

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование электропривода насосной установки

УДК 62-83:621.65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Горшенина Анна Игоревна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех А.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	д.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Гарганеев А.Г.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5AM88	Горшениной Анне Игоревне

Тема работы:

Исследование электропривода насосной установки

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 58-29/с от 27.02.2020 года

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none">1. Тип насоса – центробежный, производительность насоса $Q=0,11 \text{ м}^3/\text{с}$; напор, создаваемый насосом $H=10,5 \text{ м}$.2. Тип электродвигателя – асинхронный. 2. Диапазон регулирования скорости: 1:3.3. Способ управления приводным двигателем – частотный с законом изменения амплитуды и частоты питающего напряжения $U/f^2=\text{const}$4. Плавный пуск – требуется.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Описание видов насосных станций, классификация насосов, способов регулирования их производительности. 2. Выбор приводного электродвигателя. 3. Расчет параметров схемы замещения и естественных статических характеристик двигателя. 4. Выбор преобразователя частоты. 5. Расчет искусственных статических характеристик системы преобразователь-двигатель при скалярном управлении. 6. Имитационное моделирование переходных процессов в скалярной системе управления.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Фех Алина Ильдаровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Горшенина Анна Игоревна		

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Уровень образования – Магистр
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения _____ весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.04.2020г	Расчет и построение статических характеристик электропривода насосной установки	
05.05.2020г	Разработка имитационной модели системы «ПЧ-АД» в среде Matlab	
12.05.2020г	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
19.05.2020г	Социальная ответственность	
25.05.2020г	Оформление пояснительной записки	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	д.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5AM88	Горшениной Анне Игоревне

Школа	ИШЭ	Отделение школы	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Суммарный бюджет затрат: 190600 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	109427 руб. – затраты по основной заработной плате исполнителей темы; 16414,05 руб. – затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы; 1191,7 руб. – амортизация; 37750 руб. – отчисления во внебюджетные фонды; 25781,7 руб. – накладные расходы.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Согласно Налоговому кодексу РФ отчисления на социальные нужды составляют 30 %, из них: 22% - пенсионное страхование; 5,1 % - медицинское страхование; 2,9 % - социальное страхование (больничные).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Формирование плана и графика разработки: определение структуры работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: заработная плата (основная и дополнительная); отчисления на социальные цели; накладные расходы.
3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта, расчет экономической эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>График проведения и бюджет НИИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Горшенина Анна Игоревна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM88	Горшениной Анне Игоревне

Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Исследование электропривода насосной установки	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. В помещении присутствует искусственное и естественное освещение. Основное рабочее оборудование – ПЭВМ.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <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. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности. 2. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда». 3. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вредные факторы: шум, микроклимат, вибрации, недостаток естественного и искусственного света. 2. Опасные факторы: поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	<i>Газообразные выбросы в атмосферу, твердые выбросы в литосферу, жидкие выбросы в гидросферу.</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Наиболее вероятное ЧС в здании в момент проведения исследования – пожар.</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Учечная степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех А.И.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Горшенина Анна Игоревна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 105 с., 45 рис., 19 табл., 33 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: насосная станция, скалярное управление, переходные процессы, преобразователь частоты, асинхронный электропривод.

Объектом исследования является асинхронный электропривод насоса.

Цель работы – исследовать основные характеристики асинхронного электропривода со скалярным управлением с законом управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$.

В процессе исследования проводились выбор асинхронного электродвигателя по параметрам насоса, расчет параметров двигателя, естественных статических характеристик, выбор преобразователя частоты, расчет искусственных статических характеристик электропривода со скалярным управлением при различных частотах питающего напряжения, исследование и анализ переходных характеристик электропривода при пуске под нагрузкой на разные скорости вращения.

Оглавление

Введение.....	11
1 Общие сведения о задаче автоматизации и технологическом процессе насосной установки.....	13
1.1 Виды насосных станций.....	13
1.2 Классификация насосов.....	15
2 Аналитический обзор методов регулирования режимов насосных установок.....	23
3 Анализ существующих схем преобразователей частоты для регулирования скорости асинхронного электропривода.....	26
4 Выбор электродвигателя и расчет его параметров.....	29
5 Выбор преобразователя частоты.....	36
6 Выбор аппаратуры управления и защиты.....	36
6.1 Выбор и обоснование датчика давления.....	36
6.2 Выбор контакторов и автоматов защиты.....	38
6.3 Выбор и обоснование контроллера.....	40
6.4 Выбор источников питания для контроллера.....	42
7 Расчёт и выбор типа и сечения кабеля сети высокого напряжения и вспомогательного оборудования.....	43
7.1 Выбор кабелей.....	43
7.2 Выбор клеммных зажимов.....	43
7.3 Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики.....	44
8 Выбор закона регулирования и определение интервала частот инвертора.....	45
9 Искусственные статические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$	46
10 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя.....	49
11 Имитационная модель силового канала электропривода.....	51
12 Моделирование плавного пуска асинхронного электропривода со скалярным управлением.....	56
13 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	60

14 Социальная ответственность.....	74
Заключение.....	87
Список литературы.....	88
Приложение А.....	91

Введение

В настоящее время автоматизация технологических процессов играет важную роль в промышленности страны, что обусловлено повышением энергоэффективности того или иного производства, а также устранением человеческого фактора в ходе работы оборудования. Одними из распространенных механизмов на предприятиях являются насосы, которые представляют собой гидравлические машины, предназначенные для преобразования механической энергии приводного двигателя преобразующую механическую энергию приводного двигателя в энергию жидкости, создающую поток жидкой среды. В своей работе они используют принцип передачи жидкости кинетической и потенциальной энергии. Изначально насосные агрегаты использовались исключительно для подъёма воды, однако в настоящее время область их применения широка и многообразна, в качестве примера можно привести добычу нефти.

Обычные способы регулирования подачи насосных установок состоят в дросселировании напорных линий и изменении общего числа работающих агрегатов по одному из технологических параметров. Это приводит к потере от 10 до 40% всей потребляемой электроприводом энергии и ряду нежелательных побочных эффектов.

На сегодняшний день существует целый ряд направлений по модернизации системы регулирования подачи насосов. Таковыми являются замена нерегулируемого асинхронного электропривода (АЭП) на регулируемый электропривод постоянного тока, а также применение преобразователей частоты (ПЧ) для асинхронного электродвигателя (АД).

Первый способ с точки зрения управляемости наиболее прост, однако это требует больших капитальных затрат, касающихся замены самого электродвигателя и питающей его электросети.

Активное освоение электронной промышленностью высокопроизводительных микропроцессорных систем управления и силовых полупроводниковых компонентов в последние годы, появилась возможность

создавать энергетически и экономически эффективный высоко динамичный частотно-регулируемый асинхронный электропривод большой мощности с характеристиками, не уступающими по своим показателям электроприводам постоянного тока.

Из вышесказанного можно сделать вывод об актуальности тематики работы, а также определить её цель – проектирование и исследование автоматизированной системы управления насосной станцией. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи – произвести анализ существующих способов управления асинхронными двигателями, выбрать наиболее приемлемый по показателям регулирования, рассчитать коэффициенты регуляторов системы управления, произвести моделирование процессов, доказывающих эффективность работы системы.

1 Общие сведения о задаче автоматизации и технологическом процессе насосной установки

1.1 Виды насосных станций

В общем случае насосная станция представляет собой комплекс оборудования, предназначенный для преобразования электрической энергии в механическую с целью подачи различного рода жидкостей потребителям.

В зависимости от места расположения в общей технологической системе насосные станции разделяются на станции первого, второго, третьего и последующих подъёмов, а также канализационные станции. Станции первого подъёма предназначены для управления скважинными насосами, поддержания требуемого уровня воды в резервуар. Станции второго подъёма создают необходимое давление в сети с забором воды из аккумулирующей ёмкости, а третьего и последующего подъёмов – с забором из станции второго подъёма. Канализационные станции перекачивают воду в очистных сооружениях, осушают подвалы домов, различные котлованы.

К основным требованиям работы насосных станций относятся обеспечение работы при изменении объёмов, режимов потребления, количестве потребителей, обеспечение долговечности работы, удобство эксплуатации, наименьшие затраты на эксплуатацию и сооружений станции.

По назначению существуют насосные станции водоснабжения промышленных предприятий, питьевого водоснабжения, нефтедобывающие, канализационные, мелиоративные и другие.

По главному параметру станции разделяются на те, где происходит регулирование давления, и такие, у которых регулируют подачу жидкости.

По способу объединения насосные станции подразделяются на те, в которых насосы работают индивидуально, и те, где работа насосов происходит совместно. В первом случае станция характеризуется низкой степенью надёжности и невысоким уровнем мощности (например, дренажные насосы). Совместная работа насосов используется гораздо чаще, при этом для различных технологических задач

применяются параллельное, последовательное и комбинированное соединение насосов. Наиболее распространённым является параллельное соединение. Последовательное соединение применяют при необходимости создания высокого давления при транспортировке вязких жидкостей, таких как нефть. Технологическая схема наиболее распространённой насосной станции с параллельным включением насосов представлена на рисунке 1.

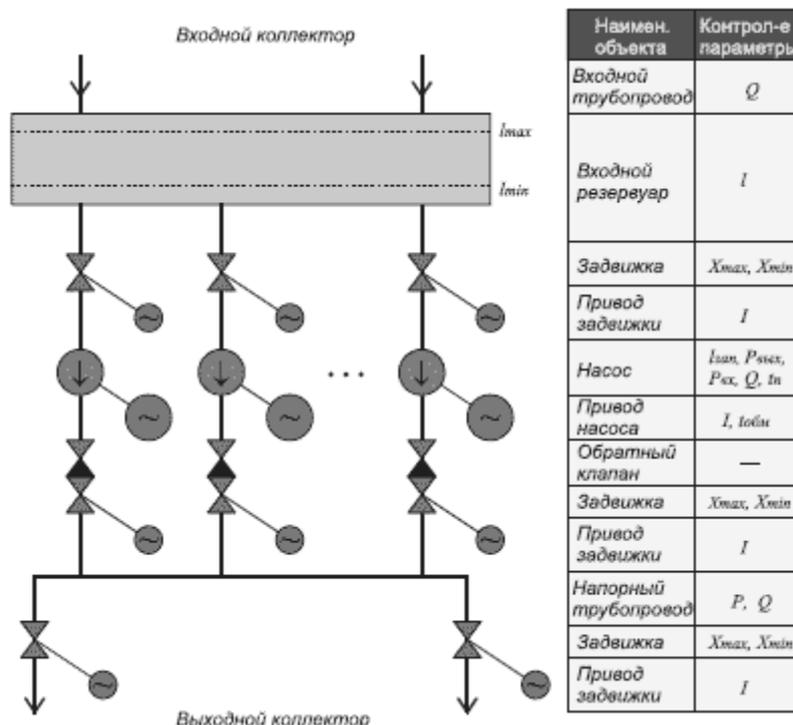


Рисунок 1 – Технологическая схема насосной станции

Из входного коллектора станции жидкость поступает в резервуар и накапливается там. Насосы откачивают жидкость из резервуара в выходной коллектор, из которого по трубопроводу она поступает потребителям или на другую следующую насосную станцию. На патрубках насосов устанавливаются задвижки, которые разделяют насосы от трубопровода. На выходной патрубках также устанавливаются обратные клапаны для невозможности обратной подачи жидкости через насос. И насосы и задвижки приводятся в движение электрическими двигателями.

1.2 Классификация насосов

Насосы, являющиеся основной силовой установкой насосной станции, в зависимости от принципа действия, конструктивного исполнения, характеристик подразделяются на две группы – объёмные и динамические, которые в свою очередь включают в себя более подробную классификацию (рисунок 2).

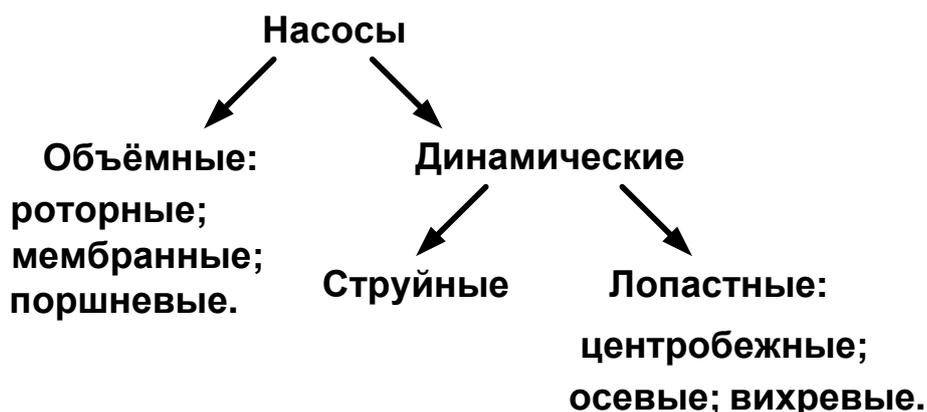


Рисунок 2 – Классификация насосов

Основное различие двух верхних групп насосов заключается в том, что у объёмных насосов перемещение жидкости происходит за счёт изменения объёма рабочей камеры, которая поочерёдно и герметично отделяется от входного и выходного отверстий (всасывающий и нагнетательный тракты), а в динамических насосах камера постоянно связана с входным и выходным патрубками. Жидкость в динамических насосах перемещается за счёт гидродинамических сил. Рассмотрим подробнее устройство различных видов насосов.

Роторные насосы

Роторный насос – это устройство, которое используется в тех случаях, когда необходимо обеспечить перекачивание различных жидких сред в больших объёмах. Их принципиальное отличие – отсутствие клапана.

Устройство роторного насоса представлено на рисунке 3.

