{-5} \cdot \omega^3,$$

где:

$$\Delta M_{\text{с.мех}} = 0,08 \cdot M_{\text{дв.ном}} = 0,08 \cdot 196,22 = 15,7 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{с.прив.}} = 0,8 \cdot M_{\text{дв.ном}} = 156,98 \text{ Нм}$$

Механические характеристики представлены на рисунках 12 и 13, а электромеханические – на рисунке 14.

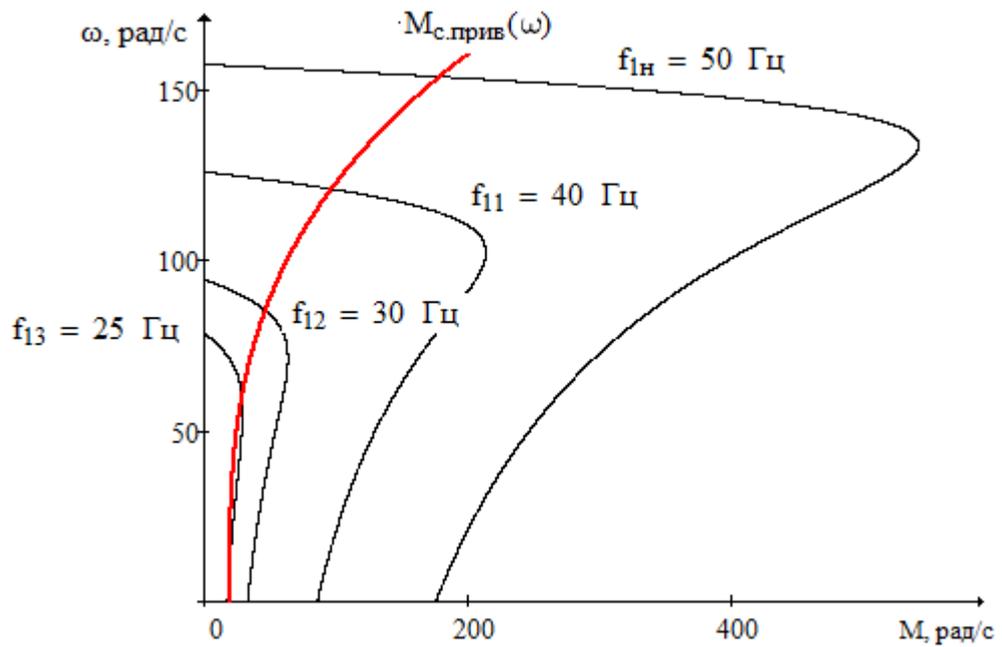


Рисунок 13 – Механические характеристики двигателя ВА180М4 при выбранном законе регулирования $\frac{U}{f^3} = const$ и механическая характеристика насоса.

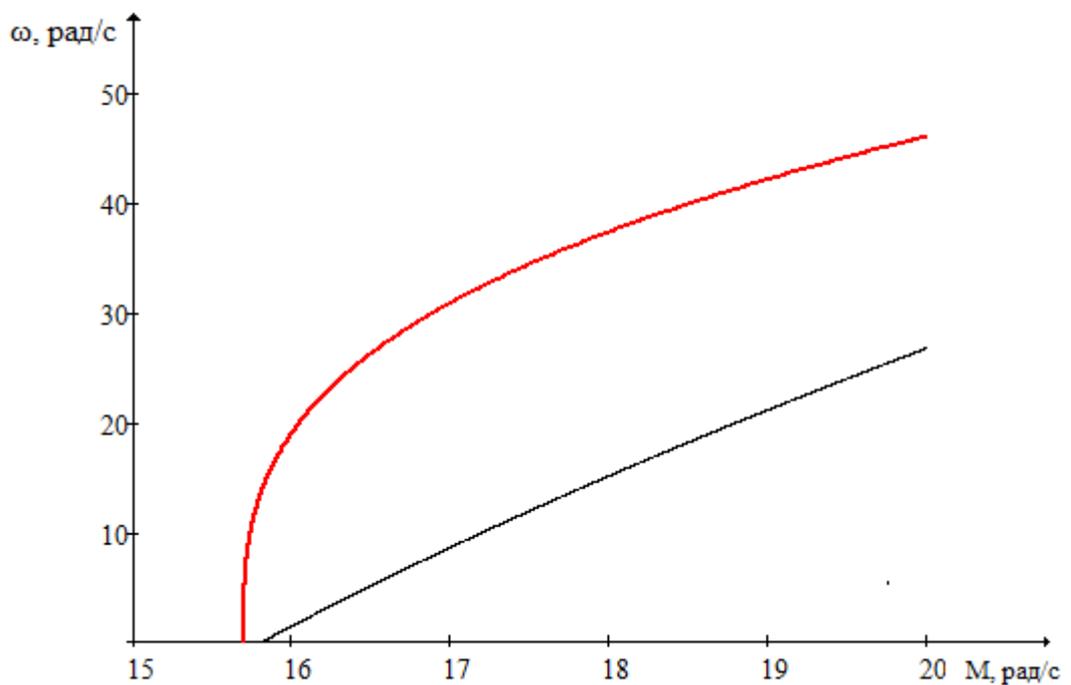


Рисунок 14 – Увеличенное изображение механической характеристики двигателя ВА180М4 при частоте $f = 25$ Гц и механической характеристики насоса.

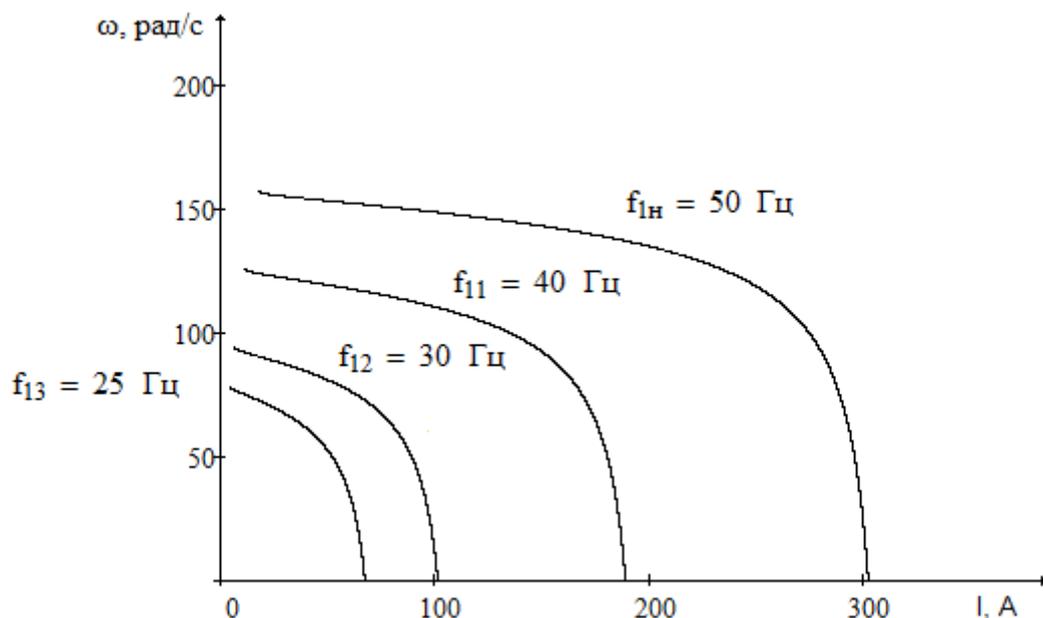


Рисунок 15 – Электромеханические характеристики двигателя ВА180М4 при выбранном законе регулирования $\frac{U}{f^3} = const.$

2.7 Прямой пуск двигателя

Полученные значения подставляем в имитационную модель (рисунок 15) и, исследуя ее в программе Matlab, получаем графики переходных процессов момента и скорости электродвигателя при прямом пуске двигателя с нагрузкой.

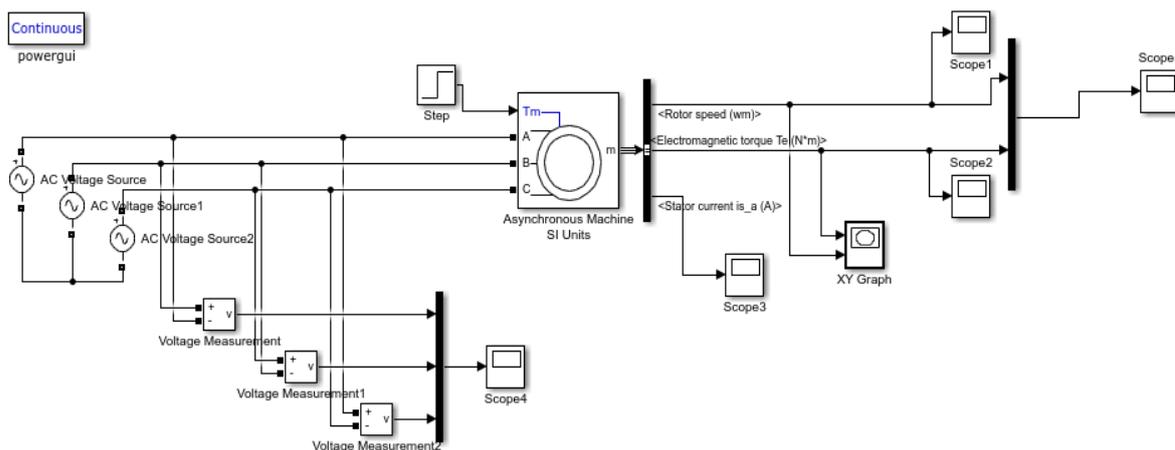


Рисунок 16 – Имитационная модель прямого пуска двигателя.

Полученные результаты отображены на рисунке 16 и рисунке 17.

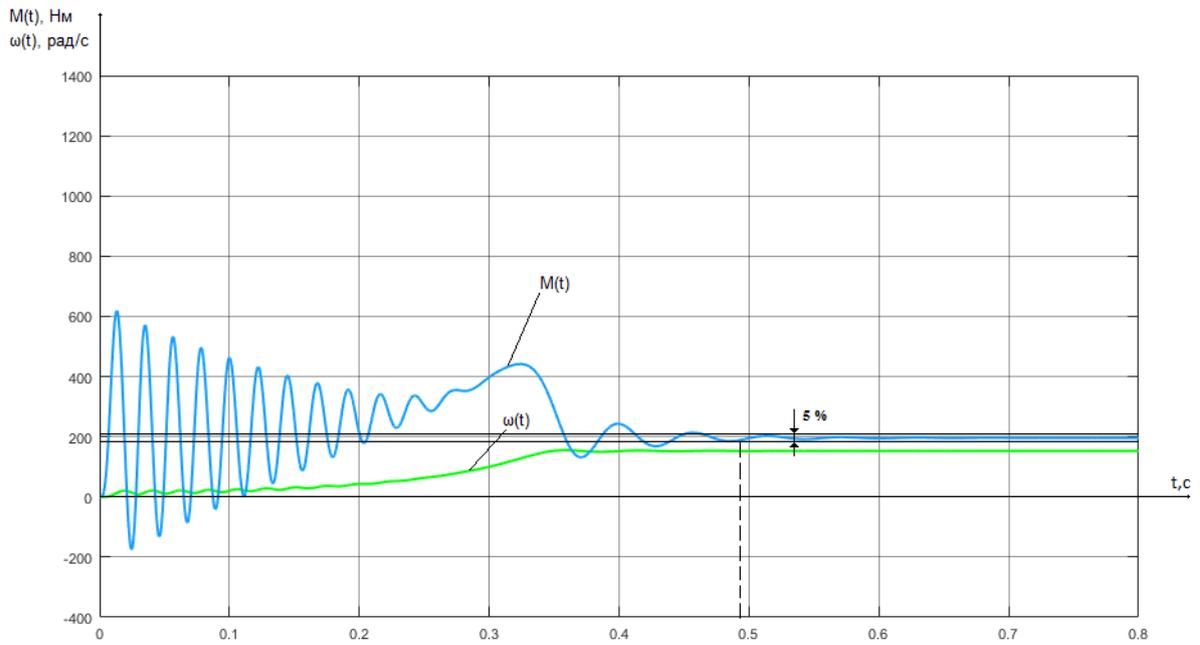


Рисунок 17 – График переходного процесса момента АД при прямом пуске с нагрузкой.

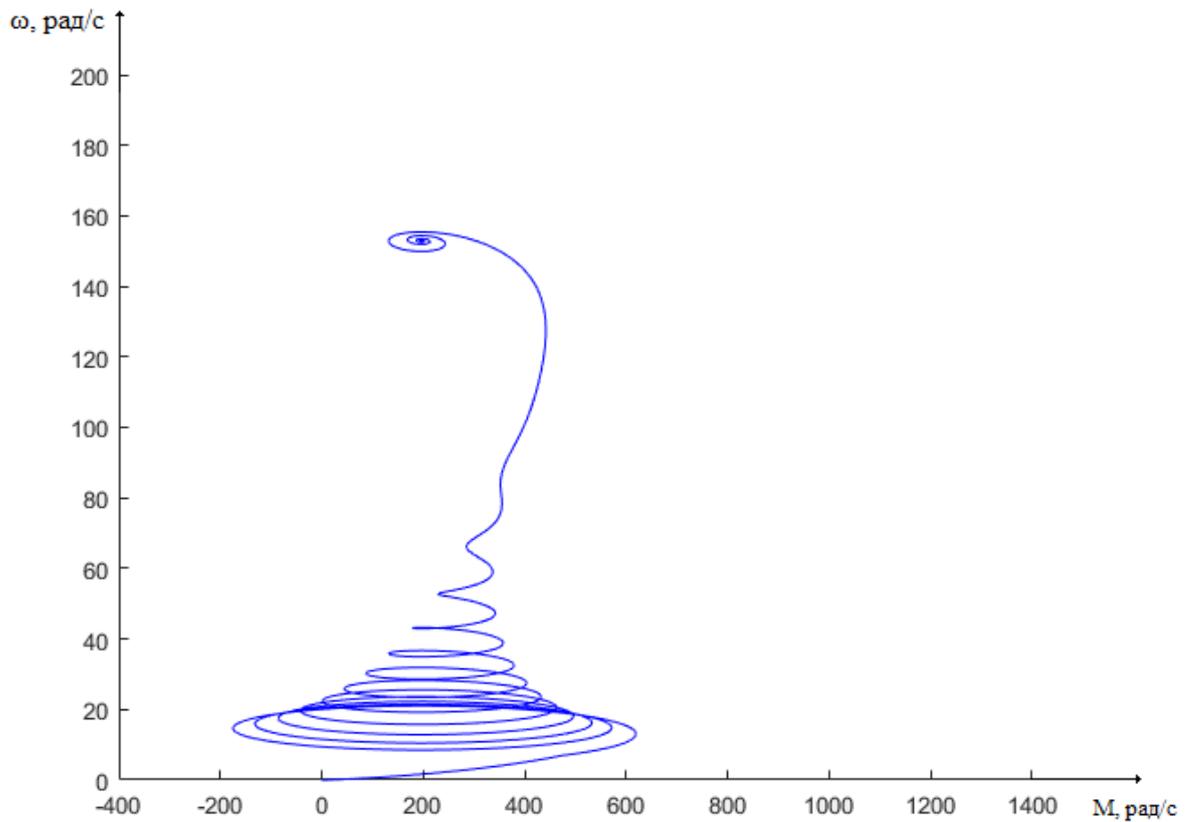


Рисунок 18 – Динамическая механическая характеристика при прямом пуске с нагрузкой.

Параметры модели наброса нагрузки отображены на рисунке 18.

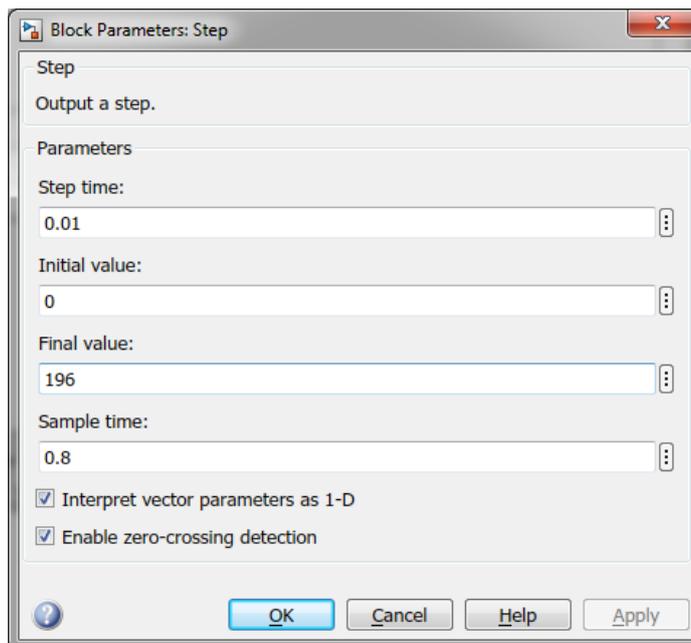


Рисунок 19 – Параметры модели для получения переходных характеристик при прямом пуске и набросе нагрузки.

Результаты моделирования переходных процессов при набросе нагрузки отображены на рисунках 19 и 20.

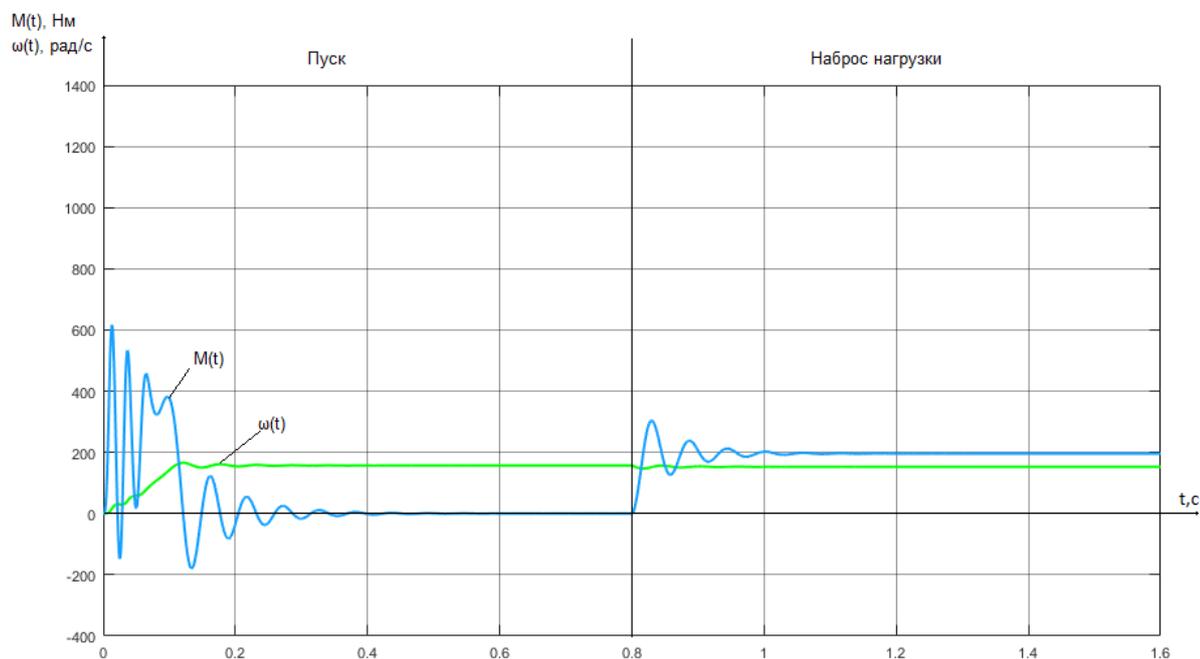


Рисунок 20 – Переходные процессы в АД при прямом пуске и набросе номинальной нагрузки.

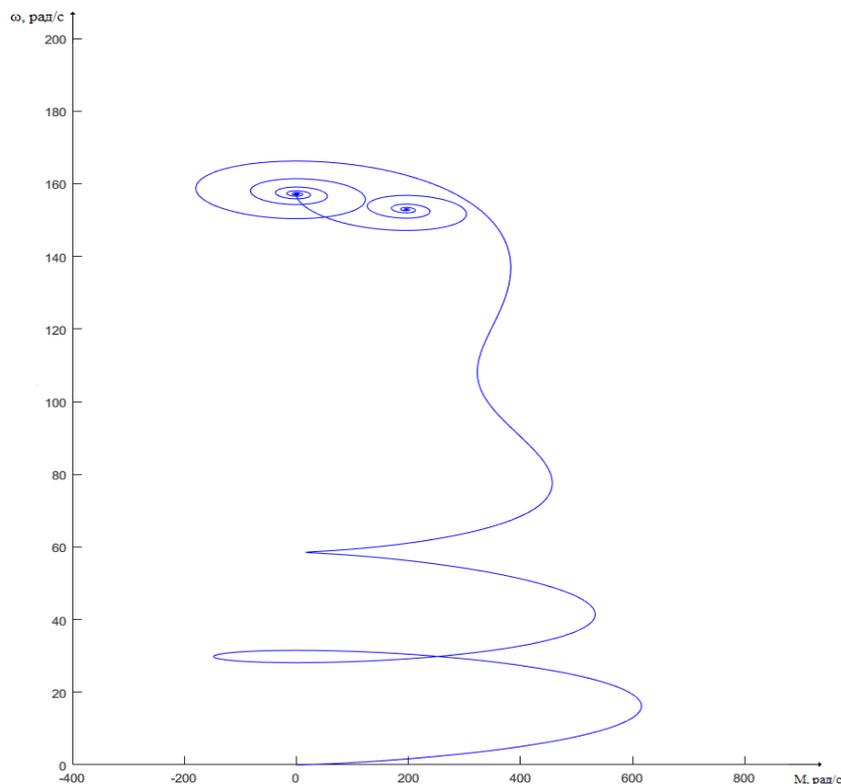


Рисунок 21 – Динамическая механическая характеристика при прямом пуске и набросе номинальной нагрузки.

Выводы:

Из полученных характеристик, полученных при моделировании переходных процессов при прямом пуске двигателя с номинальной нагрузкой, наблюдаются значительные колебания момента (Максимальное значение достигает свыше 600 Нм, минимальное – чуть меньше 200 Нм), что свидетельствует о плохом качестве переходных процессов. Время переходного процесса составляет 0,49 с.

Из всего описанного приходим к выводу, что необходимо организовать плавный пуск с ограничением колебаний момента с применением линейного задатчика с s-образной характеристикой.

Имитационная модель электрической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» смоделированная в системе Matlab Simulink приведена на рисунке 23.

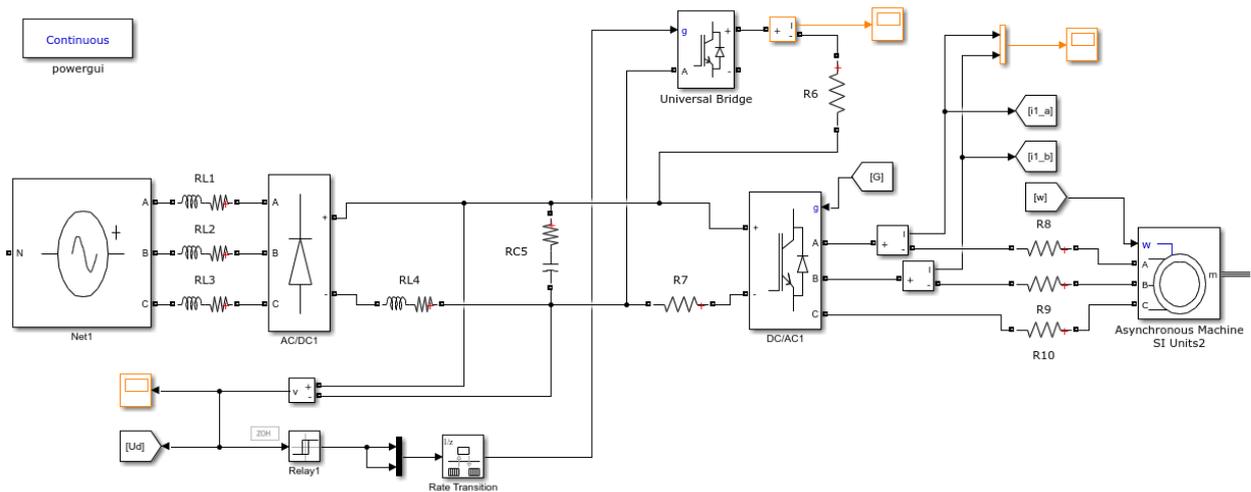


Рисунок 23 – Имитационная модель электрической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель»

Имитационная модель механической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» смоделированная в системе Matlab Simulink приведена на рисунке 24.