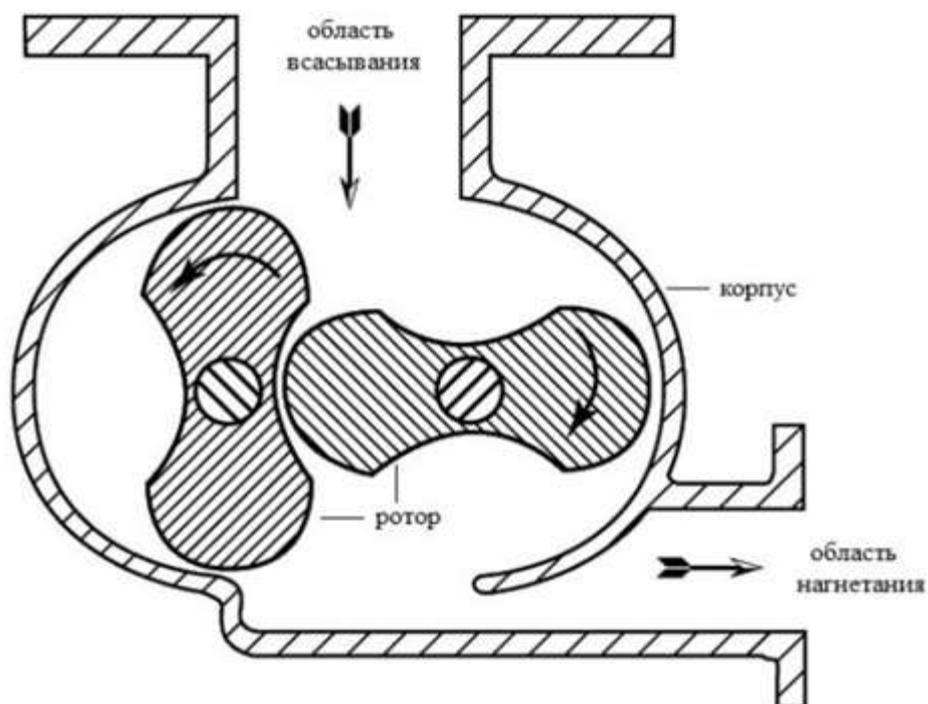


Рисунок 3 – Устройство роторного насоса

В роторном насосе жидкость поступает в камеру, откуда выталкивается ротором насоса, совершающим как вращательные, так и поступательные движения, уменьшая при этом объём камеры.

К преимуществам роторных насосов относят более равномерную по сравнению с устройствами возвратно-поступательного типа подачу жидкости в трубопровод, низкие потери мощности ввиду отсутствия клапанов, работу на высоких оборотах и, как следствие, более высокую производительность по сравнению с поршневыми устройствами.

Недостатками роторных насосов являются относительно сложная конструкция и оттого меньшая надёжность, высокие требования к перекачиваемой жидкости (отсутствие абразивных частиц, низкая химическая агрессивность).

Применяются роторные насосы для перекачки химических веществ, кислот, масел, продуктов нефтепереработки.

Мембранные насосы

Мембранный насос имеет две рабочих камеры, две воздушных камеры и две мембраны. В каждой паре камер, рабочая и воздушная камеры разделены между собой гибкой мембраной.

Каждая мембрана зажата двумя опорными тарелками и прикручена к общему штоку. Этот узел в сборе (две мембраны на штоке) двигается вперед и назад под воздействием воздуха, который поочередно наполняет то правую, то левую воздушные камеры. Перераспределение воздуха происходит за счет движения золотника в воздушном клапане.

Каждая рабочая камера имеет по два обратных шариковых клапана, которые автоматически контролируют прохождение перекачиваемой жидкости внутри насоса: (впускной коллектор — рабочая камера — выпускной коллектор).

Принцип действия мембранного насоса изображен на рисунке 4.

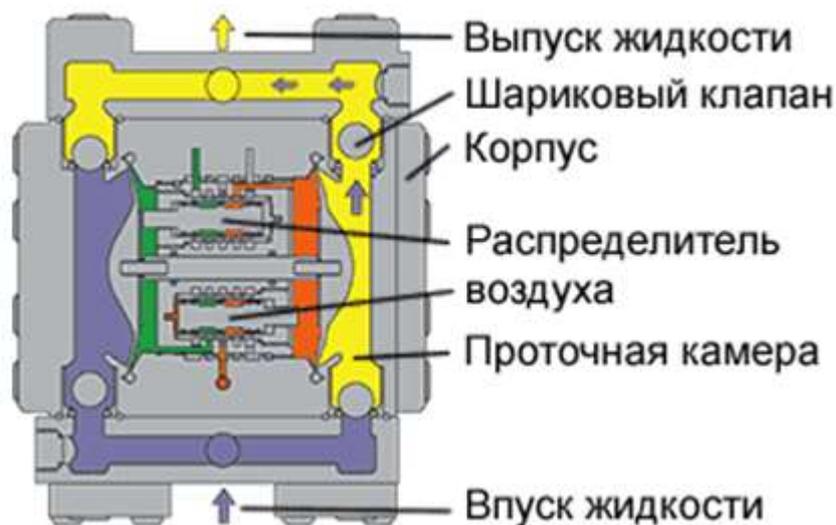


Рисунок 4 – Принцип действия мембранного насоса

При работе насоса шток изгибает мембрану, увеличивая при этом рабочий объем камеры и создавая в ней вакуум, начинается всасывание перекачиваемой жидкости. При заполнении камеры мембрана вновь при помощи штока возвращается на место, происходит резкое уменьшение объема, и жидкость выталкивается через выходной патрубок. В момент возвратного движения во избежание обратного попадания жидкости или газа вход перекрывается клапаном.

Мембранные насосы могут работать с любыми средами, имеют длительный срок службы и относительно невысокую цену, характеризуются небольшими размерами, тихой работой, отсутствием вибраций. Широко используются в медицине, фермерских хозяйствах, при работе с лаками и красками (так как имеют высокую степень герметичности).

Поршневые насосы

Поршневые насосы являются исторически одними из самых старых типов насосов, в современности обладают эргономичным и прочным корпусом, развитой элементной базой, широкими возможностями для подключения к трубопроводу. Устройство поршневого насоса показано на рисунке 5.

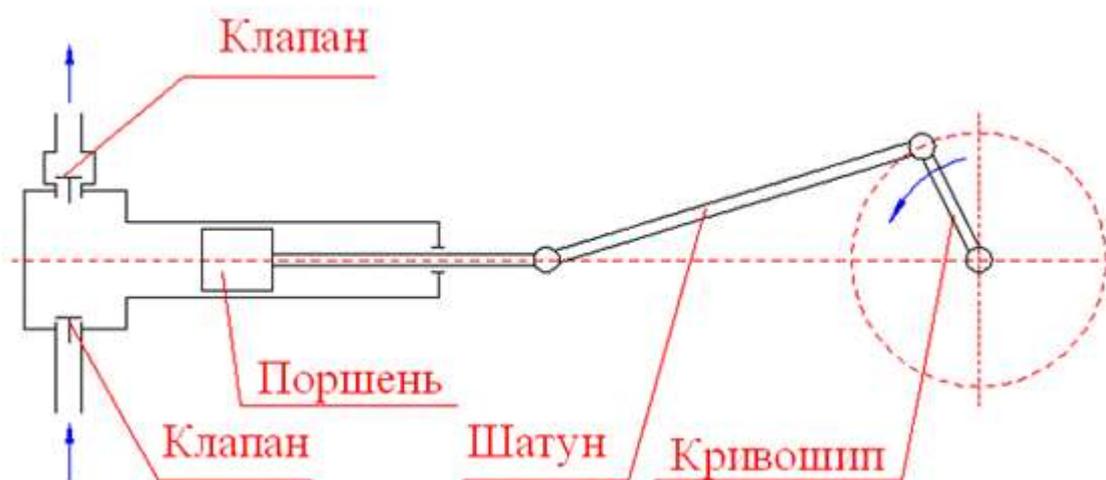


Рисунок 5 – Устройство поршневого насоса

Корпус насоса является металлическим полым цилиндром, в котором под действием поршня плунжерного типа происходит перемещение жидкости. Работа насоса представляет собой цикл возвратно-поступательных движений поршня. При движении поршня вверх в камере создаётся разрежение воздуха, вода всасывается через входной клапан. При обратном движении поршня, входной клапан закрывается, открывается выходное отверстие, и вода выталкивается через него.

К преимуществам поршневых насосов относятся простота и прочность, а к недостаткам – низкий уровень производительности. Применяются при перекачке воды, а также агрессивных химических жидкостей и взрывоопасных смесей.

Струйные насосы

Как было отмечено выше, струйные насосы являются разновидностью большой группы динамических насосов. Струйные насосные агрегаты не имеют вращающихся частей, а жидкость перемещается в них за счёт трения с функциональной водой или паром. Структурная схема струйного насоса представлена на рисунке 6.

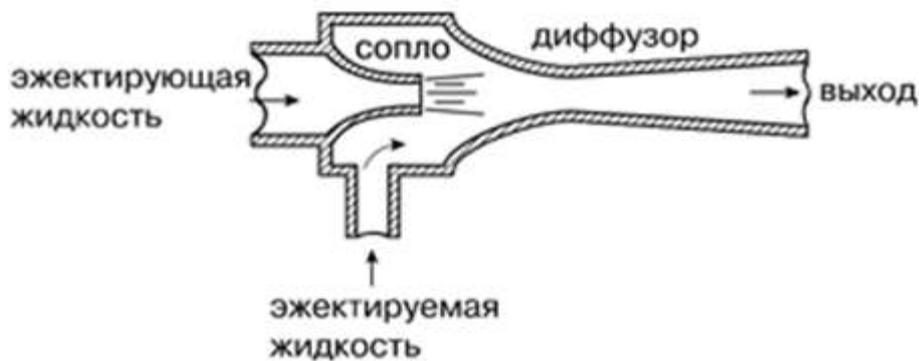


Рисунок 6 – Структурная схема струйного насоса

В вакуумную камеру насоса всасывается вода, которая далее движется по трубе, которая имеет уменьшение диаметра. С уменьшением диаметра скорость движения жидкости увеличивается, она поступает через диффузор в камеру смешивания, где смешивается с функциональной жидкостью. Скорость потока при этом снижается, но сохраняется напор.

К преимуществам струйных насосов относятся надёжность, простота конструкции, широкая сфера использования, к недостаткам – низкий менее 30 % коэффициент полезного действия. Ввиду простоты конструкции струйные насосы могут использоваться, например, в системах пожаротушения и в ситуациях с отключением воды.

Осевые насосы

В осевом насосе присутствует рабочее колесо, в направлении оси которого и перемещается жидкость путём обтекания лопастей колеса. Процесс перемещения происходит за счёт передачи кинетической энергии, а какие-либо центробежные силы при этом отсутствуют. Структурная схема осевого насоса изображена на рисунке 7.

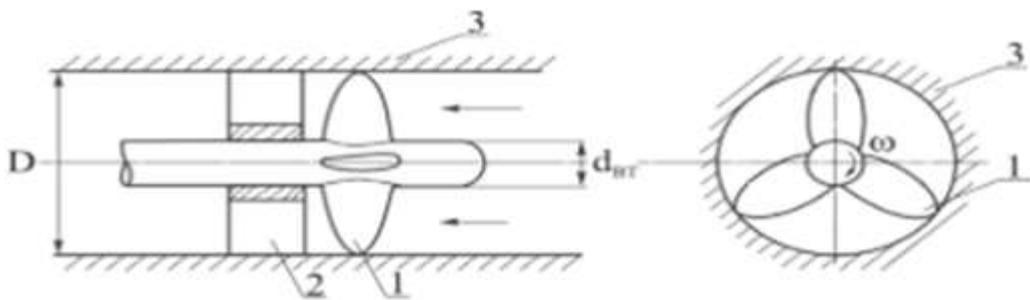


Рисунок 7 – Структурная схема осевого насоса

При работе рабочее колесо 1 осевого насоса лопастями закручивает поток жидкости, который движется параллельно оси колеса. Направляющий аппарат 2 с неподвижными лопатками, установленный после рабочего колеса, выпрямляет поток жидкости и направляет его в напорный патрубок, преобразуя кинетическую энергию вращения потока в потенциальную энергию давления. Цилиндрический корпус 3, в котором расположена вся проточная часть насоса, является как бы продолжением трубопровода, а сам насос встроен в него и образует с трубопроводом единое целое.

Осевые насосы используются для перекачки пресной и солёной воды, её отвода и очистки. Имеют компактные размеры и, как упоминалось выше, могут устанавливаться внутри трубопровода.

Вихревые насосы

В вихревых насосах для циркуляции воды применяются лопасти рабочего колеса, которые могут быть расположены как в радиальном, так и в наклонном положениях относительно оси самого колеса. Устройство вихревого насоса изображено на рисунке 8.

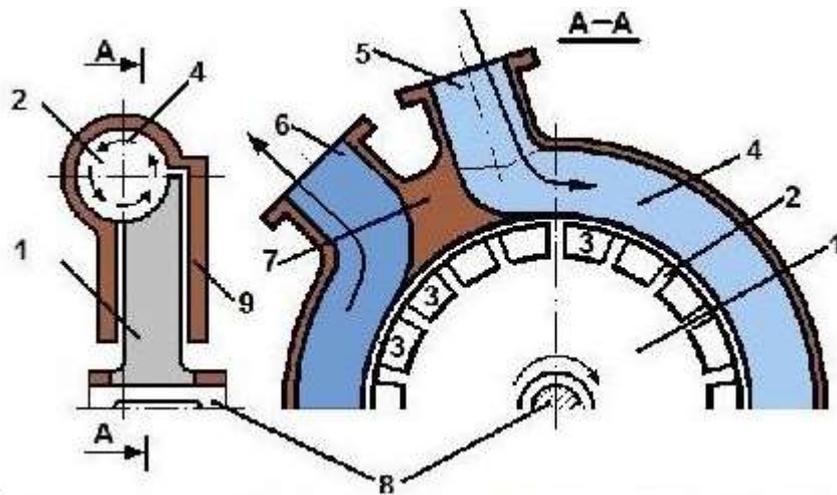


Рисунок 8 – Устройство вихревого насоса

Схема вихревого насоса включает в себя:

- 1- рабочее колесо;
- 2- лопатки;
- 3- межлопастные каналы;
- 4- кольцевой отвод;
- 5,6- всасывающий и нагнетательный клапаны;
- 7- разделитель потоков;
- 8- вал;
- 9- корпус.