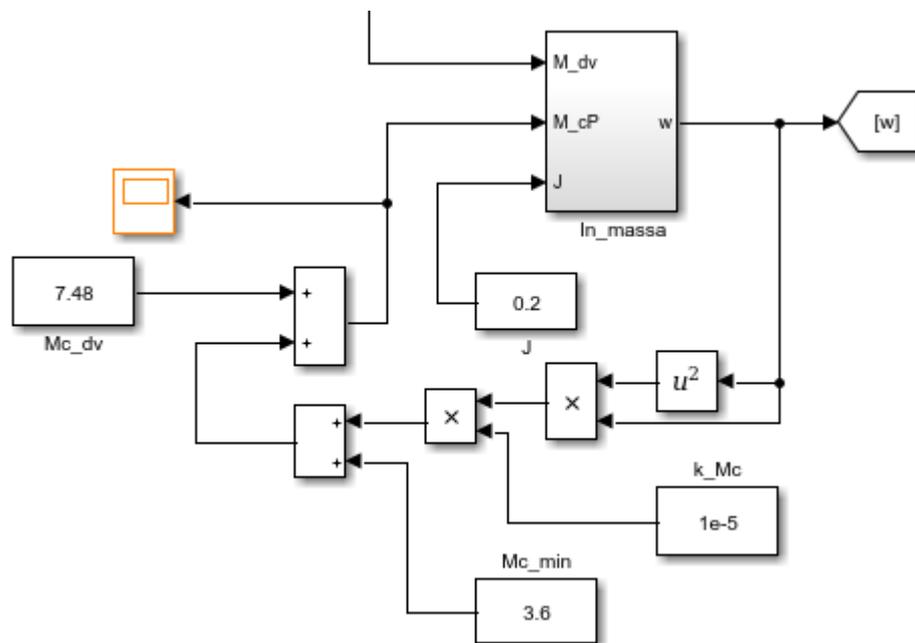


Рисунок 24 – Имитационная модель механической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель»

3.2. Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой.

Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера, которая применяется для моделирования систем электропривода, изображена на рисунке 25. На изображении данной схемы приняты обозначения:

M_{dv} – электромагнитный момент двигателя, $H \cdot m$;

M_{cP} – приведённый к валу двигателя статический момент реактивного характера, $H \cdot m$;

J – приведённый к валу двигателя эквивалентный момент инерции движущихся масс, $кг \cdot м^2$.

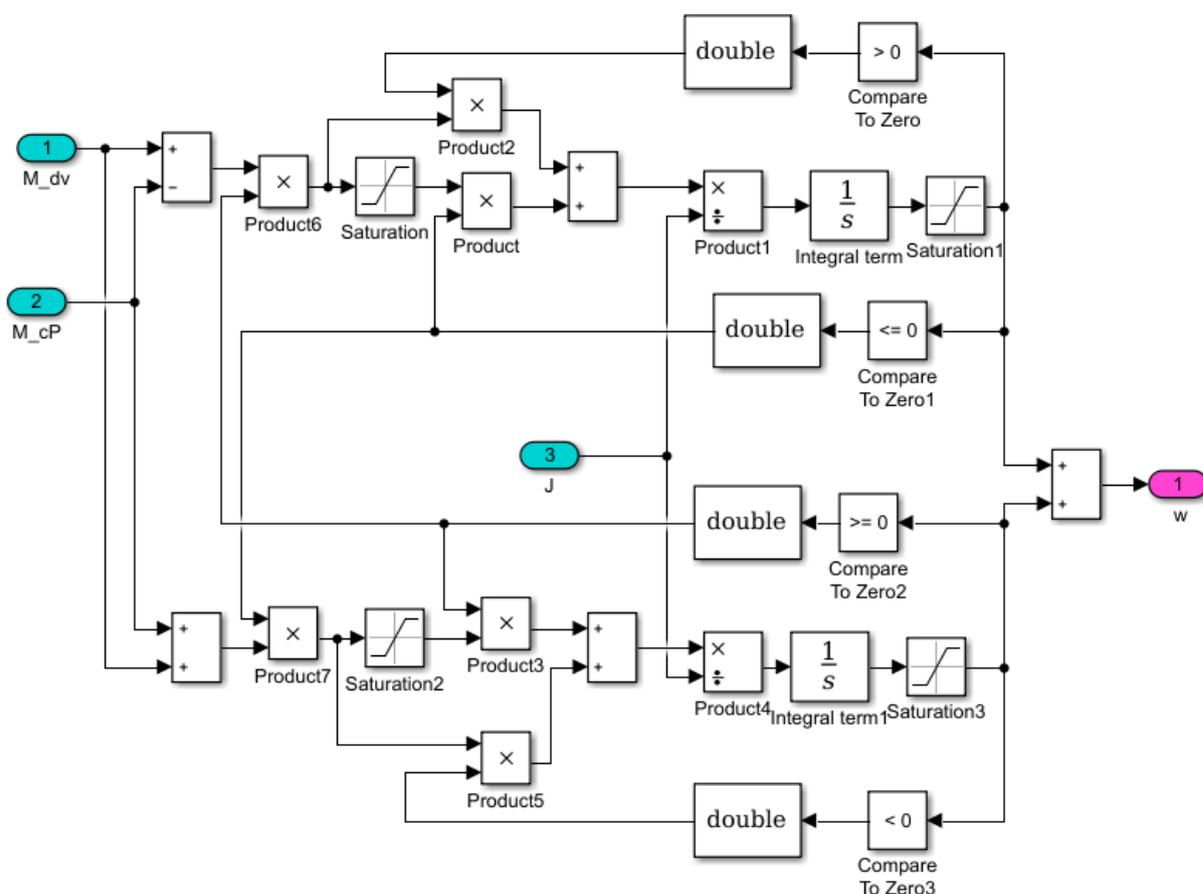


Рисунок 25 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы с реактивной нагрузкой.

Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты, представленного подсистемой «Преобраз» представлена на рисунке.

3.3. Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой.

Параметры настройки имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной характеристикой определяются по выражениям:

$$T_{и1} = t_1, \text{ с};$$

$$T_{и2} = t_1 + t_2, \text{ с};$$

$$k = 0,5 \cdot \frac{t_1}{t_1+t_2}.$$

Временная характеристика задатчика интенсивности с S-образной характеристикой представлена на рисунке 26.

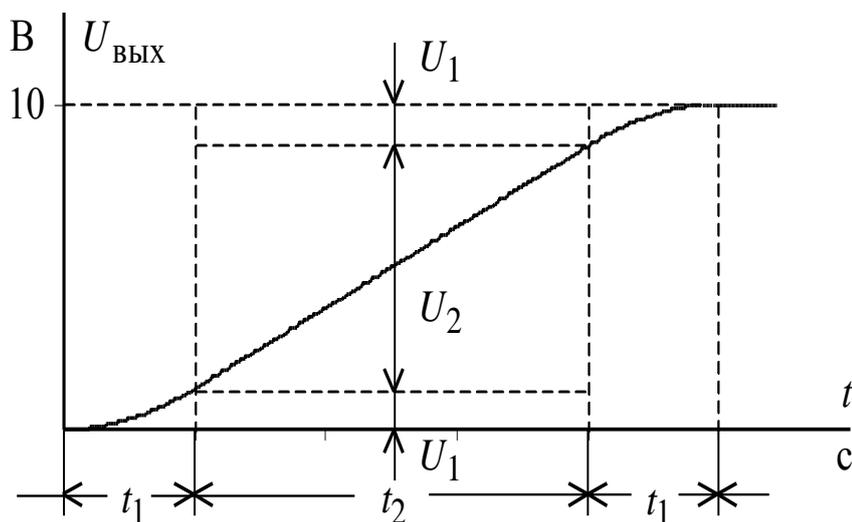


Рисунок 26 – Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой.

Схема набора имитационной модели в системе Matlab Simulink задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой отображена на рисунке 27.

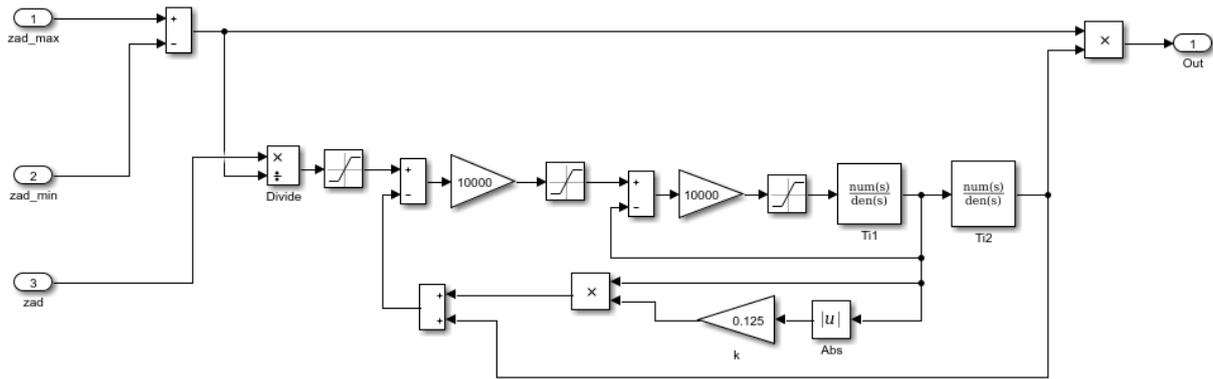


Рисунок 27 – Схема набора имитационной модели в системе Matlab Simulink задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой.

Имитационная модель системы управления с заданной программой работы представлена на рисунке 28.

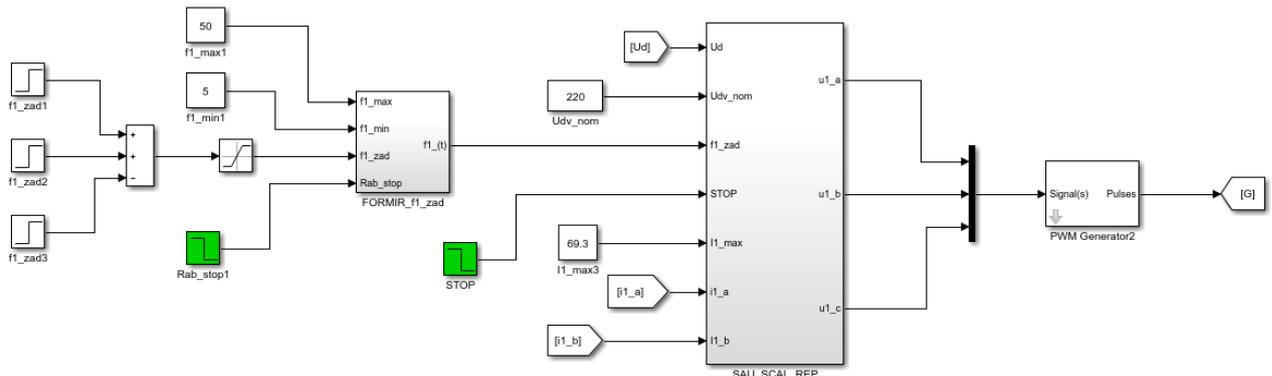


Рисунок 28 – имитационная модель системы управления с заданной программы работы.

3.4. Модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением.

Данная работа рассматривает модель частотно-регулируемого асинхронного привода насоса со скалярным управлением.

REP_AD_Nasos_scal_01.mdl – модель асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением на базе модели электрической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель

выполненная с помощью пакета Simulink программы Matlab с датчиками тока i_a и i_b , а также коррекцией вольт-частотной характеристики $\frac{U}{f} = const$.

3.5. Параметры силового канала электропривода насоса.

Технические параметры асинхронного двигателя привода насоса приведены в разделе 2.1 в таблице 2.

Принятые при расчёте параметры двигателя:

$$\eta_{0,86} = 0,905; \cos \varphi_{0,86} = 0,841; \beta = 2.$$

Расчётные параметры асинхронного двигателя:

$$R_1 = 0,218 \text{ Ом}; L_{\sigma 1} = 8,01 \cdot 10^{-4} \text{ Гн};$$

$$R'_2 = 0,107 \text{ Ом}; L'_{2\sigma} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$L_{\mu\text{H}} = 0,038 \text{ Гн}; z = 4;$$

$$\omega_{\text{дв.ном}} = 152,9 \text{ рад/с}; I_{1\text{H}} = 59,09 \text{ А};$$

$$M_{\text{H}} = 196,22 \text{ Нм};$$

Параметры преобразователя частоты ИРБИ823-30:

$$I_{\text{и.н.}} = 63 \text{ А};$$

$$I_{\text{и.макс.}} = 69,3 \text{ А} (t = 60 \text{ с});$$

3.6. Исследование электропривода со скалярным управлением.