Жидкость в вихревых насосах перемещается к выходному патрубку за счёт центробежных сил, создаваемых при совместном вращении жидкости и лопастей рабочего колеса. Такие насосы не требуют предварительного заполнения входного патрубка жидкостью перед запуском, так как они обладают самовсасыванием. Также возможно реверсивное перекачивание в различных направлениях, что определяется направлением вращения рабочего колеса.

Центробежные насосы

Принцип действия центробежных насосов основан на передаче центробежной силы вращения рабочего колеса. Схема центробежного насоса представлена на рисунке 9.

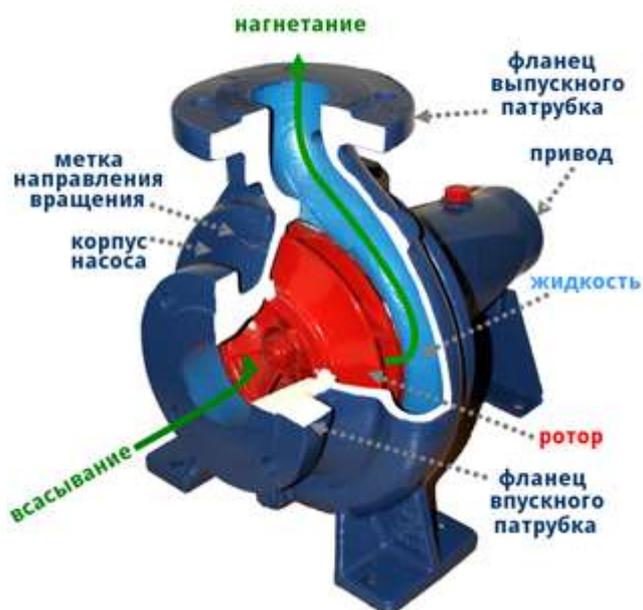


Рисунок 9 – Схема центробежного насоса

Жидкость через впускной патрубок поступает в рабочую камеру насоса, где начинает перемещаться вместе с лопатками рабочего колеса от центра к стенкам камеры, где создается большая величина давления. За счёт этого давления вода выталкивается через выпускной патрубок в трубопровод. Центробежные насосы могут быть как одноступенчатыми, так и многоступенчатыми с несколькими рабочими колёсами.

В данной работе по условиям технического задания исследуется насос центробежного типа, как наиболее распространенный в существующих системах перекачки жидкостей.

2 Аналитический обзор методов регулирования режимов насосных установок

Для того, чтобы в условиях изменений условий работы обеспечить требуемый режим работы насосной станции, необходимо осуществлять регулирование работы насосных установок – силовой основы станций.

В отношении центробежных насосов применяют три основных способа регулирования производительности: дросселирование, перепуск части жидкости с выхода на вход, а также регулирование скорости вращения приводного двигателя.

Дросселирование

Суть метода регулирования заключается в увеличении сопротивления на напорном участке, к примеру, за насосом.

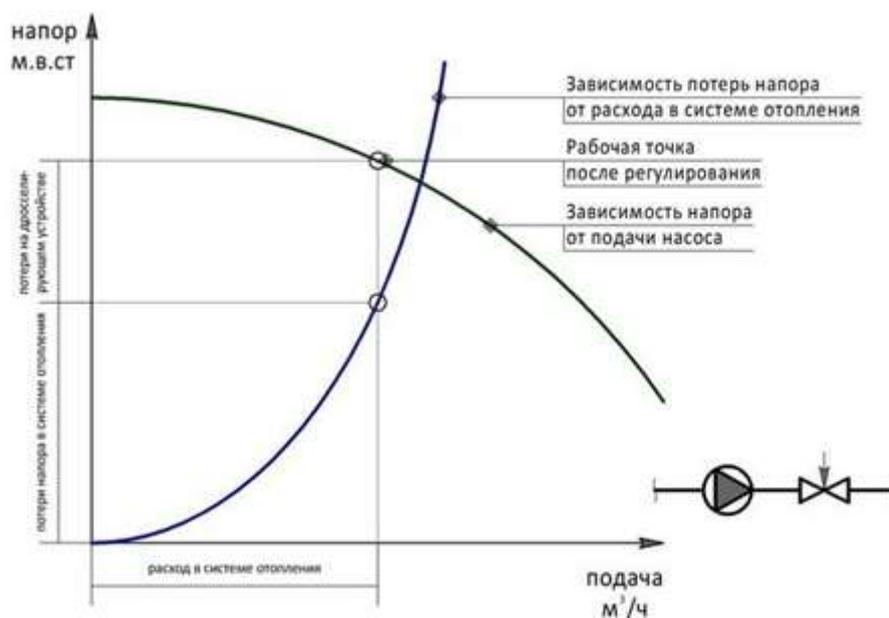


Рисунок 10 – Регулирование подачи насоса дросселированием

Для дросселирования используют регулирующие элементы в виде дросселя, клапана, задвижки, которые могут работать как в автоматическом, так и в ручном режиме. При дросселировании рабочая точка насоса перемещается вверх по напорной характеристике, увеличивая при этом напор, но уменьшая подачу и КПД.

Преимуществом метода является простота его реализации. К недостаткам относятся указанное выше снижение КПД, сокращение срока службы запорных устройств и утечки жидкости через стыки и щели при увеличении давления на выходе при закрытии задвижки.

Регулирование напора перепуском жидкости

При перепуске организуется отвод части жидкости с выхода насоса на вход путём установки специального регулятора между выходом и входом.

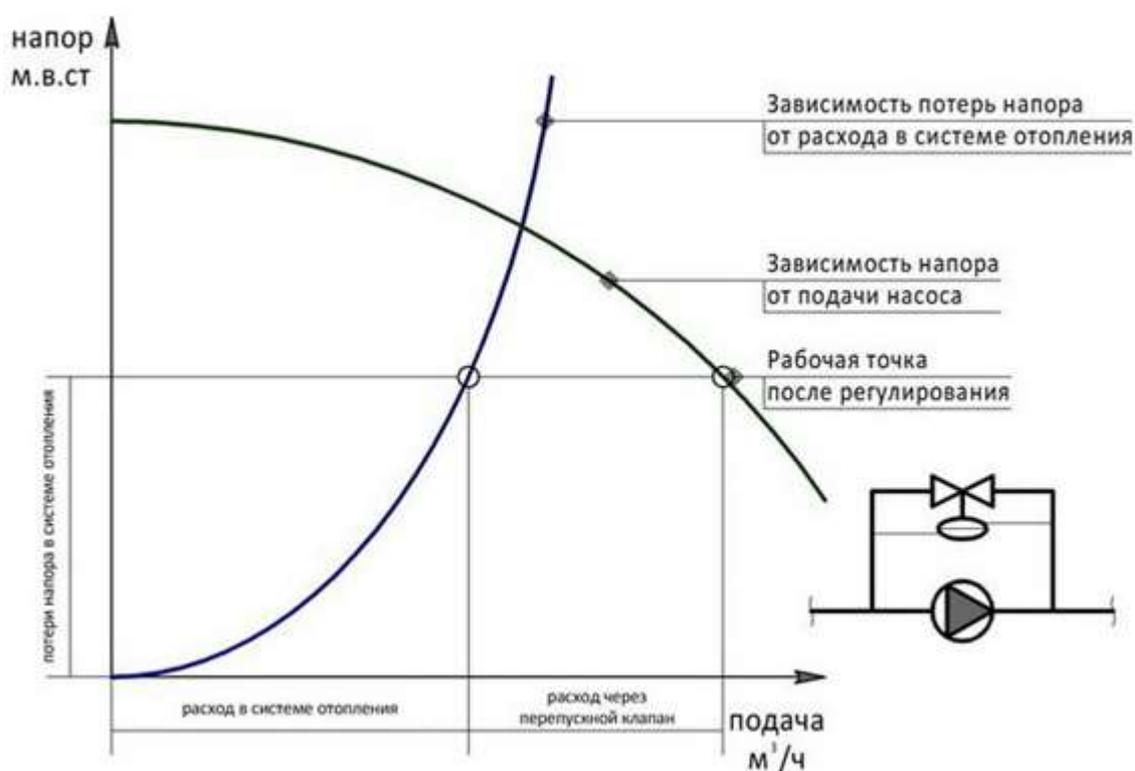


Рисунок 11 – Регулирование подачи насоса перепуском

Во время уменьшения подачи жидкости возрастает напор, создаваемый насосом, и регулятор открывает путь с выхода, перепуская жидкость из напорного патрубка обратно на вход. К преимуществу метода можно отнести работу электропривода постоянно в зоне оптимального КПД, а к недостаткам – неизменное потребление электроэнергии при снижении нагрузки в сети.

Регулирование скорости вращения приводного двигателя

Способ является наиболее эффективным из всех трёх перечисленных. Основан на том, что при уменьшении частоты вращения рабочего колеса насоса снижаются не только напор и подача, но и потребление электроэнергии.

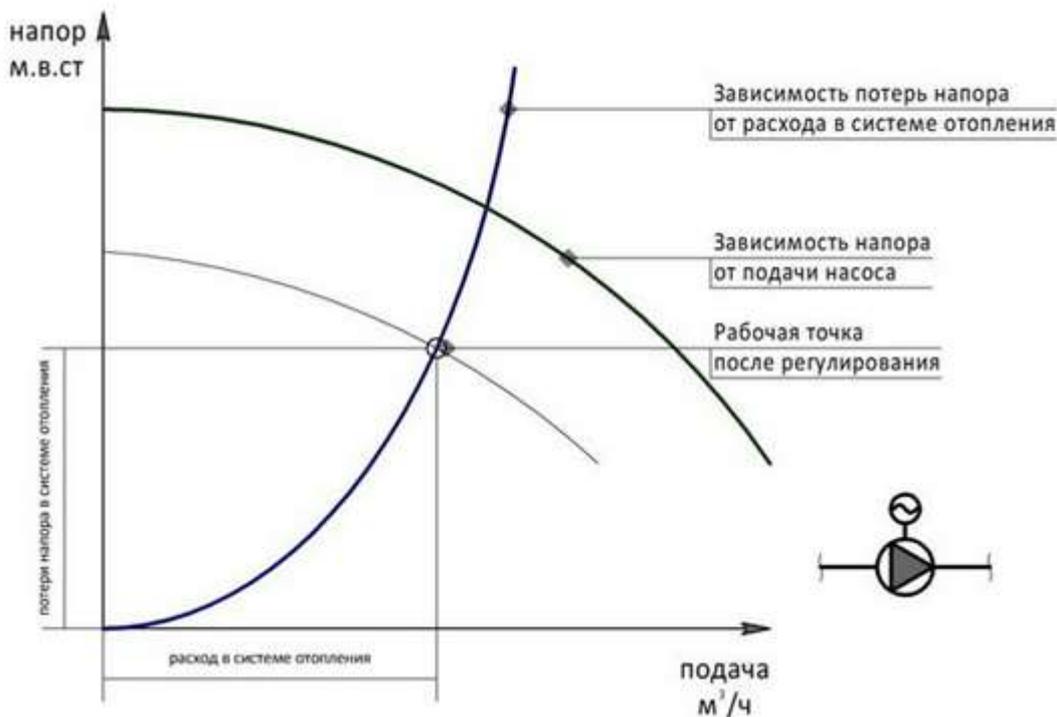


Рисунок 12 – Регулирование подачи насоса изменением частоты вращения

Способ осуществляется путём применения частотных регуляторов для электрических двигателей. С помощью регуляторов возможно обеспечить работу насосной установки с максимальным КПД, осуществить плавный пуск электродвигателя, уменьшив при этом броски токов и момента. Высокие затраты на приобретение частотного регулятора с течением времени могут очень быстро окупиться.

Из проведённого анализа способов регулирования производительности насосов целесообразно принять в дальнейшем к рассмотрению метод регулирования частоты вращения.

3 Анализ существующих схем преобразователей частоты для регулирования скорости асинхронного электропривода

Частотное регулирование является наиболее перспективным и распространенным способом изменения скорости асинхронного электродвигателя. Обусловлено это возможностью плавного регулирования в широком диапазоне, а также отсутствием увеличения скольжения двигателя, как в случае реостатного регулирования.

Частотные преобразователи подразделяются на преобразователи с непосредственной связью и преобразователи со звеном постоянного тока. Рассмотрим преимущества и недостатки указанных видов.

Преобразователи частоты с непосредственной связью

Силовая часть непосредственных преобразователей частоты (НПЧ) состоит из 18 силовых ключей (обычно тиристоров). Каждая из трёх фаз питания двигателя состоит из двух встречно включенных трёхфазных схем выпрямления.

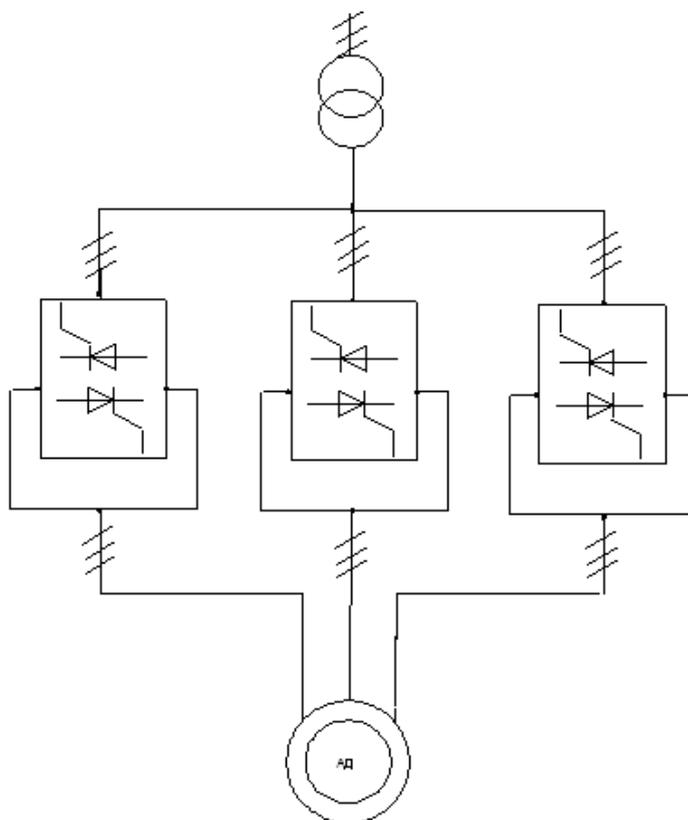


Рисунок 13 – Силовая часть НПЧ

По типу управления силовыми ключами НПЧ подразделяются на преобразователи с раздельным и совместным управлением.