Программа исследования электропривода предусматривает следующие этапы:

- Пуск на частоте 25 Гц;
- Пуск на частоте 30 Гц;
- Пуск на частоте 40 Гц;
- Пуск на частоте 50 Гц.

- Моделирование отработки насосом цикла плавный пуск – ступенчатый разгон до номинальной скорости – работа на номинальной скорости – торможение – останов

- Построение графиков характеристик $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ для каждого из описанных случаев.

Характеристики $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ при пуске на частоте 25 Гц представлены на рисунке 29.

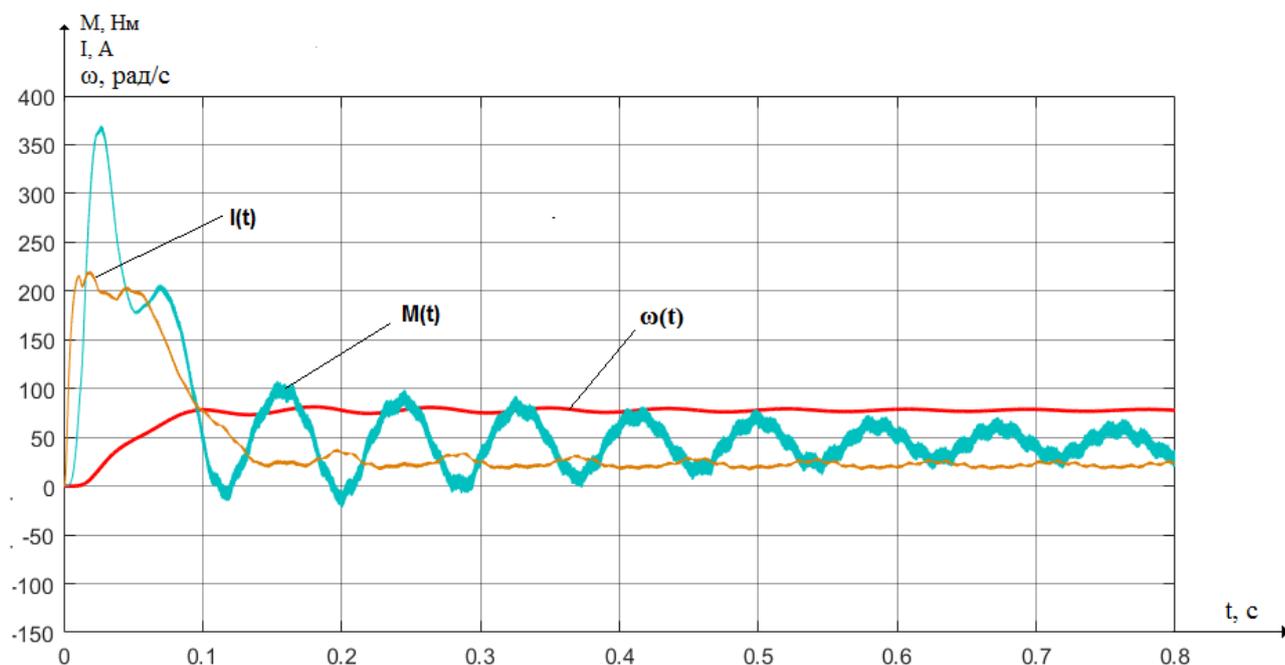


Рисунок 29 – Характеристики $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ при пуске на частоте 25 Гц.

Увеличенное изображение характеристики $\omega(t)$, а также время переходного процесса при пуске на частоте 25 Гц показано на рисунке 30.

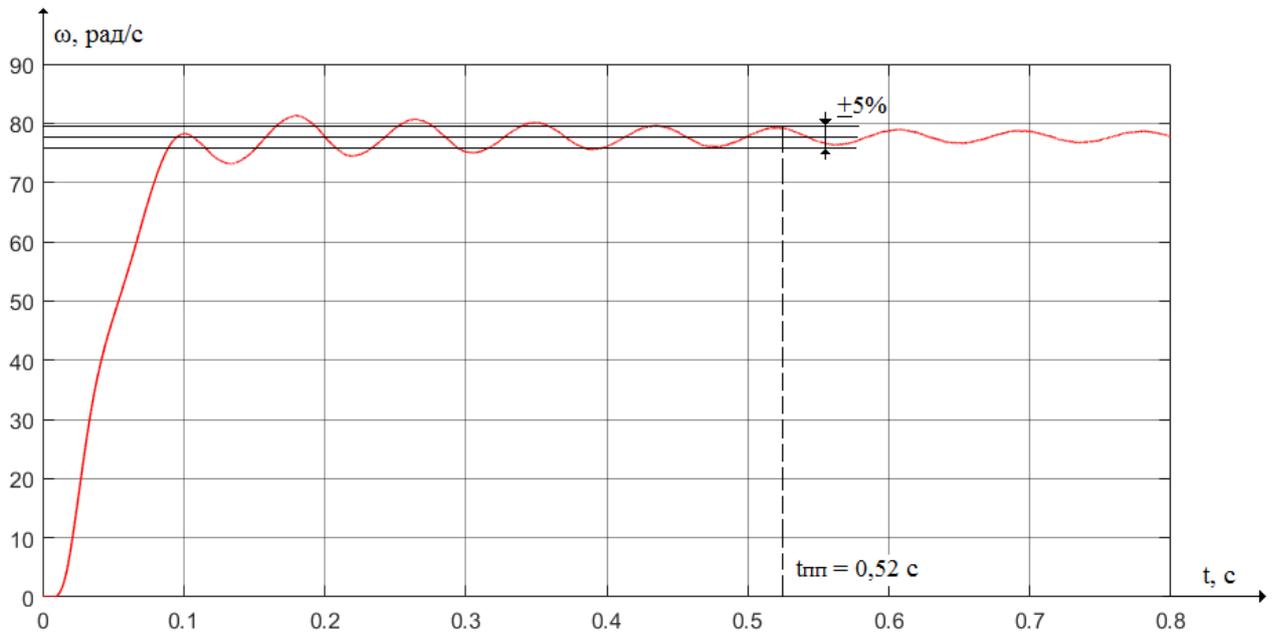


Рисунок 28 – Характеристика $\omega(t)$ при пуске на частоте 25 Гц.

Характеристики $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ при пуске на частоте 30 Гц представлены на рисунке 28.

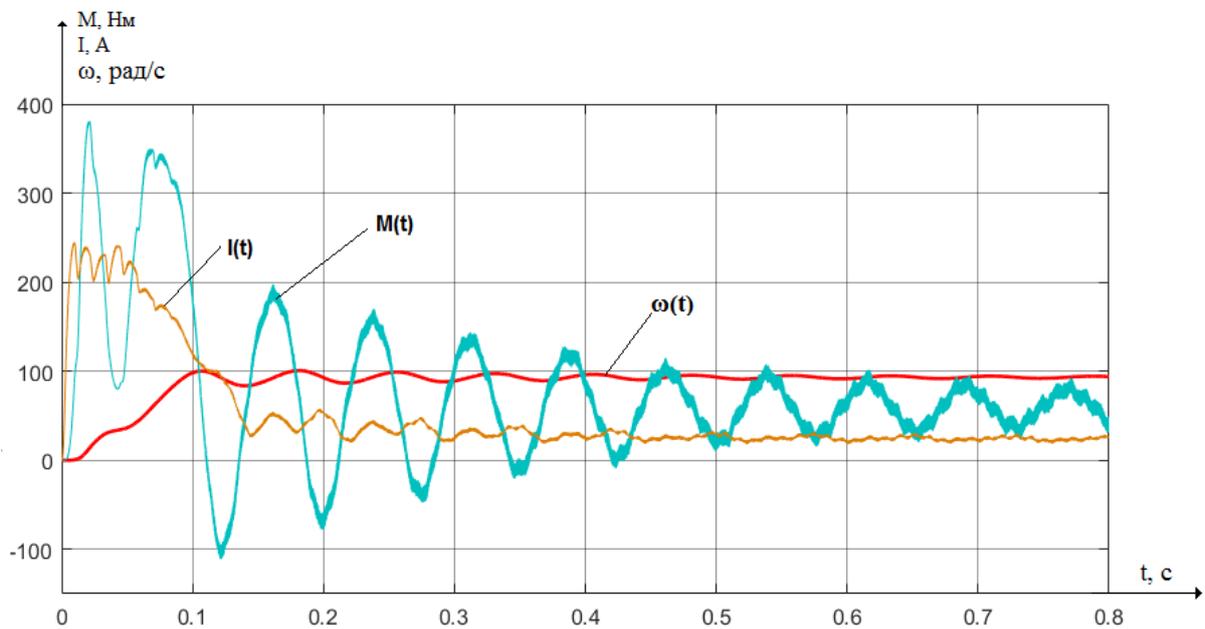


Рисунок 29 – Характеристики $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ при пуске на частоте 30 Гц.

Увеличенное изображение характеристики $\omega(t)$, а также время переходного процесса при пуске на частоте 30 Гц показано на рисунке 29.

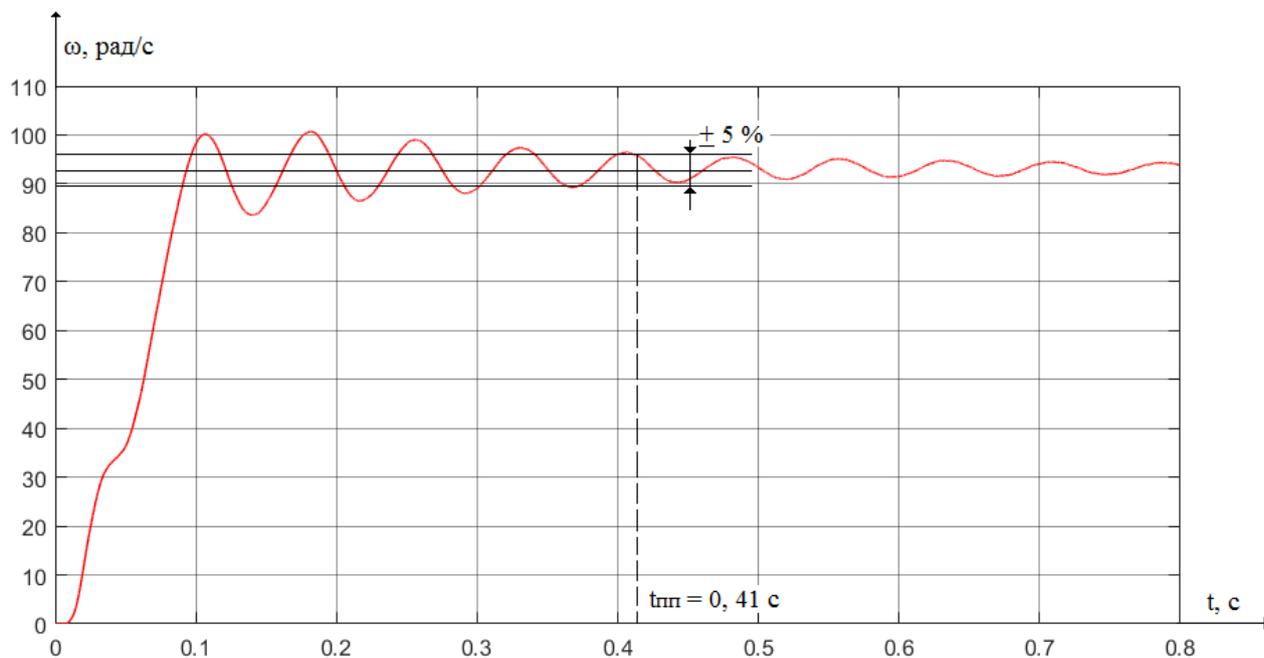


Рисунок 30 – Характеристика $\omega(t)$ при пуске на частоте 30 Гц.

Характеристики $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ при пуске на частоте 40 Гц представлены на рисунке 30.

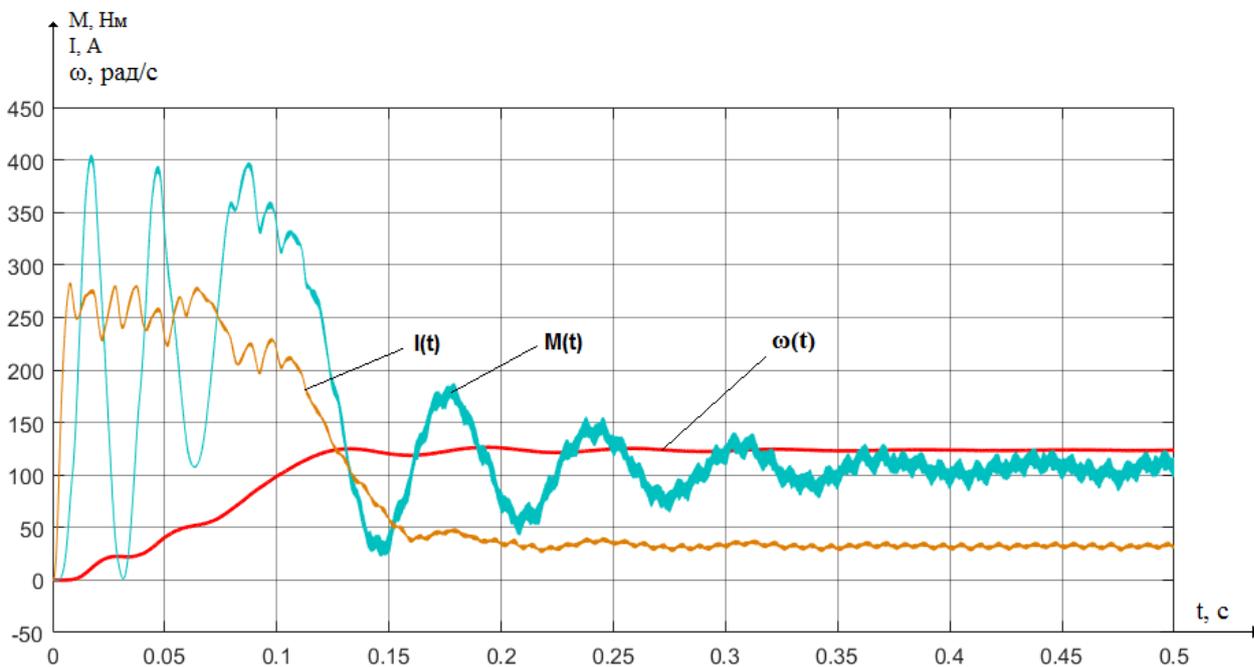


Рисунок 31 – Характеристики $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ при пуске на частоте 40 Гц.

Увеличенное изображение характеристики $\omega(t)$, а также время переходного процесса при пуске на частоте 40 Гц показано на рисунке 31.

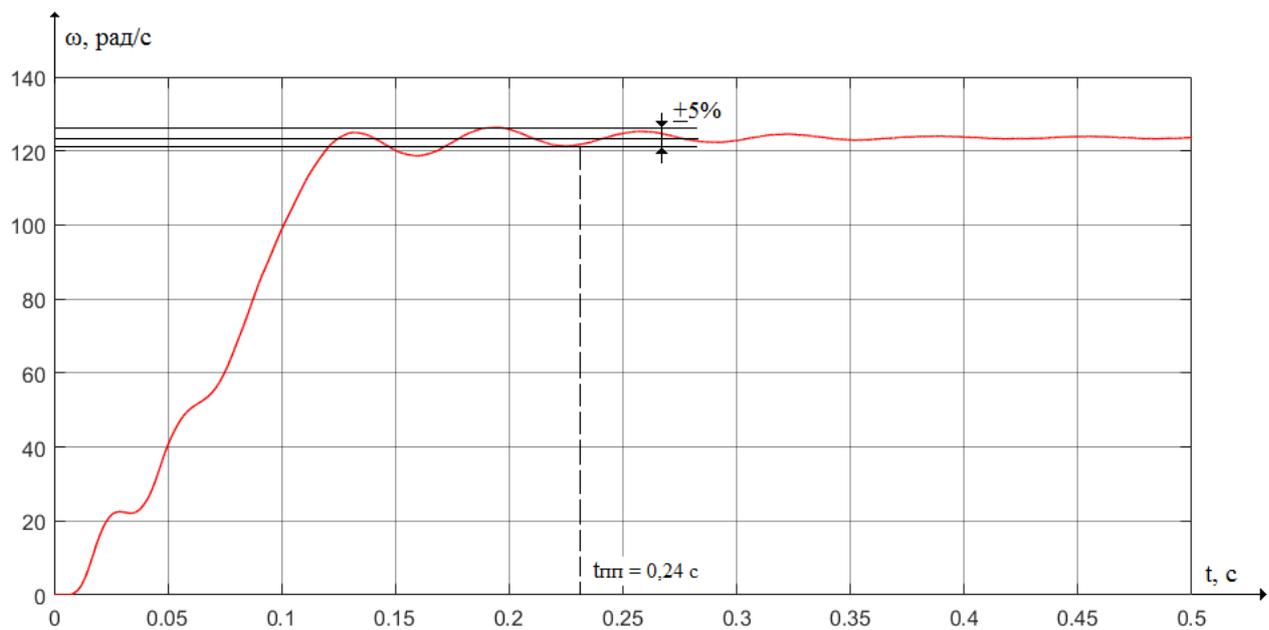


Рисунок 32 – Характеристика $\omega(t)$ при пуске на частоте 40 Гц.

Характеристики $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ при пуске на частоте 50 Гц представлены на рисунке 32.

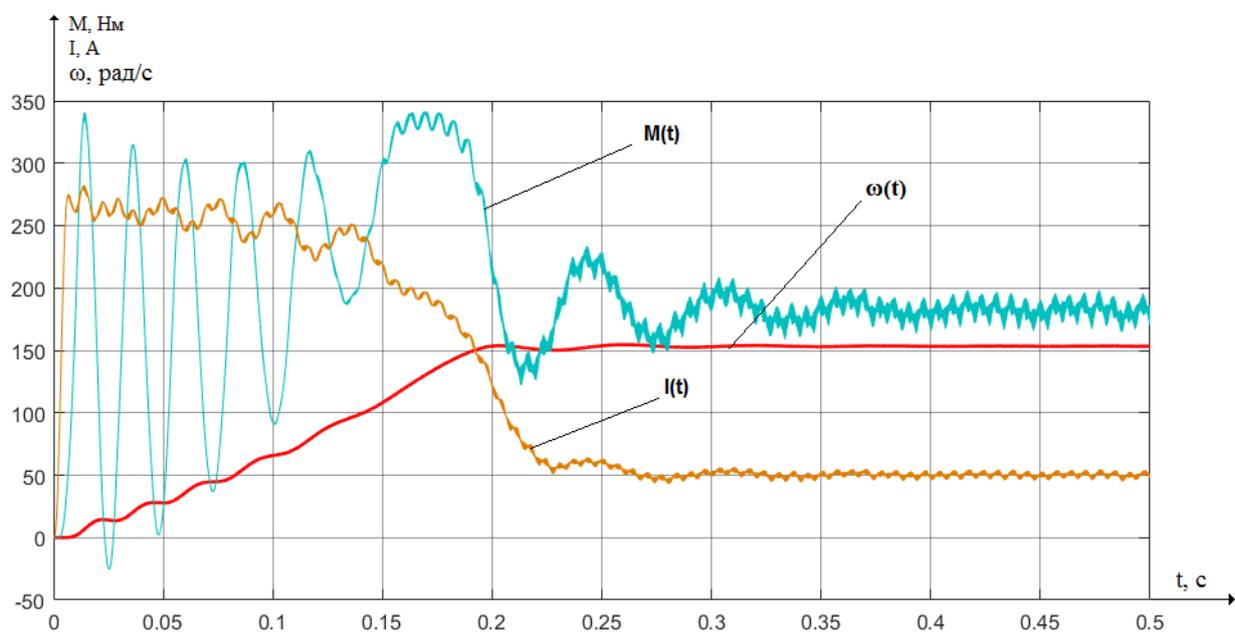


Рисунок 33 – Характеристики $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ при пуске на частоте 50 Гц.

Увеличенное изображение характеристики $\omega(t)$, а также время переходного процесса при пуске на частоте 40 Гц показано на рисунке 33.

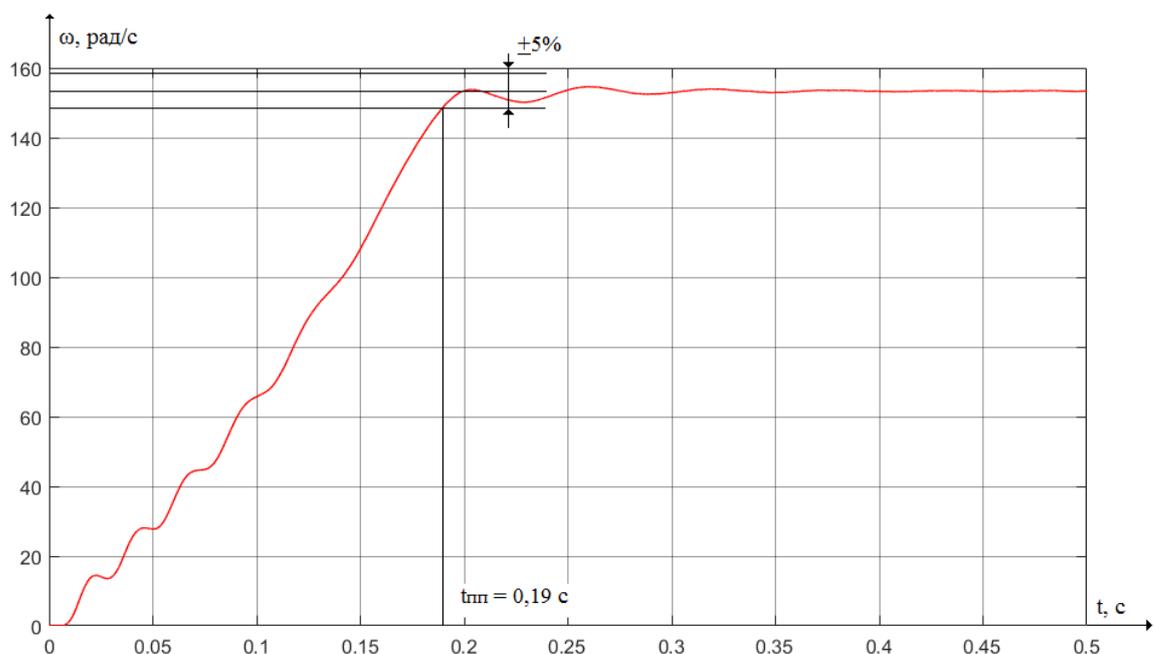


Рисунок 34 – Характеристика $\omega(t)$ при пуске на частоте 50 Гц.

Характеристики $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$, при моделировании цикла «плавный пуск – ступенчатый разгон до номинальной скорости – работа на номинальной скорости – торможение – останов» представлены на рисунке 35. Ступенчатый разгон подразумевает пуск на частоте 25 Гц, переход на частоту 40 Гц, а затем – на номинальный режим работы с частотой 50 Гц.