К достоинствам НПЧ относят высокий КПД ввиду однократного преобразования энергии, возможность независимого регулирования амплитуды выходного напряжения, естественную коммутацию тиристоров без применения коммутационных конденсаторов, свободный обмен энергией (как активной, так и реактивной) от сети к двигателю.

Недостатками преобразователей с непосредственной связью являются ограниченный диапазон регулирования, относительно большое количество силовых ключей и сложная схема управления ими.

Преобразователи частоты со звеном постоянного тока

Наибольшее распространение в асинхронных электроприводах нашли преобразователи частоты (ПЧ), включающие в себя звено постоянного тока. В таких устройствах осуществляется двойное преобразование электрической энергии – сначала синусоидального входного напряжения в постоянное, а затем полученного напряжения постоянного тока в переменное с регулируемой частотой и амплитудой.

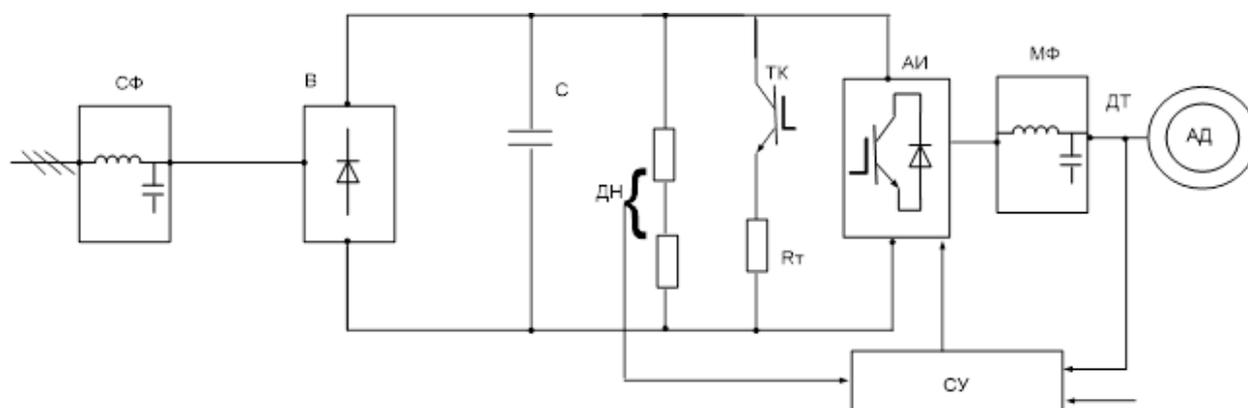


Рисунок 14 – Функциональная схема преобразователя со звеном постоянного тока

На схеме сетевой фильтр СФ служит для уменьшения влияния высших гармоник сети, выпрямитель В осуществляет преобразование сетевого переменного напряжения в постоянное, конденсатор С сглаживает выпрямленное напряжение, ТК является тормозным ключом, тормозной резистор R_t служит для сброса энергии при

торможении двигателя, автономный инвертор напряжения АИН преобразует постоянное напряжение в регулируемое переменное, мотор-фильтр МФ снижает влияние высших гармоник в статорном напряжении асинхронного двигателя АД. АИН, как правило, выполнен на шести полностью управляемых силовых ключах – IGBT-транзисторах.

По сравнению с НПЧ преобразователи со звеном постоянного тока позволяют осуществить более глубокое регулирование скорости двигателя, отличаются значительным быстродействием, менее громоздкой системой управления транзисторными ключами, более высокой частотой переключения транзисторов по сравнению с тиристорами, что позволяет снизить уровень гармоник напряжения и соответственно уменьшить потери в обмотках и магнитопроводе АД, трансформаторов.

Исходя из перечисленных преимуществ, можно сделать вывод, что применение системы регулирования скорости двигателя с преобразователем частоты со звеном постоянного тока наиболее целесообразно.

4 Выбор электродвигателя и расчет его параметров

Мощность электродвигателя для насоса рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{расч}} = k_3 \cdot \frac{g \cdot Q \cdot H \cdot \gamma}{\eta_n \cdot \eta_{\text{п}}} = 1,15 \cdot \frac{9,8 \cdot 0,11 \cdot 10,5 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 0,9} = 19,28 \text{ кВт},$$

где k_3 – коэффициент запаса; Q – производительность насоса; H – напор; $\gamma = 10^3 \text{ кг/м}^3$ – плотность перекачиваемой жидкости (считаем, что жидкостью является вода); $\eta_n, \eta_{\text{п}}$ – КПД насоса и передачи соответственно.

Условия выбора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором:

$$n_{\text{дв.ном}} \geq n_{\text{нас}} \geq 2930 \frac{\text{об}}{\text{мин}}, \quad P_{\text{дв.ном}} \geq 19,28 \text{ кВт}.$$

Выбираем электродвигатель АИР180S2 со следующими паспортными данными:

$P_{\text{н}} = 22 \text{ кВт}$ – номинальная мощность двигателя;

$U_{\text{лн}} = 380 \text{ В}$ – номинальное линейное напряжение;

$n_0 = 3000 \text{ об/мин}$ – синхронная частота вращения;

$s_{\text{н}} = 2,7 \%$ – номинальное скольжение двигателя;

$\eta_{\text{н}} = 0,905$ – КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка);

$\cos \varphi_{\text{н}} = 0,89$ – коэффициент мощности;

$k_i = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}} = 7 \text{ о.е.}$ – кратность пускового тока;

$k_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}} = 2 \text{ о.е.}$ – кратность пускового момента;

$k_{\text{max}} = \frac{M_{\text{к}}}{M_{\text{н}}} = 2,7 \text{ о.е.}$ – кратность максимального момента;

$J_{\text{дв}} = 0,057 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – динамический момент инерции.

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.ном}} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0,027) \cdot 3000 = 2919 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

или

$$\omega_{\text{дв.ном}} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,027) \cdot 314 = 305,522 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.ном}} = \frac{P_{\text{дв.ном}}}{\omega_{\text{дв.ном}}} = \frac{22000}{305,522} = 72,008 \text{ Нм}.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}} = \\ = \sqrt{\frac{31,672^2 - (0,75 \cdot 41,385 \cdot (1 - 0,027) / (1 - 0,75 \cdot 0,027))^2}{1 - (0,75 \cdot (1 - 0,027) / (1 - 0,75 \cdot 0,027))^2}} = 10,906 \text{ А},$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{22000}{3 \cdot 220 \cdot 0,89 \cdot 0,905} = 41,385 \text{ А}$ – номинальный ток

статора двигателя;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 22000}{3 \cdot 220 \cdot 0,872 \cdot 0,905} = 31,672 \text{ А}$$
 – ток статора двигателя

при частичной нагрузке;

$$\eta_{p_*} = \eta_H = 0,905 \text{ – КПД при частичной нагрузке;}$$

$$\cos \varphi_{p_*} = 0,98 \cdot \cos \varphi_H = 0,98 \cdot 0,89 = 0,872 \text{ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;}$$

$$p_* = \frac{P}{P_H} = 0,75 \text{ – коэффициент загрузки двигателя.}$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения. В первом приближении принимаем $\beta=1$ (коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора):

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

$$= 0,027 \cdot \frac{2,7 + \sqrt{2,7^2 - (1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot (2,7 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot (2,7 - 1)} = 0,155 \text{ о.е.}$$

Далее определяем ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{10,906}{2 \cdot 7 \cdot 41,385} = 1,019;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,027)}{2 \cdot 1,019 \cdot 2,7 \cdot 22000} = 1,167.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{1,167}{\left(1 + \frac{1}{0,155}\right) \cdot 1,019} = 0,154 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,019 \cdot 0,154 \cdot 1 = 0,157 \text{ Ом.}$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,155^2} - 1^2} = 6,358.$$

Тогда сопротивление короткого замыкания:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 6,358 \cdot 1,019 \cdot 0,154 = 0,998 \text{ Ом.}$$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления короткого замыкания сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_{2\sigma}' = \frac{0,58 \cdot X_{KH}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,998}{1,019} = 0,568 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 0,998 = 0,419 \text{ Ом.}$$

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

$$E_m = \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_{1H} \cdot I_{1H})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,89 - 0,157 \cdot 41,385)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,89^2} - 0,419 \cdot 41,385)^2} = 206,686 \text{ В.}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_{\mu H} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{206,686}{10,906} = 18,952 \text{ Ом.}$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,419}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,334 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,568}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,808 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{18,952}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,06 \text{ Гн.}$$

T-образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 15.

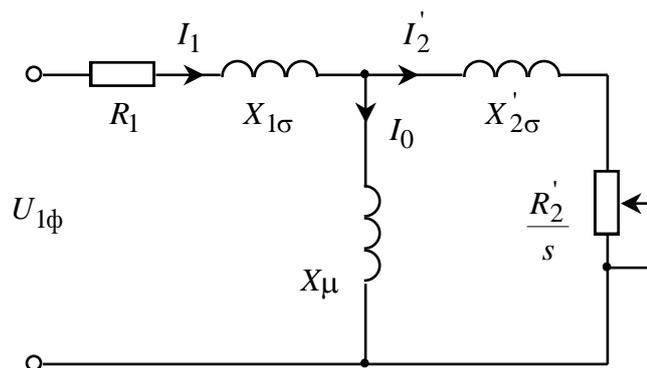


Рисунок 15 – Схема замещения асинхронного двигателя

Параметры схемы замещения сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1, \text{Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{Ом}$	$L_{1\sigma}, \text{Гн}$	$X_\mu, \text{Ом}$	$L_\mu, \text{Гн}$	$R_2', \text{Ом}$	$X'_{2\sigma}, \text{Ом}$	$L'_{2\sigma}, \text{Гн}$	$X_{\text{кн}}, \text{Ом}$
0,157	0,419	$1,334 \cdot 10^{-3}$	18,952	0,06	0,154	0,568	$1,808 \cdot 10^{-3}$	0,998

Номинальный электромагнитный момент двигателя:

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,154}{314 \cdot 0,027 \cdot \left[0,998^2 + \left(0,157 + \frac{0,154}{0,027} \right)^2 + \left(\frac{0,157 \cdot 0,154}{0,027 \cdot 18,952} \right)^2 \right]} = 74,553 \text{ Нм.}$$

Момент сопротивления от сил трения на валу:

$$M_{\text{с.тх}} = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{об.н}} = 74,553 - 72,008 = 2,545 \text{ Нм.}$$

Расчет естественных характеристик двигателя

Для построения естественной механической характеристики двигателя определим критический момент машины в двигательном режиме:

$$M_{\text{к}} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 314 \cdot 1,019 \cdot \left[0,157 + \sqrt{0,157^2 + 0,998^2} \right]} = 194,323 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Задаваясь диапазоном скольжения от 1 до 0, строим механическую характеристику асинхронного двигателя по формуле Клосса:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\text{к}} \cdot (1 + a \cdot s_{\text{к}})}{\frac{s_{\text{к}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{к}}} + 2 \cdot a \cdot s_{\text{к}}},$$

где $a = \frac{R_1}{R_2'} = \frac{0,157}{0,154} = 1,019$.

Значения по оси скорости рассчитываются по выражению:

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

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя представлена на рисунке 16.

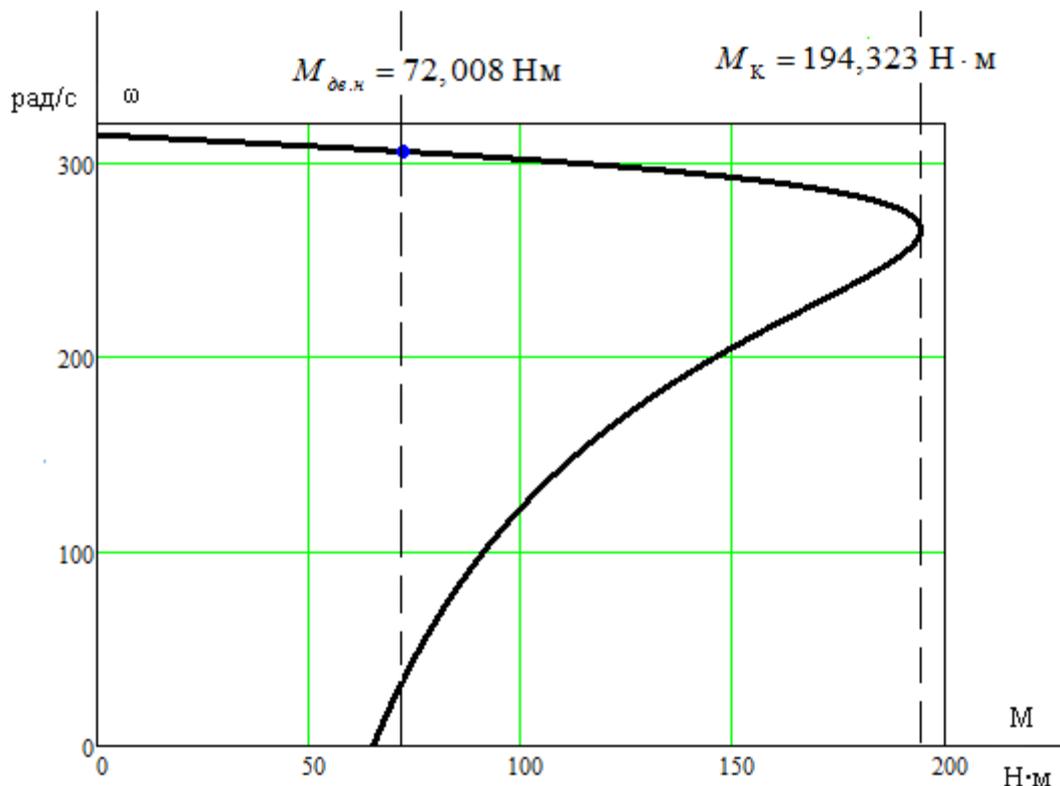


Рисунок 16 – Естественная механическая характеристика двигателя

Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя представляет собой зависимость тока статора от скорости. Полагая ток намагничивания I_0 реактивным ($I_{0A}=0$), ток статора I_1 через приведенный ток ротора можно найти по формуле:

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

где

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

$$\sin \varphi_2(\omega) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2}}$$

Задаваясь диапазоном изменения скорости от 0 до ω_0 , строим электромеханическую характеристику асинхронного двигателя по формулам для токов обмоток статора и ротора.