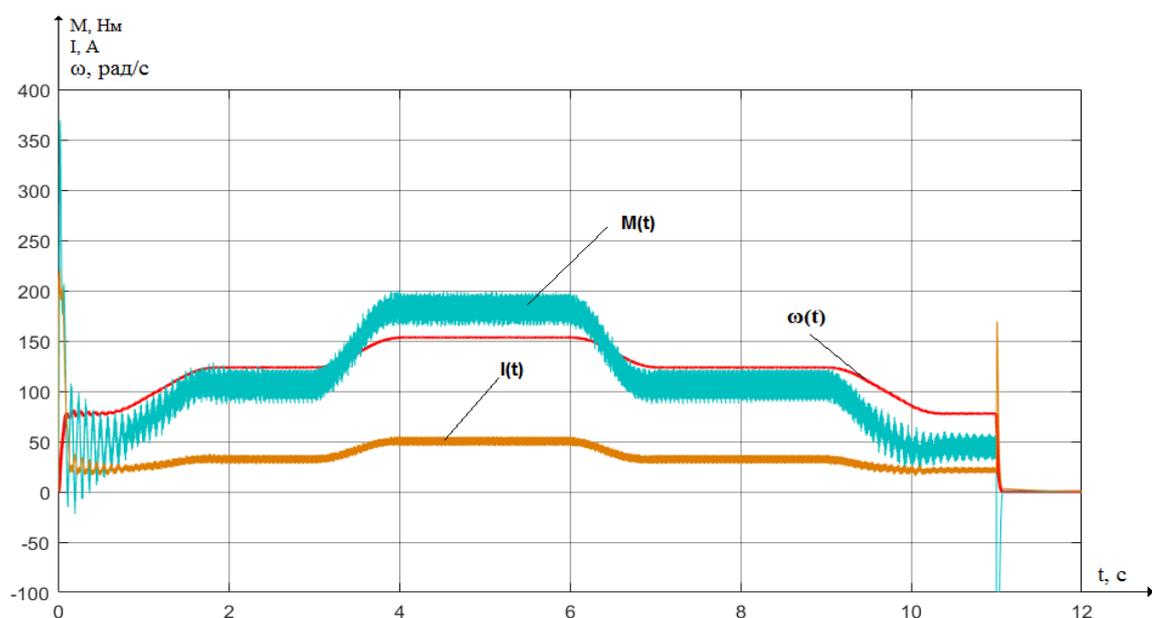


Рисунок 35 – Диаграмма отработки цикла плавный пуск – ступенчатый разгон до номинальной скорости – работа на номинальной скорости – торможение – останов.

Выводы:

В данном разделе было проведено моделирование пуска электропривода насоса на частотах 25 Гц, 30 Гц, 40 Гц и 50 Гц, а также отработка цикла «плавный пуск – ступенчатый разгон до номинальной скорости – работа на номинальной скорости – торможение – останов». При пуске на частоте 25 Гц время переходного процесса составило 0,52 с, а скорость вращения достигла значения 76,4 рад/с. При пуске на частоте 30 Гц время переходного процесса составляет 0,41 с, скорость вращения – 91,7 рад/с. При пуске на частоте 40 Гц время переходного процесса – 0,24 с, скорость вращения – 244,5 рад/с, а при пуске на частоте 50 Гц – 0,19с и 152,9 рад/с соответственно.

Так как при работе данного привода возникают кратковременные перегрузки, при протекании которых происходит провал скорости, то возникает необходимость не только в ограничении значений момента и тока, но и необходимость в поддержании момента на валу двигателя в течении времени возникновения перегрузки.

Скалярный метод управления асинхронного привода с частотным регулированием является простейшим методом регулирования, но при этом он обладает невысокими качественными показателями: малое значение диапазона регулирования скорости, значительная погрешность скорости, что вызывает потребность в использовании задатчика интенсивности скорости.

4. ФИНАСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Ключевая цель данного раздела – обосновать данный проект с технико-экономической точки зрения, показать целесообразность модернизации электропривода в соответствии с современностью, когда проблема ресурсоэффективности и ресурсосбережения стоит достаточно остро.

Основным методом достижения ключевой цели данный проект предполагает снижение энергетических затрат асинхронным электроприводом Д200-36, а также снижение у водопроводной системы износа, который вызван негативными факторами, указанными в разделе 1.1. данного проекта.

Для осуществления ключевой цели данный раздел проекта предусматривает решение следующих задач:

- построение SWOT-матрицы для оценки внешних и внутренних различных факторов.
- составление плана технико-конструкторских работ;
- оценка затрат на техническую модернизацию привода;
- расчёт и оценка эксплуатационных затрат.

4.1 SWOT-анализ технического проекта

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [4].

Основным преимуществом SWOT-анализа в том, что он даёт возможность относительно просто выявить преимущества и недостатки проекта, позволяет определить его перспективность на фоне окружающей действительности.

Чтобы провести SWOT-анализ, необходимо составить SWOT-матрицу, где будут обозначены сильные, слабые стороны, возможности, а также угрозы.

При составлении SWOT-матрицы будут использованы обозначения:

S (Strength) – сильные стороны проекта;

W (Weakness) – слабые стороны проекта;

O (Opportunities) – возможности;

T (Troubles) – угрозы, проблемы.

Матрица SWOT приведена в таблице 6. Для оценки эффективности проекта и возможности его реализации требуется постройка интерактивных матриц исходя из составленной SWOT-матрицы. Интерактивная матрица возможностей приведена в таблице 7, а интерактивная матрица угроз в таблице 8.

В построенных интерактивных матрицах были приняты обозначения:

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие.

Таблица 6 – SWOT-Матрица

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	<p>S1. Снижение потребления электроэнергии;</p> <p>S2. Обеспечение высокого уровня отказоустойчивости;</p> <p>S3. Увеличение уровня безопасности производственного процесса;</p> <p>S4. Невысокие затраты на ремонт и обслуживание оборудования;</p> <p>S5. Квалифицированные кадры.</p>	<p>W1. Большая стоимость устанавливаемого оборудования;</p> <p>W2. Длительный срок поставки;</p> <p>W3. Высокий уровень шума во время работы.</p>
Возможности:		
O1. Снижение себестоимости благодаря интеграции новых технологий;	O1S1S2S3S4	O1W3
O2. Регулировка производительности энергоблоков;	O2S1S2S3S5	O2W1
O3. Увеличение стоимости конкурентных разработок.	O3S1S2S4	O3W1
Угрозы:		
T1. Ухудшение отношений с поставщиками;	T1S4	T1W1
T2. Ужесточение требований к стандартизации и сертификации со стороны государства;	T2S2	
T3. Отсутствие финансовой поддержки со стороны государства.	T3S5;	T3W1.

Таблица 7 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны					
		S1	S2	S3	S4	S5
	O1	+	+	+	+	-
	O2	+	+	+	-	+
	O3	+	+	-	+	-
	Слабые стороны					
		W1	W2	W3		
	O1	-	-	+		
	O2	+	-	-		
	O3	+	-	-		

Таблица 8 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны					
		S1	S2	S3	S4	S5
	T1	-	-	-	+	-
	T2	-	+	-	-	-
	T3	-	-	-	-	+
	Слабые стороны					
		W1	W2	W3		
	T1	+	-	-		
	T2	-	-	-		
	T3	+	-	-		

4.2 Составление графика проведения работ технического проекта

С целью определения временных рамок по разработке данного проекта, и распределению задач между участниками проекта необходимо составить график проведения работ технического проекта.

Полный объём работ разделён на 10 этапов, осуществляемый в лице двух человек: научного руководителя и бакалавра-проектировщика.

Ключевой фактор, на основе которого осуществляется постройка графика – трудоёмкость работы.

4.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

В большинстве случаев стоимость разработки формируется за счёт трудовых затрат. В связи с этим определение трудоемкости работ для каждого участвующего в этом техническом проекте является важной задачей.

Трудоемкость – величина, оцениваемая в человеко-днях экспертным путём и носящая вероятностный характер из-за зависимости от сложноучитываемых факторов. Методика для проведения оценки указана в [5].

Выражение ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ имеет следующий вид:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{минi} + 2t_{маxi}}{5},$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{минi}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка, предполагающая наиболее благоприятное стечение обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{маxi}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка, предполагающая наиболее неблагоприятное стечение обстоятельств), чел.-дн.

Результаты полученных расчетов приведены в таблице 9.

4.2.2 Обозначение этапов, входящих в комплекса работ

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [5].

В приведенной выше таблице номерам этапов работы соответствуют следующие виды выполняемых работ:

№ 1 – составление технического задания (ТЗ) – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – сбор исходных данных – сбор параметров насоса;

№ 4 – ввод исходных данных в ЭВМ;

№ 5 – расчет нагрузок на насос;

№ 6 – выбор элементов электропривода;

№ 7 – расчет элементов электропривода, построение механических и электромеханических характеристик;

№ 8 – проверка правильности выбора оборудования;

№ 9 – оформление пояснительной записки, проверка руководителем.

№10 – сдача и защита проекта перед комиссией.

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в таблице 10.

Таблица 9 – Календарная продолжительность работ

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{\min} , чел.-дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{\max} , чел.-дн.	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, $t_{\text{ож}}$, чел.-дн.	Продолжительность одной работы, T_p , раб.дн.
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1	1
2	Изучение литературы	Инженер	8	12	9,6	10
3	Сбор исходных данных	Инженер	8	12	9,6	10
4	Ввод данных в ЭВМ	Инженер	4	6	4,8	5
5	Расчет нагрузок на насос	Инженер	14	16	15,2	15
6	Выбор оборудования	Инженер	8	12	9,6	10
		Руководитель	1	1	1	1
7	Расчет элементов электропривода	Инженер	14	16	15,2	15
		Руководитель	1	1	1	1
8	Проверка правильности выбора оборудования	Инженер	14	16	15,2	15
		Руководитель	1	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Инженер	8	12	9,6	10
10	Сдача проекта	Инженер	1	1	1	1
		Руководитель	1	1	1	1

Таблица 10 – Диаграмма Ганта

№ этапа работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ по декадам												
				Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь		
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1	Составление ТЗ	Р	1		-											
2	Изучение литературы	И	10		=====											
3	Сбор исходных данных	И	10			=====										
4	Подготовка и ввод данных в ЭВМ	И	5				=====									
5	Расчет на ЭВМ нагрузок насоса	И	15				=====									
6	Выбор оборудования	И	10					=====								
		Р	1						-							
7	Расчет элементов элпривода, построение характеристик	И	15						=====	=====						
		Р	1								-					
8	Проверка правильности выбора оборудования	И	15								=====	=====				
		Р	1										-			
9	Оформление ПЗ	И	10											=====		
10	Сдача проекта	Р	1													-
		И	1													-

Обозначения: « И » – инженер, « Р » – руководитель

По составленной диаграмме Ганта, видно, что общая продолжительность работ составляет 92 дня, с третьей декады февраля до первой декады июня. При этом продолжительность работ, выполняемых инженером – составляет 91 день, а преподавателем – 5 дней. Так как оценка трудоёмкости имеет вероятностный характер, то реальная продолжительность работ может несколько отличаться, как в большую, так и в меньшую сторону.

4.3 Формирование затрат на проектирование

При формировании затрат на проектирование должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [5]. Затраты на проектирование включают в себя следующие статьи затрат:

- заработная плата разработчиков технического проекта (ТП);
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

1.3.1. Расчёт заработной платы

Полная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где:

$Z_{осн}$ – основная заработная плата;

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где:

$Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Расчёт среднедневной заработной платы находится по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}}$$

где:

$Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по окладу, руб.;

$Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки (коэффициент премии) , руб.(50%);

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.(30%);

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

Расчёт основной заработной платы приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Расчёт основной заработной платы исполнителей.

Работники	Оклад руб.	Доплаты и надбавки, руб.	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Средняя дневная заработная плата, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	33664	16832	10099	60595	2331	5	11655
Инженер	12700	-	3810	16510	635	91	57785
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.							69440

Выражение расчёта дополнительной заработной платы выглядит следующим образом:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где:

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника.

Расчёт полной заработной платы представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	коэффициент дополнительная заработная плата	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработной платы, руб.
Руководитель	0,15	11655	1748	13403
Инженер	0,12	57785	6934	64719
Итого		69440	8682	78122

4.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Данная статья расходов включает в себя обязательные отчисления от затрат на заработную плату в фонд обязательного медицинского страхования, в фонд государственного социального страхования, а также в пенсионный фонд в соответствии с законодательством Российской Федерации

Страховые отчисления рассчитываются по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где:

$k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, значение которого составляет 30,2%.

Рассчитываем значение страховых отчислений:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 78122 = 23593 \text{ руб.}$$

4.3.3 Накладные расходы

Накладные расходы – дополнительные расходы, которые включают в себя расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием: расходы на электроэнергию, на покупку канцелярских товаров и т.п.

Размер накладных расходов принимается равным 16% от общих затрат.

4.3.4 Смета затрат на проектирование

На основании рассчитанных затрат на проектирование данного ТП формируется смета. Смета затрат на проектирование приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Смета затрат на проектирование.

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Полная заработная плата	78,1	64,5
2. Отчисления во внебюджетные фонды	23,6	19,5
3. Накладные расходы	19,4	16,0
Итого	121,1	100,0

Из сметы затрат, представленной в таблице 13, видно, что полная сумма затрат на проектирование составляет 121,1 тыс. рублей, большую часть которой составляет заработная плата (64,5 %).

4.4. Формирование сметы на реализацию технического проекта

Затраты на реализацию технического проекта включают в себя:

- Стоимость оборудования и комплектующих;
- Затраты на транспортировку;
- Стоимость монтажа

Материалы для монтажа и установки поставляются вместе с оборудованием, поэтому их стоимость включена в стоимость оборудования.

4.4.1. Стоимость оборудования и комплектующих

Затраты на оборудование и комплектующие для реализации ТП приведены в таблице 14. Цены приведены согласно [20], [21] и [22].

Таблица 14 – Стоимость оборудования.

Наименование	Количество, шт.	Цена, тыс.руб.
Асинхронный двигатель ВА180М4	1	75
Преобразователь частоты ИРБИ 823-30	1	182
Прочие комплектующие		30
Пускатель КМИ-46512 230 65А	1	2
Итого		289

Из таблицы 15 видно, что затраты на покупку оборудования составляют 289 тысяч рублей.

4.4.2. Транспортные расходы

Стоимость транспортировки оборудования и комплектующих от завода-изготовителя до насосной станции принимаем равной 20 % от суммарной стоимости оборудования и комплектующих.

$$C_{\text{тр}} = C_{\text{об}} \cdot 0,2 = 289 \cdot 0,2 = 57,8 \text{ тыс. руб.}$$

4.4.3. Стоимость монтажных работ

Стоимость проведения монтажных работ по установке оборудования принимаем равной 10 % от суммарной стоимости оборудования и комплектующих.

$$C_{\text{м}} = C_{\text{об}} \cdot 0,1 = 289 \cdot 0,1 = 28,9 \text{ тыс. руб.}$$

4.4.4. Смета затрат на реализацию технического проекта

Смета затрат на реализацию технического проекта представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Смета затрат на реализацию ТП.

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.
1. Оборудование и комплектующие	289
2. Транспортные расходы	57,8
3. Монтажные работы	28,9
Итого	375,7

Согласно данным таблицы 16 затраты на реализацию технического проекта составляют 375,7 тысяч рублей.

4.5. Оценка ресурсоэффективности технического проекта

Ресурсоэффективность проекта оценивается при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию регулируемого привода насоса будут рассмотрены критерии:

- Надёжность – критерий, характеризующий отказоустойчивость системы и наличие большого эксплуатационного ресурса. Использование частотного преобразователя позволяет снизить значение пускового тока и колебание момента на валу, что позволяет увеличить срок службы электродвигателя привода насоса.

- Энергосбережение – критерий, характеризующий эффективность используемой электроэнергии приводом насоса. При регулировании подачи воды дросселированием мощность, потребляемая двигателем расходуется на создание напора (см. п.1.1.), что приводит к необоснованным затратам электрической энергии. Использование частотного преобразователя позволяет потреблять электроэнергию в соответствии с потребностями потребителя и избежать необоснованных трат.

- Удобство эксплуатации – критерий, характеризующий удовлетворение требований потребителей, лёгкость освоения и использования оборудования. Использование частотного преобразователя позволяет интегрировать систему управления привода в компьютерные системы и отслеживать её параметры в режиме реального времени, что позволяет улучшить данный показатель.

- Безопасность – критерий, характеризующий защищённость персонала и оборудования от воздействия негативных факторов. Частотный преобразователь ИРБИ 823-30 оснащён системами защиты от короткого замыкания, перегрузки, обрыва фазы двигателя, обрыва фазы питающей сети, от пониженного

напряжения питающей сети. Данные виды защит позволяют избежать аварийных режимов работы двигателя, которые могут привести к негативным последствиям.

- Ремонтпригодность критерий, характеризующий приспособленность к предупреждению и обнаружению причин отказов и поддержанию работоспособного состояния путём технического обслуживания и ремонта. Ремонтпригодность насосной установки с частотным преобразователем ниже, чем у насосной установки с нерегулируемым асинхронным приводом, и требует наличия более высокой квалификации для обслуживания.

Сравнительная оценки характеристик ресурсоэффективности приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристик проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Б _р	Б _и
1. Надёжность	0,25	5	4
2. Энергосбережение	0,25	5	3
3. Удобство эксплуатации	0,2	5	4
4. Безопасность	0,15	5	4
5. Ремонтпригодность	0,15	4	5
Итого:	1,00		

где:

Б_р – бальная оценка разрабатываемой системы ПЧ-АД;

Б_и – бальная оценка исходной системы с нерегулируемым асинхронным приводом.

Интегральный показатель ресурсоэффективности привода с частотным преобразователем:

$$I_{pi_p} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 4,85$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности привода с нерегулируемым асинхронным приводом:

$$I_{pi_p} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 3,9$$

Из полученных результатов делаем вывод, что использование в насосной установке системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» повышает ресурсоэффективность.

Выводы:

1). Произведен SWOT - анализ, который выявил, что сильных сторон у проекта гораздо больше, чем слабых, а это говорит о перспективности проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

2). Составлен график занятости для исполнителей позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей. Продолжительность выполняемых работ инженером составляет 91 день, руководителем 5 дней.

3). Смета затрат на проектирование составила 121,1 тыс.руб.

4). Смета затрат на реализацию технического проекта составляет 375,7 тыс. руб.

5). Рассчитан показатель ресурсоэффективности проекта привода ПЧ-АД насосной установки, который имеет высокое значение – 4,85 (по 5- балльной шкале).

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Данный раздел выпускной квалификационной работы посвящён проведению анализа и оценке опасных и вредоносных факторов, воздействию которых возможно на персонал, эксплуатирующий и проводящий обслуживание насосной станции, куда разработанный привод будет установлен. Также будут оценены микроклимат рабочей среды, условия труда, будут разработаны меры защиты от опасных и вредоносных факторов. Помимо всего прочего, в данном разделе будут рассмотрены вопросы техники безопасности, меры по профилактике пожаров и вопросы охраны окружающей среды.

5.1. Описание рабочего места машиниста насосных установок.

Рабочее место машиниста насосных установки организуют, исходя из условий обеспечения безаварийной и бесперебойной работы оборудования. На рабочем месте вывешивают инструкцию по обслуживанию, определяющую назначение и показатели установки, ее технологическую схему, обязанности и права машиниста, правила обслуживания, возможные неисправности и способы их устранения, порядок приема и сдачи смены. Рабочее место комплектуют необходимыми инвентарем и инструментами. Размеры машинного зала, параметры оборудования для его отопления и вентиляции, особенно при работе с опасными газами, должны удовлетворять действующим нормам, условиям безопасного обслуживания и проведения ревизий, ремонтов, т.е. выполнения демонтажа и последующей сборки.

5.2. Производственная безопасность

5.2.1. Анализ опасных и вредных факторов

Во время эксплуатации насосных установок на персонал может быть подвергнут воздействию вредоносных и опасных факторов. Классификация опасных и вредоносных факторов производится согласно [6].

Опасные факторы – факторы, воздействие которых может привести к травмам, включая смертельные. На насосной станции возможно действие следующих

опасных факторов, воздействие которых возможно на эксплуатирующий и обслуживающий персонал:

- Движущиеся механизмы и их части;
- Поражение электрическим током.

К вредным факторам относятся факторы, приводящие к приобретению или усилению уже имеющихся заболеваний. Перечень вредных факторов, воздействие которых возможно на эксплуатирующий и обслуживающий персонал представлен ниже:

- Повышенный уровень вибрации;
- Повышенный уровень шума;
- Недостаток естественного света;
- Отклонение показателей микроклимата.

5.2.2. Опасные факторы производственной среды

а). Движущиеся механизмы и их части.

Данный фактор опасен возможностью получения механической травмы в результате соприкосновения тела человека с подвижной частью механизма. Эксплуатирующий и обслуживающий персонала обязан пройти инструктаж и строго выполнять требования техники безопасности. Во избежание случайного соприкосновения человека с движущимися частями механизма, подвижные части обеспечиваются защитными кожухами. В случае невозможности обеспечения механизма защитными кожухами необходимо выставить ограждение.

б). Поражение электрическим током.

Соприкосновение с токоведущими частями приводит к электротравме – травме, вызванной протеканием электрического тока через человеческий организм, при этом на него оказывается механическое, биологическое, термическое и электролитическое воздействие.

Электротравмы делятся на местные и общие. Местная электротравма может сопровождаться ожогами, электроофтальмией, попаданием под кожу мелких

расплавленных частиц металла, механическими повреждениями. Общие электротравмы возникают при поражении мышечных групп, что в свою очередь приводит к мышечным судорогам, остановке дыхания и работы сердца.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений прикосновения и силы тока отображены в таблице 17.

Таблица 17. ПДУ напряжений прикосновений и силы тока.

Род тока	Нормируемая величина	ПДУ при t, c	
		0,01-0,08	>1
Переменный	$U_{д}, B$	650	36
	$I_{д}, mA$	-	6
Постоянный	$U_{д}, B$	650	40
	$I_{д}, mA$	-	15

Для защиты персонала, эксплуатирующего и обслуживающего насосную установку применяются следующие меры:

- обеспечение труднодоступности токоведущих частей;
- использование изоляции надлежащего качества;
- заземление электроустановок и их составляющих;
- обеспечение качественной и безопасной системой автоматической защитной блокировки токоведущих частей;
- плановые проверки и ремонт проводки и электрооборудования;
- организация мероприятий по обучению аттестации и переподготовке электротехнического персонала;
- установка предупреждающих знаков и плакатов;
- электропроводка и токоведущие части должны быть легко распознаваемы и, в зависимости от проводника, должны быть обозначены соответствующим цветом.
- применение средств индивидуальной защиты (СИЗ): изолирующих штанг, клещей, указателей напряжения, диэлектрических перчаток и галош, изолированного инструмента, изолирующих коврик и подставок. Также

применяются ограждения, средства защиты от светового, теплового и механического воздействия.

Осмотр СИЗ должен производиться каждый раз перед применением, а также должны проводиться испытания СИЗ с интервалом от полугода до года в зависимости от типа СИЗ в соответствии с [18].

5.2.3. Вредные факторы производственной среды

а). Вибрация

Вибрация представляет собой механические колебания твёрдых тел. Продолжительное воздействие вибрация на тело человека вызывает «вибрационную болезнь», которая может проявляться как локально (например, на рабочие руки), так и на организм в целом. При этом может страдать вестибулярная система, система кровообращения, проявляться нарушение деятельности эндокринных желёз, внутренних органов и обменных процессов. Также могут проявляться такие симптомы, как быстрая утомляемость, слабость, раздражительность, головные боли и плохой сон.

Допустимые величины вибрации в производственных помещениях представлены в таблице 18 согласно [13].

Таблица 18 – Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий.

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

Существует три основных метода по ослаблению вибрации на пути её распространения: вибропоглощение, виброизоляция и виброгашение.

Вибропоглощение осуществляется путём нанесения на вибрационные поверхности специальных покрытий (резина, пластмасса, войлок, пенопласт и т.п.), которые преобразуют при деформации энергию колебаний в тепловую.

Виброизоляция заключается в помещении упругих элементов (амортизаторов) между источником вибрации и защищаемым объектом.

Виброгашение достигается за счёт присоединения к защищаемому объекту дополнительных колебательных систем с определённой массой.

б). Шум

Насосные установки являются источниками шума. Шум представляет собой совокупность звуков с различной частотой и силой, которые могут негативно влиять на организм человека.

Многочисленные исследования установили, что шум относится к общебиологическим раздражителям: помимо воздействия на органы слуха, он оказывает влияние на различные отделы головного мозга, вызывая изменения в процессах высшей нервной деятельности. Интенсивный шум приводит к утомлению, к негативным изменениям в сердечно-сосудистой системе, к развитию тугоухости, характеризующейся постоянной потерей слуха сначала в области высоких частот, а потом на более низкие частоты, отвечающие за восприятие речи.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровней звука на рабочих местах приведены в таблице 19 согласно [9].

Таблица 19 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот.

Рабочее место	Уровни звукового давления дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами								Уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места	95	87	72	78	75	73	71	69	80

Мероприятия по борьбе с шумом и защиты от него включают в себя три направления:

- Снижения шума в источнике;
- Ослабление на путях передачи;
- Непосредственная защита персонала.

Непосредственная защита персонала от шума осуществляется с помощью средств коллективной защиты и средств индивидуальной защиты, в соответствии с [10].

в). Недостаток естественного света

Свет – это электромагнитны волны длиной от 380 до 760 нм, воспринимаемые человеческим глазом.