Естественные электромеханические характеристики двигателя приведены на рисунке 17.

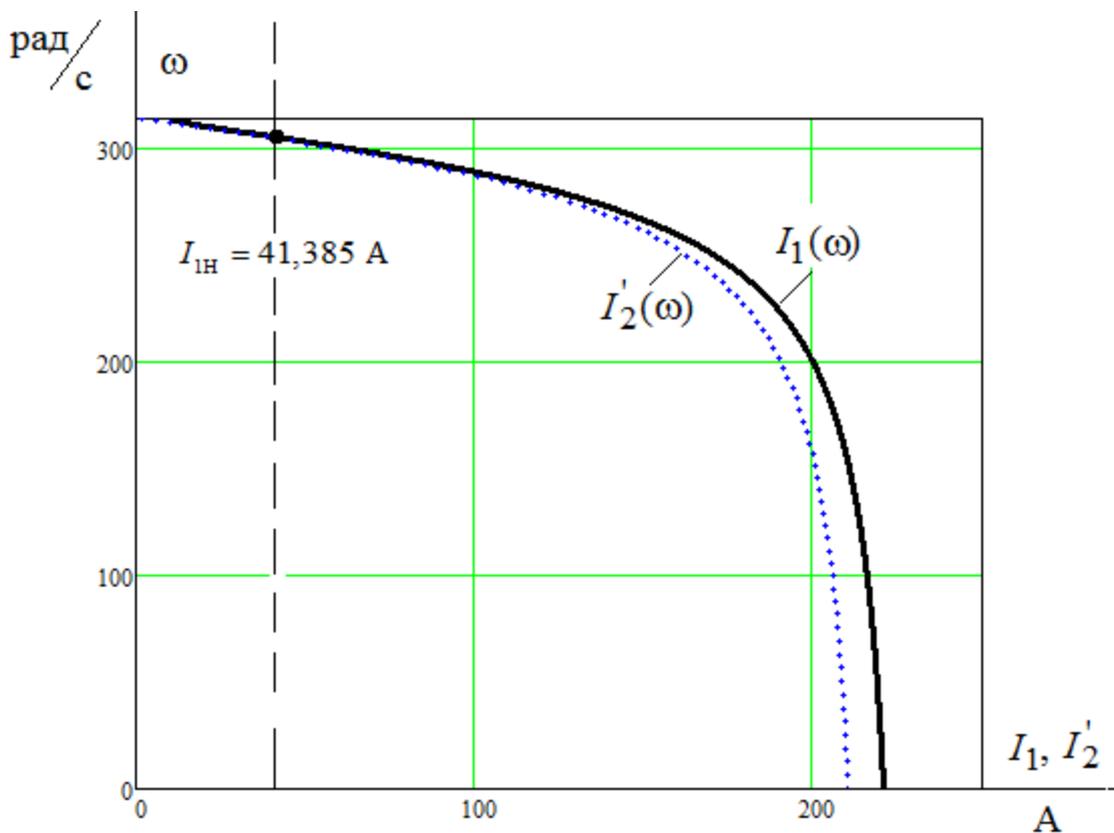


Рисунок 17 – Естественные электромеханические характеристики двигателя

5 Выбор преобразователя частоты

Преобразователь выбирается по номинальному (длительно допустимому) току $I_{ин}$, рекомендуемой мощности и номинальному напряжению двигателя. Выбираем преобразователь частоты фирмы Danfoss, параметры которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры преобразователя частоты фирмы Danfoss

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение $U_{н}$, В	Выходная частота $f_{н}$, Гц	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя P_2 , кВт
	$U_{л}$, В	f_c , Гц			$I_{ин}$, А	$I_{и.макс}$, А	
VLT5032 «Danfoss»	3x380	50	380	0÷132	44	70,4	22

6 Выбор аппаратуры управления и защиты

6.1 Выбор и обоснование датчика давления

Устройства получения информации о состоянии технологического процесса предназначены для сбора и преобразования информации без изменения ее содержания о контролируемых и управляемых параметрах ТП. Входом устройств являются естественные или унифицированные сигналы, выходом – соответствующие значения унифицированных сигналов.

К устройствам для получения информации о состоянии процесса, образующим канал сбора и преобразования информации, относят чувствительные элементы или собственно датчики.

Датчики физических величин воспринимают контролируемый параметр и преобразуют его в величину, удобную для передачи по каналам связи или дальнейшего преобразования.

Основными характеристиками измерительных устройств для получения информации о состоянии ТП являются: входная величина, воспринимаемая и преобразуемая датчиком; выходная величина, используемая для передачи

информации; статическая и динамическая характеристики датчика; порог чувствительности; основная и дополнительные погрешности.

В данном ТП в качестве измерительного устройства используется датчик давления подачи воды (ДД).

Входная величина Q , поступающая на вход датчика ДД, относится к классу входных величин датчика, характеризующих протекание процесса. Выходная величина, используемая для передачи информации, моделируется по амплитуде. Динамическая характеристика датчика определяет поведение датчика при изменении входной величины и определяется внутренней структурой датчика и его элементов.

Точность измерений давления воды характеризуют следующие факторы:

- порог чувствительности датчика – минимальное изменение входной величины, вызывающее изменение выходного сигнала;
- основная погрешность датчика – максимальная разность между получаемой в нормальных эксплуатационных условиях величиной выходного сигнала и его номинальным значением, определяемая по статической характеристике для данной входной величины;
- дополнительные погрешности датчика – погрешности, вызываемые изменениями внешних условий по сравнению с нормальными условиями (температурная погрешность и др.).

Датчики, обеспечивающие управление технологическими переменными и управляющими воздействиями:

В комплект поставки преобразователя частоты входит датчик давления ОТ-1 (МН-2) представленный на рисунке 18.



Рисунок 18 – Датчик давления

Технические характеристики датчика давления ОТ-1 (МН-2) представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики датчика давления ОТ-1 (МН-2)

Название	ОТ-1 (МН-2)
Тип	Тензорезистивный
Диапазоны давления	0...6, 0...10, 0...16, 0...25 бар
Погрешность	1 %
Выходной сигнал	4-20 мА (двухпроводное подключение)
Питание	10...30 В постоянного тока
Присоединение	G1/4
$T_{\text{раб}}$ измеряемой среды	-40 °С...+125 °С
$T_{\text{раб}}$ окружающей среды	-40 °С...+100 °С
Защита от ударных нагрузок	500g (механический удар)
Защита от вибрации	20g (вибрация в условиях резонанса)
Материалы, контактирующие с измеряемой средой	Нержавеющая сталь с добавками CrNi
Пылевлагозащита	IP67
Масса	70

6.2 Выбор контакторов и автоматов защиты

По номинальному току и мощности был выбран контактор фирмы Danfoss серии CI 45 (рисунок 19), технические характеристики которого представлены в таблице 4.



Рисунок 19 – Контактор CI 45

Таблица 4 – Технические характеристики контактора Danfoss серии CI 45

Характеристики	Величина
Тип	CI 45
АС-1 нагрузочный, I_{th} , открытый	80 А
АС-1 нагрузочный, I_{th} , закрытый	80 А
АС-3 нагрузочный, I_e	45 А
АС-3 силовой, U_e , 380 – 500В	22 кВт
Главные контакты	3
Максимальное количество навесных вспомогательных контактов	4

Также был выбран автоматический выключатель, который предназначен для защиты проводов, кабелей, электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок. Для этого было выполнено следующее:

$$1. I_{расц} \geq I_{дл}, I_{дл} \geq I_{н.ЭД} = 41,385 \text{ A};$$

$$2. I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} \text{ (для одного ЭП);}$$

$$I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{кр} = 1,5 \cdot 289,695 = 434,543 \text{ A},$$

$$I_{кр} = I_n = k_i \cdot I_{1н} = 7 \cdot 41,385 = 289,695 \text{ A} \text{ – пусковой ток.}$$

Выбираем автоматический выключатель типа ВА14-26 (рисунок 20) с $I_{ном} = 64 \text{ A}$, $I_{н.расц.} = 50 \text{ A}$, $I_{кз} = 10 \cdot I_{н.расц} = 10 \cdot 50 = 500 \text{ A}$.



Рисунок 20 – Автоматический выключатель ВА 14-26

Выбор плавких предохранителей.

Выбираем плавкие предохранители исходя из условий:

$$I_{ВС} \geq I_{н.ЭД}$$

$$I_{ВС} \geq I_{н.ЭД}$$

Выбираем предохранитель типа ПН2-100 с параметрами, приведенными в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры предохранителя типа ПН2-100

Тип	$I_{ном}$, А	
	Предохранителя	Плавкой вставки
ПН2-100	100	40

6.3 Выбор и обоснование контроллера

Логические модули LOGO! являются компактными функционально законченными универсальными изделиями. Они предназначены для построения простейших устройств автоматики с логической обработкой информации. Алгоритм функционирования модулей задается программой, составленной из набора встроенных функций. Программирование модулей LOGO!Basic может производиться с их клавиатуры без использования дополнительного программного обеспечения. Стоимостные показатели модулей настолько низки, что их применение может оказаться экономически целесообразным даже в случае замены устройств, включающих в свой состав 2 многофункциональных реле времени или 2 таймера и 3-4 промежуточных реле.

Серия продуктов LOGO! объединяет в своем составе логические модули LOGO!Basic и LOGO!Pure, модули ввода-вывода дискретных сигналов DM8 (4 входа, 4 выхода) и DM16 (8 входов, 8 выходов), модули ввода аналоговых сигналов AM2 (2 входа) и аналогового вывода AM2 AQ (2 выхода), коммуникационные модули, модули бесшумной коммутации трехфазных цепей переменного тока LOGO!Contact, блоки питания LOGO!Power, аксессуары, а также программное обеспечение LOGO!Soft Comfort.

Из условий технического процесса нам потребуется контроллер с числом дискретных входов – 5 шт., аналоговых входов – 1 шт., дискретных выходов – 4. Также нужен один аналоговый вход и возможность управления преобразователем частоты.

Из линейки логических модулей LOGO! Basic выбираем логический модуль LOGO! 12/24RC (рисунок 21). Модуль обладает следующими техническими данными, представленными в таблице 6.



Рисунок 21 – Логический модуль LOGO! 24 Basic

Таблица 6 – Технические данные модуля LOGO! 24 Basic

Напряжение питания/входное напряжение, В	12/24 постоянного тока
Дискретные входы	
Количество (группы)/ тип	8 (1x8)/ Общий плюс или минус для всех входов
Входное напряжение, В: ➤ низкого уровня, не менее ➤ высокого уровня, не более	5 постоянного тока 8,5 постоянного тока
Количество (группы)/тип	4 (4x1)/замыкающие контакты реле
Импульсный ток выхода, А	30
Длительно допустимый ток выхода, А	10

Для реализации управления процессом необходимо дополнить логический модуль LOGO! Basic модулем дискретного ввода/вывода, имеющим минимум два выходных и три входных канала. Выбираем модуль расширения ввода/вывода дискретных сигналов LOGO! DM8 12/24R, имеющий по 4 дискретных входа и выхода (рисунок 22).



Рисунок 22 – Модуль ввода-вывода дискретных сигналов LOGO! DM8 12/24R

Модули LOGO! DM позволяют увеличивать количество дискретных входов и выходов, обслуживаемых одним логическим модулем LOGO!.

Технические данные модуля ввода-вывода дискретных сигналов LOGO! DM8 12/24R представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические данные модуля ввода-вывода дискретных сигналов LOGO! DM8 12/24R

Напряжение питания/входное напряжение, В	12/24 постоянного тока
Дискретные входы	
Количество (группы)/ тип	4 (1x4)/ Нет гальванического разделения между входами
Входное напряжение, В: ➤ низкого уровня, не менее ➤ высокого уровня, не более	5 постоянного тока 8,5 постоянного тока
Дискретные выходы	
Количество (группы)/тип	4 (4x1)/замыкающие контакты реле
Импульсный ток выхода, А	30
Длительно допустимый ток выхода, А	5

6.4 Выбор источников питания для контроллера

Для питания логического модуля совместно с модулем расширения выбираем блок питания фирмы Siemens серии LOGO! Power = 24В/ 4А, 90 Вт 6EP1332-1SH51 (рисунок 23).



Рисунок 23 – Блок питания LOGO! Power =24В/4А

7 Расчёт и выбор типа и сечения кабеля сети высокого напряжения и вспомогательного оборудования

7.1 Выбор кабелей

Соединение оборудования в шкафах производится одножильным проводом марки ПВ-1, имеющим однопроволочную и многопроволочную медную жилу с поливинилхлоридной изоляцией различного цвета. Выбирается провод с однопроволочной жилой сечением $1,5 \text{ мм}^2$ для подключения оборудования цепи управления; провод сечением $2,5 \text{ мм}^2$, для подключения преобразователя частоты и контакторов. Для питания преобразователя частоты и электродвигателя выбирается по условию $I_{\text{каб}} \geq I_{\text{доп}}$; $42 \geq 40$ силовой кабель ВВГнг 5х25

7.2 Выбор клеммных зажимов

Клеммные зажимы широко применяются как в бытовой электропроводке, так и в промышленном монтаже в местах, требующих повышенной надежности и виброустойчивости. В данной работе выбраны клеммные зажимы фирмы «WAGO» (Германия). Фирма «WAGO» – мировой лидер в производстве клемм и разъемов, с использованием пружинной технологии соединения. В настоящее время на российском рынке присутствует широкая номенклатура продукции «WAGO».

Выбираем клеммы для установки на DIN-рельс с зажимом CAGE CLAMP фирмы WAGO (рисунок 24) с боковым подключением.



Рисунок 24 – Клемма фирмы WAGO

7.3 Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики

Перечень блоков компоновки шкафа приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень блоков компоновки шкафа

Обозначение	Расшифровка
ПЧ	Преобразователь частоты
БПМК	Блок питания LOGO!POWER
МК	Базовый модуль LOGO!Basic
QF1 – QF3	Автоматический выключатель 175x112,5x112,5
К1	Контактор 1
К2	Контактор 2
К3	Контактор 3

Выбирается один настенный шкаф Hyperline TWM-0945-GR-RAL9004 Шкаф настенный, 501x600x450, со стеклянной дверью (рисунок 25).



Рисунок 25 – Внешний вид шкафа электроавтоматики

Так как из-за массогабаритных показателей проблемно ставить ПЧ в шкаф электроавтоматики, то ПЧ ставится в отдельный шкаф. И выбирается Hyperline TTC-2268-GS-RAL9004, 1166x600x800 (рисунок 26).



Рисунок 26 – Внешний вид шкафа Hyperline для ПЧ

8 Выбор закона регулирования и определение интервала частот инвертора

С учетом того, что диапазон регулирования скорости насосов невелик и механизмы такого класса не требуют обеспечения высокой кратности пускового и максимального моментов, в качестве законов регулирования U_1/f_1 могут быть приняты законы $U_1/f_1 = \text{const}$ и $U_1/f_1^2 = \text{const}$.

Так как насосные установки имеют нелинейно возрастающую механическую характеристику, зависящую от скорости двигателя, то примем в дальнейших расчетах в качестве закона регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Максимальная скорость вращения электропривода равна номинальной скорости двигателя:

$$\omega_{\text{эп.макс}} = \omega_{\text{дв.ном}} = 305,522 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Исходя из заданного диапазона регулирования, принимаем минимальную скорость вращения электропривода:

$$\omega_{\text{эп.мин}} = \frac{\omega_{\text{эп.макс}}}{3} = \frac{305,522}{3} = 101,841 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Частоты инвертора, необходимые для обеспечения требуемых скоростей вращения, находим, решая совместно уравнения механической характеристики двигателя и нагрузки:

$$\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \frac{3 \cdot [U_1(f_1)]^2 \cdot R_2'}{\left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]} = M_c(\omega)$$

где

$U_1(f_1) = U_{1\phi H} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2$ – вольт-частотная характеристика при законе управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$;

$$M_C(\omega) = 0,05 \cdot M_{\text{об.н}} + 0,95 \cdot M_{\text{об.н}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^3 = 0,05 \cdot 72,008 + 0,95 \cdot 72,008 \cdot \left(\frac{\omega}{305,522}\right)^3 = 3,6 + 2,399 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^3$$

– механическая характеристика насоса.

Используем для определения частот инвертора программную среду MathCAD.

Для максимальной скорости:

Принимаем максимальную частоту инвертора: $f_{\text{и.макс}} = 50$ Гц.

Для минимальной скорости

Принимаем частоту инвертора: $f_{\text{и.мин}} = 17$ Гц.

9 Искусственные статические характеристики системы

преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Механические характеристики $\omega(M)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ для ряда выбранных значений выходной

частоты инвертора в интервале от 17 до 50 Гц рассчитываются по выражениям:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]};$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1фн} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2; \quad \omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1-s).$$

По результатам расчета на рисунке 27 построено семейство механических характеристик $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

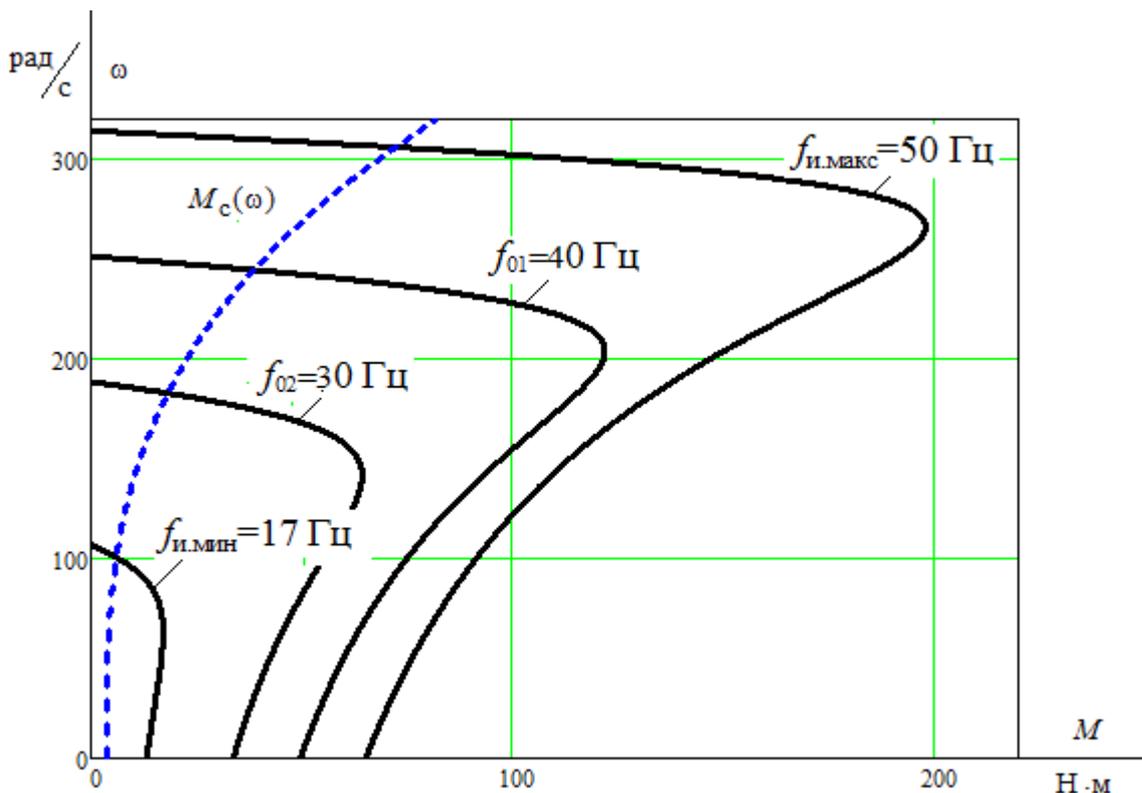


Рисунок 27 – Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитываются для выбранных ранее значений частоты по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)};$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

По результатам расчета на рисунке 28 построено семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ системы преобразователь-двигатель.

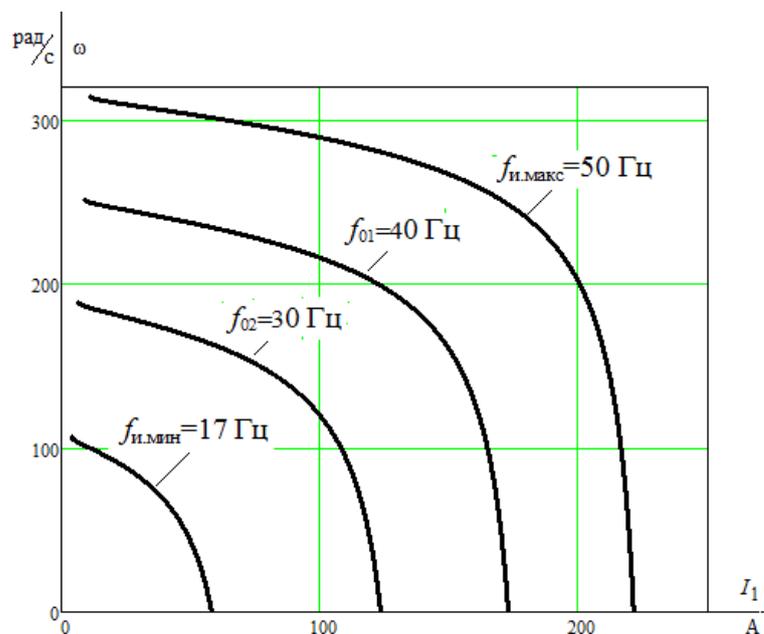


Рисунок 28 – Электромеханические характеристики электропривода

$\omega(I_1)$ при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

10 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя

Имитационная модель асинхронного двигателя в программной среде MATLAB Simulink представлена на рисунке 29.

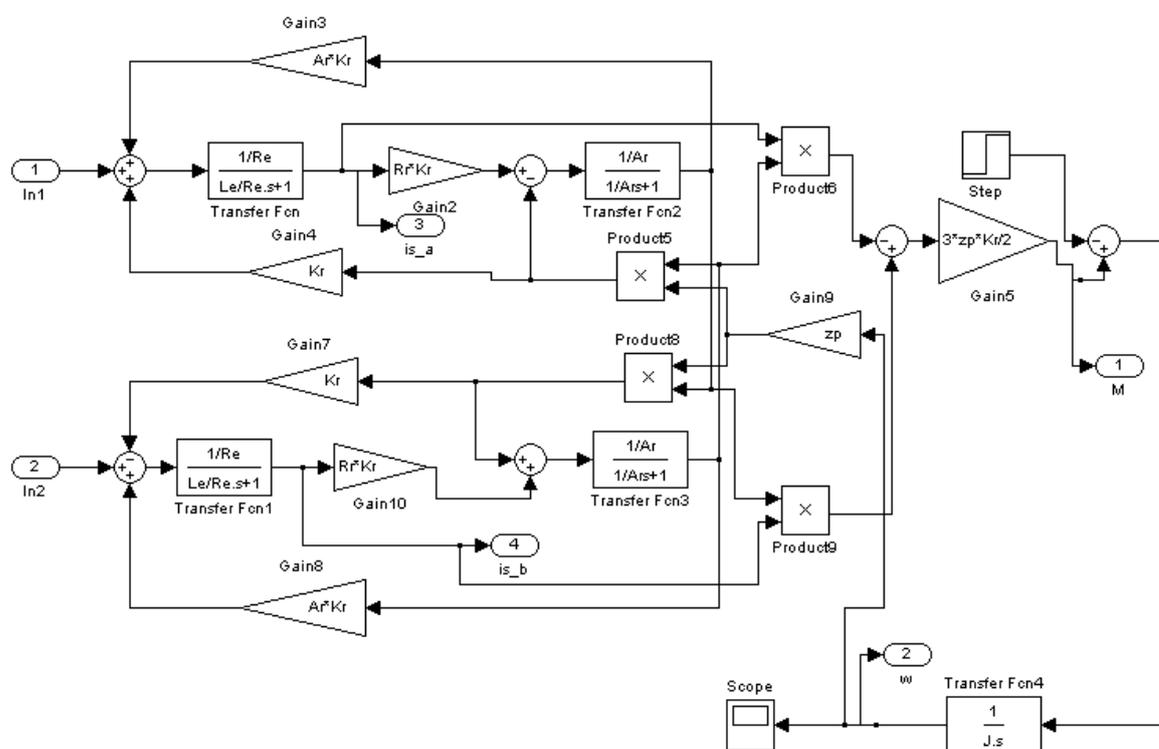


Рисунок 29 – Имитационная модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink

```

%Параметры двигателя
f=50;
Rs=0.157;
Rr=0.154;
Ls_=0.419/(2*pi*f);
Lr_=0.568/(2*pi*f);
Lm=18.952/(2*pi*f);
p=2;
J=0.057;
Ls=Ls_+Lm;
Lr=Lr_+Lm;
zp=p/2;
Kr=Lm/Lr;
Re=Rs+Rr*Kr^2;
Le=Ls-Lm^2/Lr;
Uamp=220*sqrt(2);
Ar=Rr/Lr;
Wref=2*pi*f;
    
```

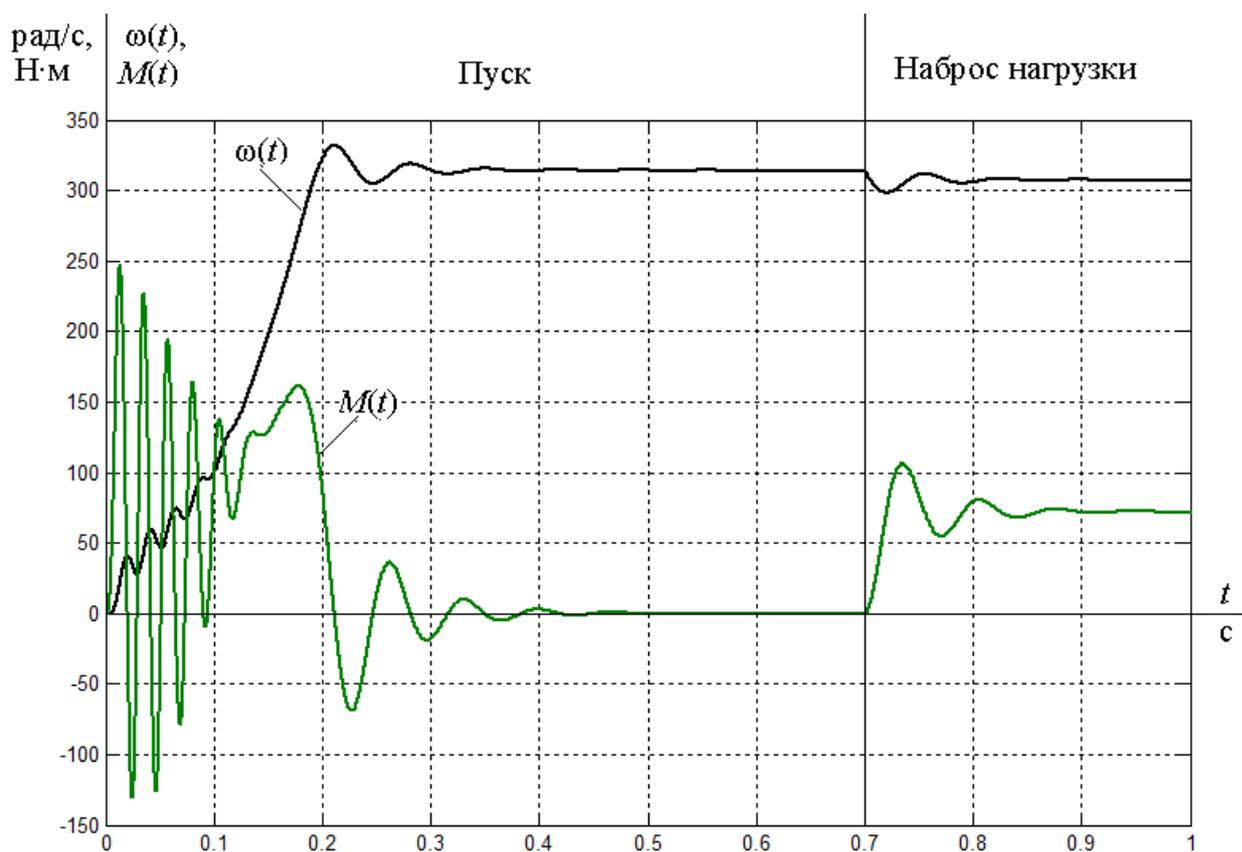


Рисунок 30 – Переходные процессы в АД при прямом пуске и набросе номинальной нагрузки

Из результатов моделирования можно сделать вывод об адекватности используемой модели двигателя в двухфазной неподвижной системе координат, так как при подаче номинального напряжения на обмотки АД разгоняется до синхронной скорости 314 рад/с, а при номинальной нагрузке устанавливаются номинальные значения, как момента, так и скорости двигателя.