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет выполняемую работу, приводит к утомлению, повышает риск производственного травматизма. Долгое пребывание в зоне недостаточного освещения может привести к развитию близорукости.

Освещение по бывает трёх типов: естественное, искусственное и совмещённое.

Естественное освещение – освещение помещений светом, исходящим от природных источников света (солнце, диффузный свет небосвода).

Искусственное освещение – освещение помещения источниками искусственного света при недостатке естественного освещения. В качестве искусственного освещения применяют лампы накаливания и газоразрядные лампы. В освещении производственных помещений также применяются лампы ДРЛ, галогенные лампы ДРИ, и натриевые ДНаТ (для освещения цехов большой высоты).

Совмещённое освещение – это освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

Помещения насосной станции должны освещаться в соответствии с видом производимой работы. Работа в помещении с пультом управления относится к зрительной работе средней точности, в остальных – малой.

Нормы освещения на рабочих местах представлены в таблице 20 согласно [11].

Таблица 20 – Нормы освещения на рабочих местах.

Характеристика зрительной работы	Минимальный размер объекта, мм	Разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение, лк	Естественное освещение КЕО, %	Совместное освещение КЕО, %
Средней точности	0.5.1.0	IVв	средний	средний	400	4	2.4
Малой точности	1.0.5.0	Vв	средний	средний	150	3	1.8

г). Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – совокупность физических факторов, внутри данного помещения, создающих климат, который влияет на теплообмен человека, тем самым определяя здоровье, самочувствие, работоспособность и производительность труда.

Показатели, характеризующие микроклимат:

- Температура воздуха;
- Относительная влажность воздуха;
- Скорость движения воздуха;
- Интенсивность теплового излучения.

Допустимые показатели микроклимата для рабочих мест внутри производственных помещений приведены в таблице 21. [12]

Таблица 21 – Допустимые показатели микроклимата для рабочих мест.

Период года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Теплый	Пб	18-22	16-27	60-40	15-75	0,2	0,5
Холодный	Пб	17-19	15-22	60-40	15-75	0,2	0,4

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела от производственных источников представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового излучения, Вт/м, не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

При оптимальных условиях микроклимата человеческий организм чувствует себя максимально комфортно. При допустимых условиях микроклимата, несмотря на отсутствие риска нарушений состояния здоровья, может наблюдаться некий дискомфорт и снижение работоспособности.

Для поддержания оптимальных и допустимых условий микроклимата в помещении насосной станции применены следующие меры:

- Оборудование здания и его помещений системами отопления;
- Применение тепловых завес;
- Установка систем принудительной вентиляции воздуха;
- Установка систем кондиционирования;

Задачей системы отопления является обеспечение оптимальной температуры в холодное время года. Тепловые завесы служат для защиты

обогреваемого помещения от холодного воздуха, который попадает через двери внутрь. Системы вентиляции удаляют нагретый и загрязнённый воздух и подаёт в помещение свежий. Системы кондиционирования служат для поддержания скорости потока воздуха, влажности и температуры.

Также в соответствии с сезоном выдаётся спецодежда, обеспечивающая защиту от негативного воздействия климатических факторов.

Спецодежда должна иметь санитарно-эпидемиологическое заключение установленного образца о соответствии государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам [17].

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Насосные станции относятся к объектам по гражданской обороне согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 19.09.98 N 1115 "О порядке отнесения организаций к категориям по гражданской обороне" отнесены к объектам по гражданской обороне.

Согласно [15] насосные станции располагаются в зонах следующих возможных опасностей:

- в зоне возможных слабых разрушений;

Сигналы оповещения ГО и в случае ЧС доводятся до персонала насосной станции использованием речевой информации по каналам радиовещания, по радиотрансляционным каналам и сетям связи. Электроприёмники насосной станции относятся к I категории, электроснабжение которых осуществляется от двух независимых друг от друга источников. На территории насосной станции категорически запрещено использование, производство, переработка и хранение радиоактивных, пожароопасных и взрывоопасных, опасных химически и биологически веществ, представляющих серьёзную угрозу возникновения чрезвычайной ситуации. Наиболее вероятными ЧС техногенного характера на территории насосной являются:

- пожар на территории объекта;

а). Пожар

Пожар представляет собой неконтролируемый процесс горения, причиняющий материальный ущерб и угрожающий жизни и здоровью людей. Наиболее опасными проявлениями пожара являются: огонь и повышенная температура воздуха, снижение концентрации кислорода, дым и токсичные продукты горения, обрушение зданий и сооружений.

Помещение машинного зала, где стоит насосная установка согласно [14] принадлежит категории Д.

Наиболее вероятными причинами возникновения пожара в данном помещении – причины электрического характера. К таким причинам относятся: перегрев проводов, вызванный чрезмерной нагрузкой, короткое замыкание, ненадёжное контактное соединение.

Для предотвращения пожара в электроустановках применяются следующие меры:

- Эксплуатация оборудования строго согласно с правилами техники безопасности (ПТБ) и правилами устройства электроустановок (ПТЭ);
- Систематический контроль и ревизии аппаратов защиты от коротких замыканий и перегрузок, систем молниезащиты;
- Своевременное проведение профилактических осмотров и планово-предупредительных ремонтов электрооборудования. Устранение нарушений ПТБ и ПТЭ, которые могут привести к возгоранию;
- Обеспечение исправности средств пожаротушения в электроустановках.

Помимо всего прочего применяются такие меры, как запрет курения во вне отведённых для этого местах и строгое соблюдение техники безопасности во время проведения тех или иных работ.

В случае возникновения пожара в электроустановках до 1000 В применяются такие первичные средства пожаротушения, как хладоновые, порошковые и углекислотные огнетушители. Тушение электроустановки до приезда пожарных собственными силами должно осуществляться силами, как

минимум, двух человек, при этом персонал должен работать в диэлектрических перчатках и ботах. Допускается приступать к тушению электроустановки без снятия напряжения при условии, что оно составляет менее 0,4 кВ.

Категорически запрещается применять для ликвидации пожара в электроустановке воды и прочих токопроводящих веществ.

5.4. Экологическая безопасность

Экологическая безопасность — представляет собой комплекс мер по защите окружающей среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

Постройка и эксплуатация насосной станции и систем водоснабжения влечёт собой влияние на гидросферу, загрязнение почвы, уменьшение количества растительности и т. д.

Одним из главных элементов систем водоснабжения являются трубопроводы, которые подвержены износу с течением времени, что вызывает необходимость проведения аварийно-восстановительных работ. В свою очередь аварии и работы по их устранению оказывают следующее влияние на окружающую среду:

- уничтожение растительности, в результате размыва грунта водой на аварийном участке и проведения земляных работ при устранении;
- Повышенный расход воды, вызванный утечками в системе водоснабжения.
- Выброс в атмосферу выхлопных газов, утечки горюче-смазочных материалов при работе машин;

Для снижения аварийности систем водоснабжения и, как следствие, негативного влияния на окружающую среду применяются следующие меры:

- Выбор материала труб и класса их прочности, в соответствии с внешними и внутренними нагрузками, которые воздействуют на трубопровод;

- Соблюдение технологии при проведении укладки и монтажа трубопроводов систем водоснабжения;
- Обеспечение мер защиты трубопроводов от агрессивных воздействий внутренней и внешней среды;
- Принятие мер по недопущению разрушающих давлений и гидравлических ударов при эксплуатации, системы водоснабжения;

Нельзя не отметить, что сам по себе данный проект по установке регулируемого асинхронного привода позволяет реализовать последний пункт.

5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Действующие электроустановки, находящиеся на территории насосной станции, эксплуатируются электротехническим персоналом согласно с ведомственными Правилами технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ), а также Правилами технической безопасности при эксплуатации электроустановок (ПТБ).

К действующим электроустановкам относятся электроустановки и их части находящиеся под напряжением, а также электроустановки, на которые возможна подача напряжения путём включения коммутационных аппаратов.

Во время эксплуатации электроустановок, находящихся на территории насосной станции в соответствии с графиком планово-предупредительных работ осуществляются такие работы, как проверка и наладка аппаратов управления приводами, систем релейной защиты и автоматики, испытания изоляции кабелей и электрических машин и т. д. Помимо всего прочего, возможно проведение внеплановых ремонтов, устранение последствий аварий и пр.

Перед началом работ и во время работ для обеспечения их безопасности в электроустановках насосной станции осуществляются следующие организационные и технические мероприятия:

- Оформление работ нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;

- Допуск к работе;
- Надзор во время работы;
- Оформление перерывов, переводов на другое место, окончания работ;
- Производство необходимых отключений, а также принятие мер для предотвращения подачи напряжения к месту работ;
- Вывешивание на ручках коммутационных аппаратов запрещающих плакатов "Не включать - работают люди!".
- Проверка указателем напряжения отсутствия напряжения;

Насосная установка системы водоснабжения включает в себя один насосных агрегата и шкаф электрооборудования, являющиеся источником опасности. Для обеспечения безопасной работы предусмотрена аварийная сигнализация и индикация режимов работы.

Персонал, принимающий участие в технологическом процессе по обслуживанию и наблюдению за работой насосной станции, должен быть обеспечен удобными рабочими места, не стесняющими их действий во время выполнения работы. На рабочих местах должна быть предусмотрена площадь, на которой размещаются необходимые устройства для управления и контроля за ходом технологического процесса, а также средства сигнализации и оповещения об аварийных ситуациях.

Рабочее место оператора для обеспечения производственной деятельности оборудуется креслом (стулом, сиденьем) с регулируемым наклоном спинки и высотой сиденья. Эргономические требования при выполнении работ сидя и стоя приведены в [18] и [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная выпускная квалификационная работа была посвящена разработке регулируемого асинхронного привода для насоса Д200-36 подачи питьевой насосной станции НСВ-4 предприятия ООО «Томскнефтехим» взамен морально устаревшему нерегулируемому.

Были произведены необходимые расчёты, в соответствии с которыми для привода был выбран асинхронный двигатель марки ВА180М4 и преобразователь частоты марки ИРБИ 823-30. Осуществлена постройка естественных механической и электромеханической характеристик. Был выбран закон регулирования $\frac{U}{f^3}$, а также построены семейства механических и электромеханических характеристик для данного закона регулирования.

При помощи моделей в среде Matlab Simulink были смоделированы переходные процессы во время прямого пуска двигателя и с применением частотного регулирования. На основании полученных результатов сделаны выводы.

Экономическая часть проекта содержит в себе анализ сильных и слабых сторон проекта, возможные риски и перспективы его развития. В данном разделе были составлены сметы затрат на разработку и реализацию проекта. Дана оценка ресурсоэффективности проекта и доказана его перспективность.

В разделе социальная ответственность был произведён анализ опасных и вредных факторов, которые могут оказать негативное воздействие на эксплуатирующий персонал насосной установки. Разработаны меры по противодействию влияния вредных и опасных производственных факторов на эксплуатирующий и обслуживающий персонал. Был произведён анализ воздействия на окружающую среду, и выработаны решения для уменьшения разрушительного воздействия на природу. Также был осуществлён обзор на правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 156 с.
2. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.
3. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие.– Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.
4. Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа // http://market.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html.
5. Креницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
6. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
7. ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. — 6-е и 7-е изд.. — Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2009. — 687 с.: ил.. — ISBN 978-5-379-01195-6.
8. ГОСТ 12.1.000-02 ССБТ. Электробезопасность. Допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
9. ГОСТ 12.1.003-83(СТ СЭВ 1930-79) – Шум. Общие требования безопасности.
10. ГОСТ 12.1.029 "Система стандартов безопасности труда. Средства и методы защиты от шума. Классификация".
11. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.

12. СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений"

13. ГОСТ 12.4.012-83 – Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования..

14. НПБ 105-03 Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

15. СНИП 2.01.51 – 90 Инженерно – технические мероприятия гражданской обороны.

16. ГОСТ 25151-82 Водоснабжение. Термины и определения

17. СО 153-34.03603-2003 Аннотация по применению и испытанию средств защиты, применяемых в электроустановках.

18. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

19. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования

20. <https://agregat.me/vzryvozasshisshennye-elektrodvigateli/2955-val80m4-vzrivozasiseniy-elektrodlvigatel-30-kvt-1500-ob-ru>

21. <http://www.irbis-privod.ru/catalog/elektroprivody>

22. <http://www.etm.ru/cat/nn/9737836/>