Высокая колебательность момента и его максимальное значение при пуске свидетельствуют о необходимости применения плавного пуска электропривода для ограничения пусковых токов и моментов.

11 Имитационная модель силового канала электропривода

Имитационная модель силового канала асинхронного электропривода со скалярным управлением представлена на рисунке 31.

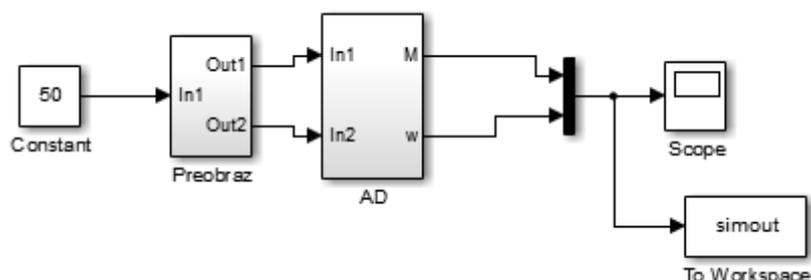


Рисунок 31 – Имитационная модель силового канала электропривода

Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты, представленного подсистемой «Preobraz» представлена на рисунке 32.

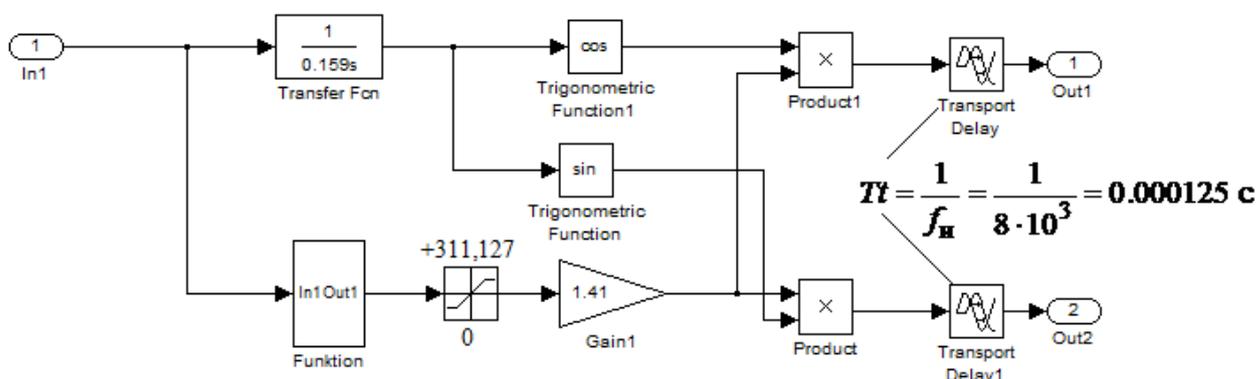


Рисунок 32 – Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты

Подсистема «Funktion» реализует математическую функцию

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2 = 0,088 \cdot f^2$$

при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ (рисунок 30).

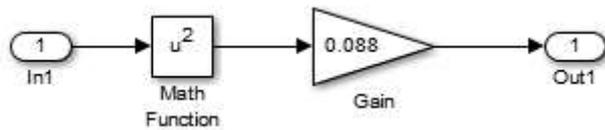


Рисунок 30 – Подсистема «Funktion» при законе регулирования

$$U_1/f_1^2 = \text{const}$$

Подсистема «AD» представляет собой модель асинхронного двигателя в двухфазной неподвижной системе координат с нелинейной «вентиляторной» нагрузкой насоса (рисунок 33).

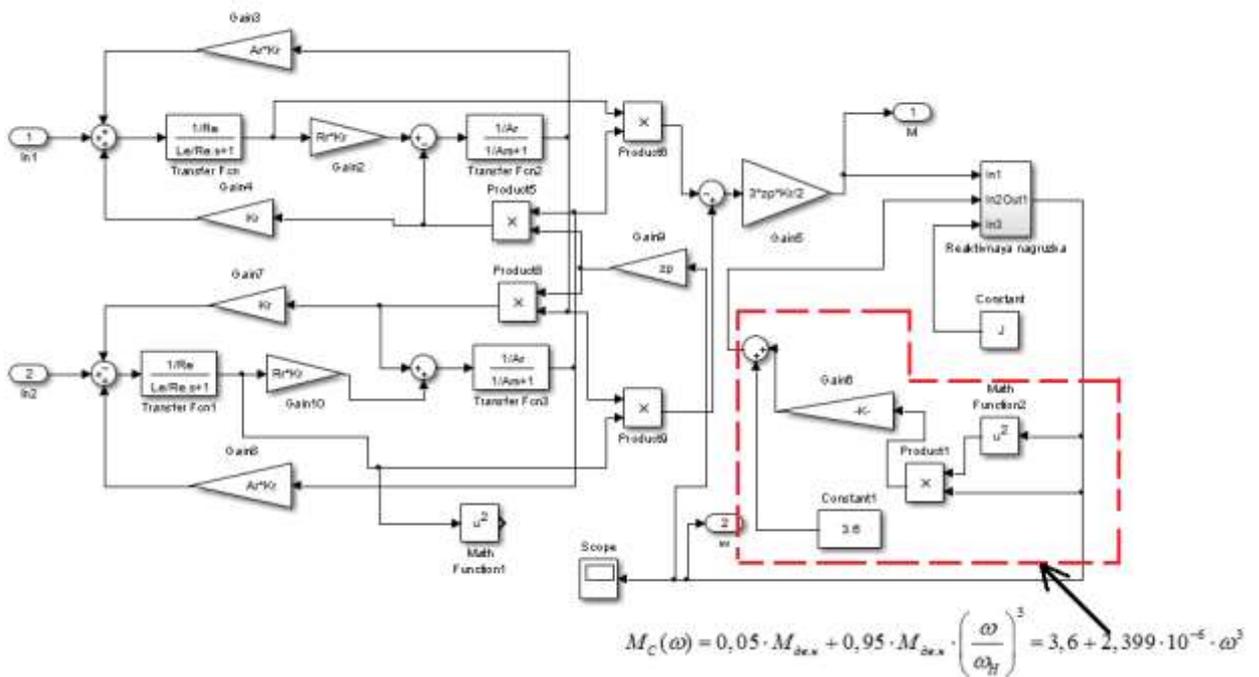


Рисунок 33 – Подсистема «AD»

```

%Параметры двигателя
f=50;
Rs=0.157;
Rr=0.154;
Ls_=0.419/(2*pi*f);
Lr_=0.568/(2*pi*f);
Lm=18.952/(2*pi*f);
p=2;
J=0.12; //эквивалентный момент инерции механической системы
Ls=Ls_+Lm;
Lr=Lr_+Lm;
zp=p/2;
Kr=Lm/Lr;
Re=Rs+Rr*Kr^2;
Le=Ls-Lm^2/Lr;
Uamp=220*sqrt(2);
Ar=Rr/Lr;

```

На рисунках 34–37 представлены переходные процессы скорости вала и электромагнитного момента асинхронного электропривода при пуске на частоты $f=50$ Гц; $f=40$ Гц; $f=30$ Гц; $f=17$ Гц.

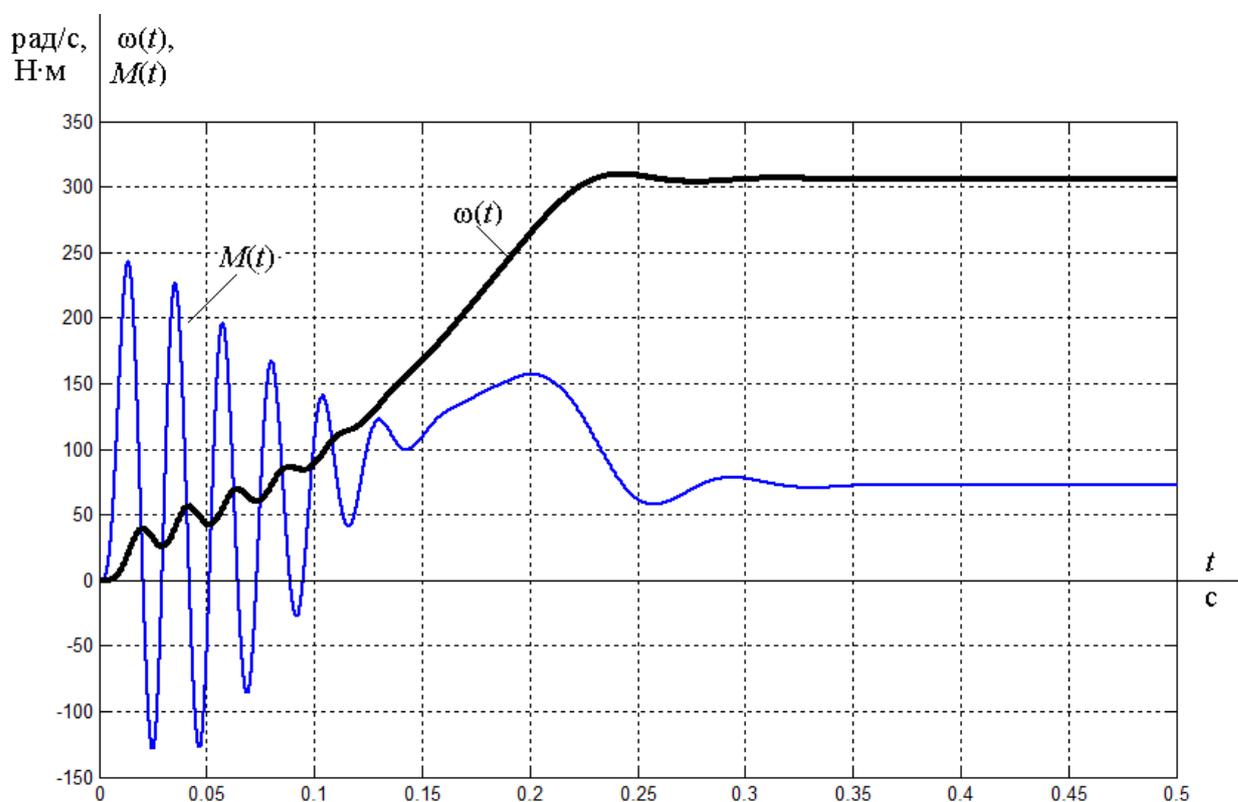


Рисунок 34 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=50$ Гц

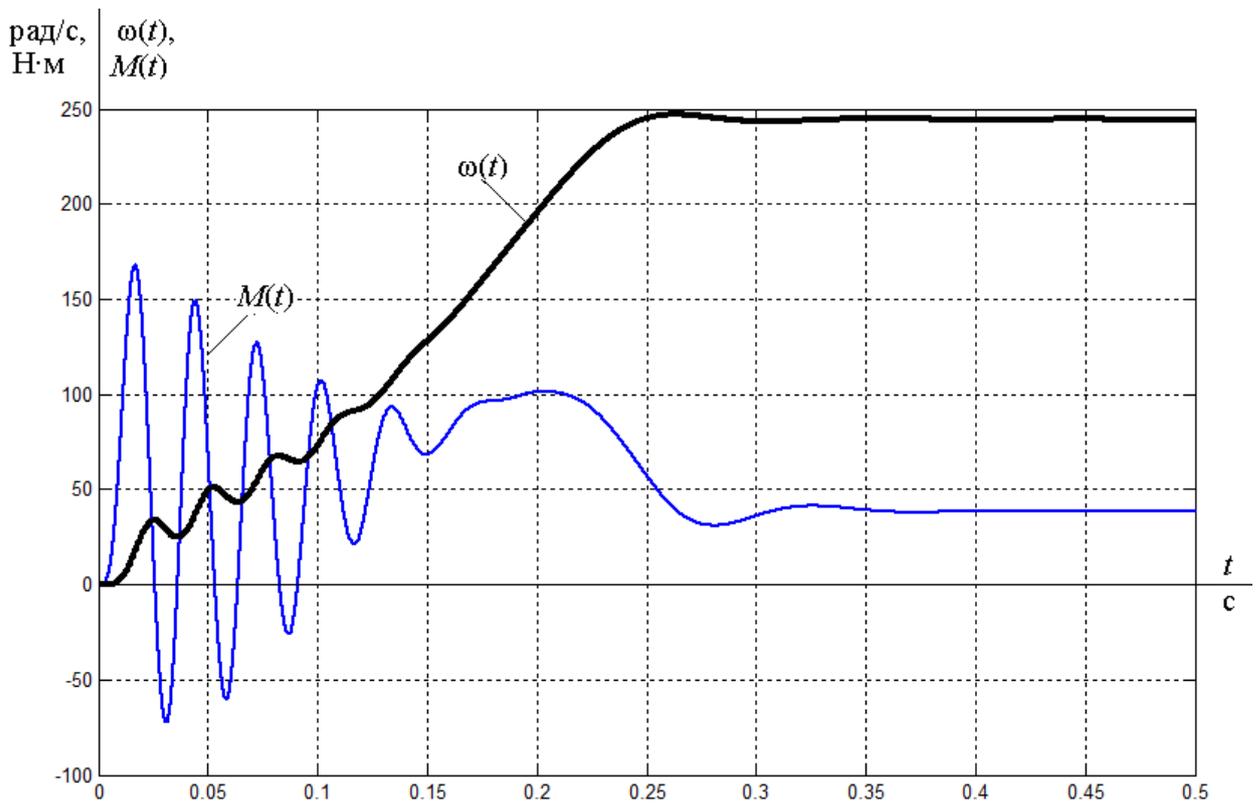


Рисунок 35 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2=\text{const}$ при значении частоты $f=40$ Гц

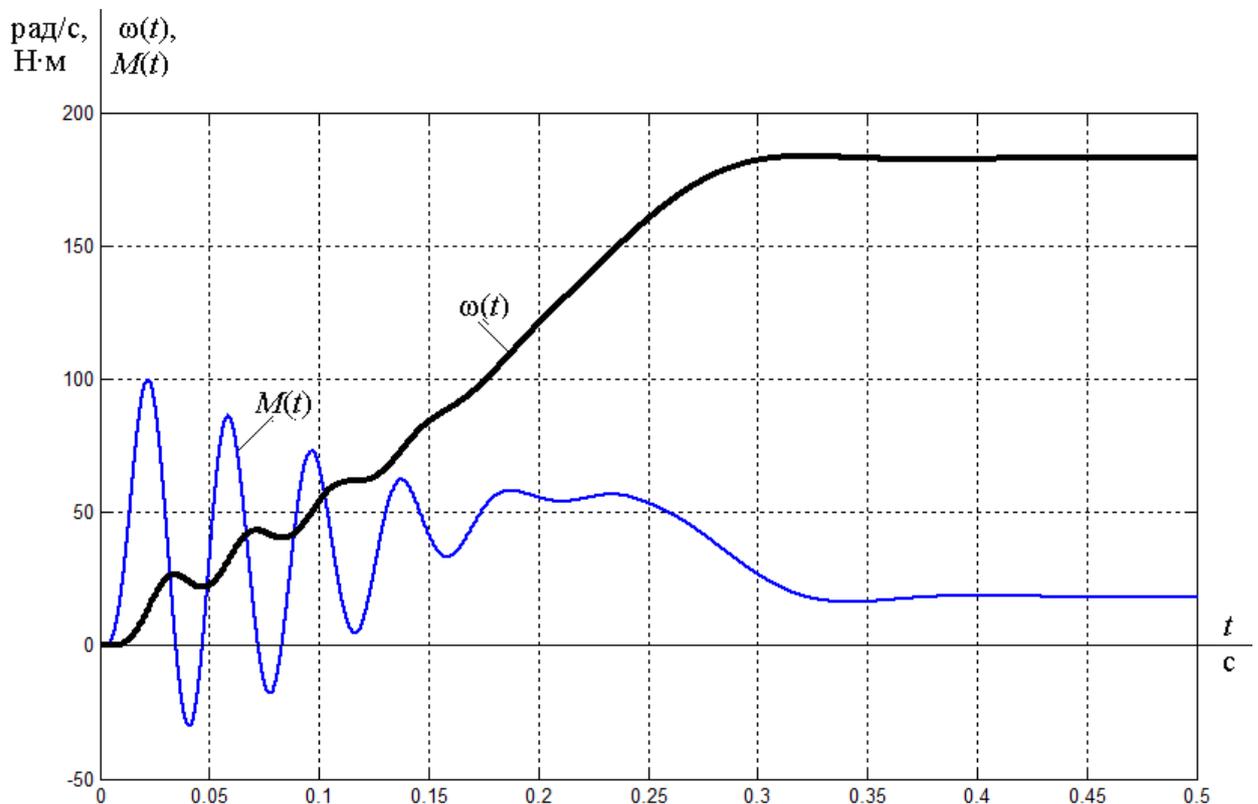


Рисунок 36 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2=\text{const}$ при значении частоты $f=30$ Гц

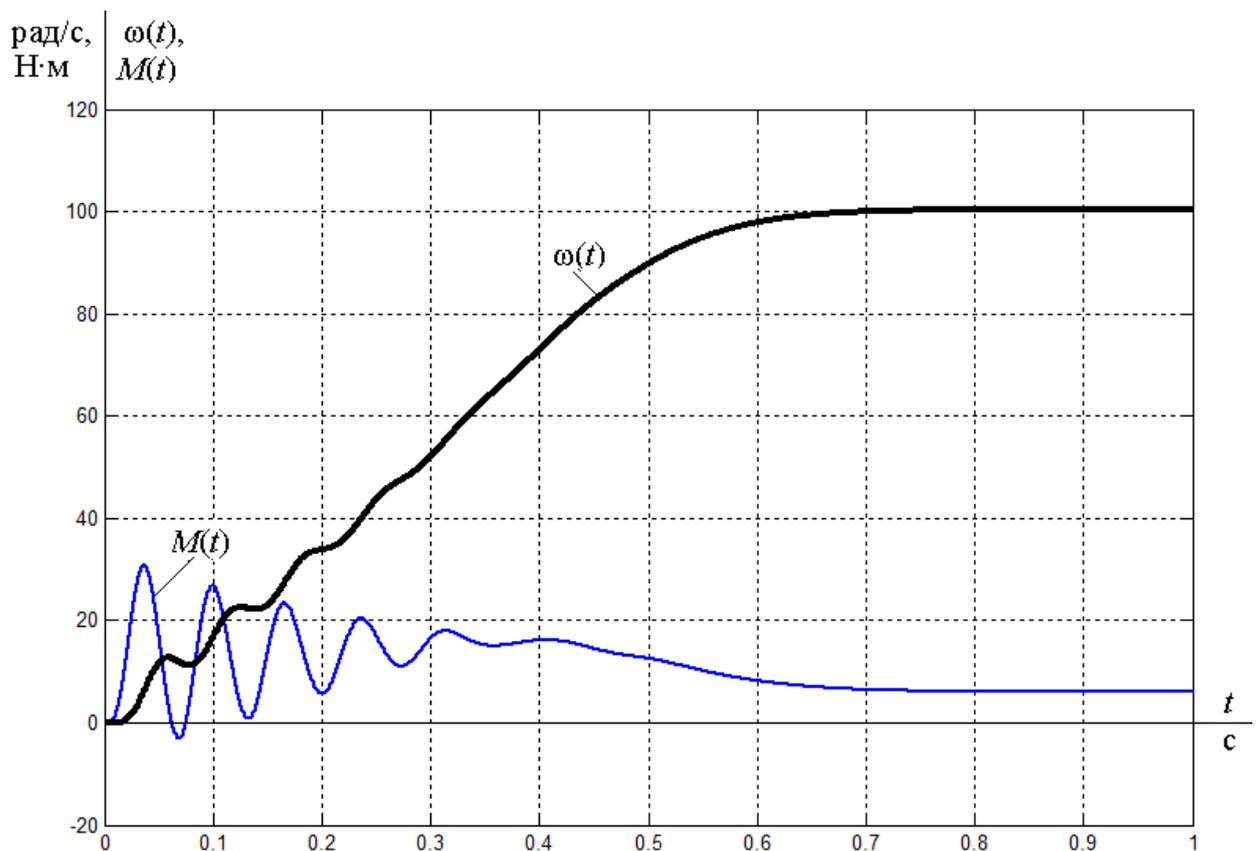


Рисунок 37 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f = 17$ Гц

Результаты моделирования пуска под нагрузкой при ступенчатом входном воздействии системы скалярного управления электроприводом свидетельствуют о возможности регулирования скорости двигателя в заданном диапазоне 1:3. Для уменьшения пусковых моментов рекомендуется применять систему плавного пуска с задатчиком интенсивности на входе электропривода.

12 Моделирование плавного пуска асинхронного электропривода со скалярным управлением

Имитационная модель асинхронного электропривода с S-образным задатчиком интенсивности на входе представлена на рисунке 38.

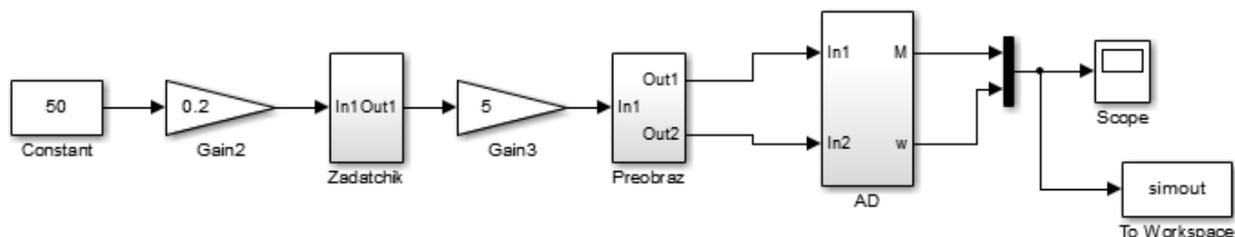


Рисунок 38 – Имитационная модель асинхронного электропривода с S-образным задатчиком интенсивности

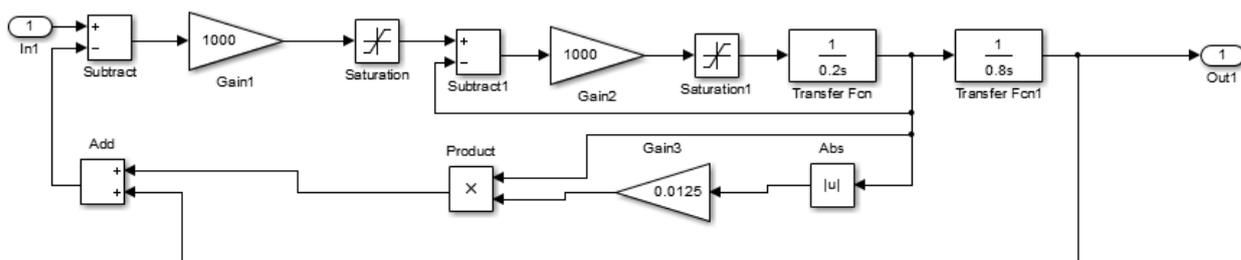


Рисунок 39 – Имитационная модель S-образного задатчика интенсивности

На рисунках 40–43 представлены переходные процессы скорости вала и электромагнитного момента асинхронного электропривода при пуске с S-образным задатчиком интенсивности на частоты $f=50$ Гц; $f=40$ Гц; $f=30$ Гц; $f=17$ Гц.

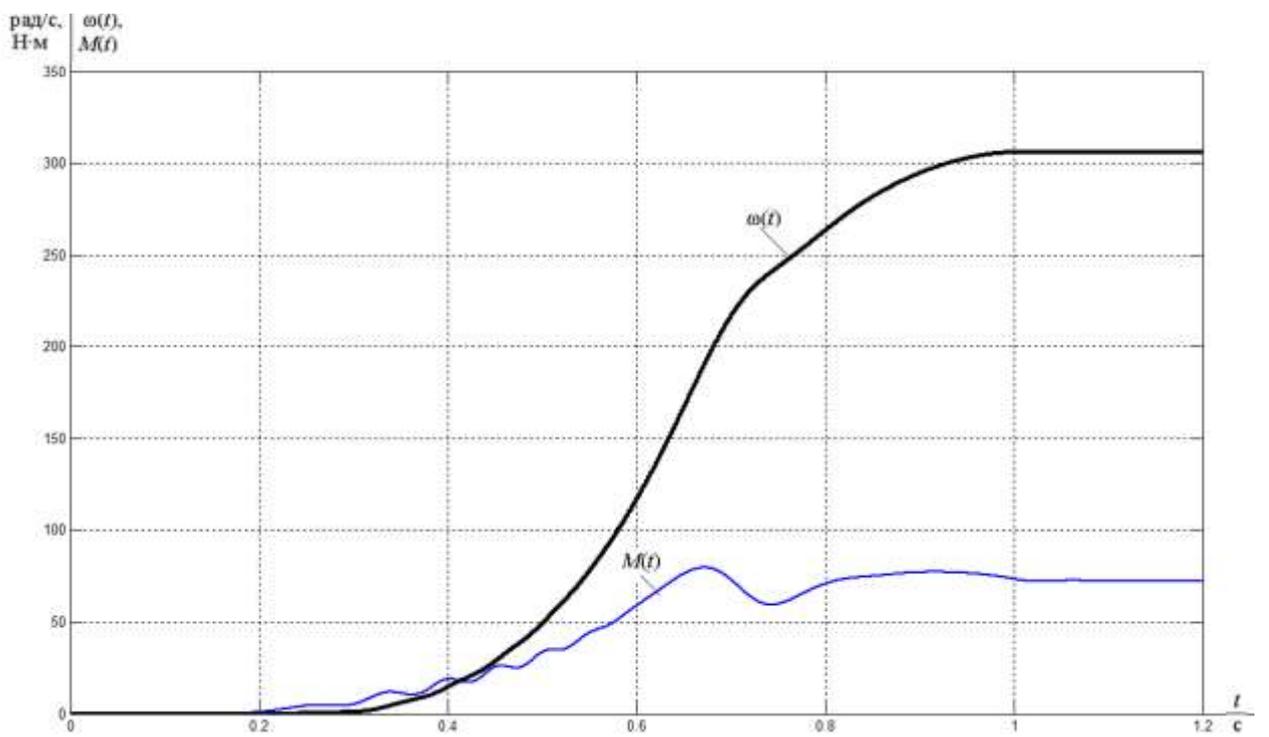


Рисунок 40 – Переходные процессы при пуске электропривода с S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f=50$ Гц

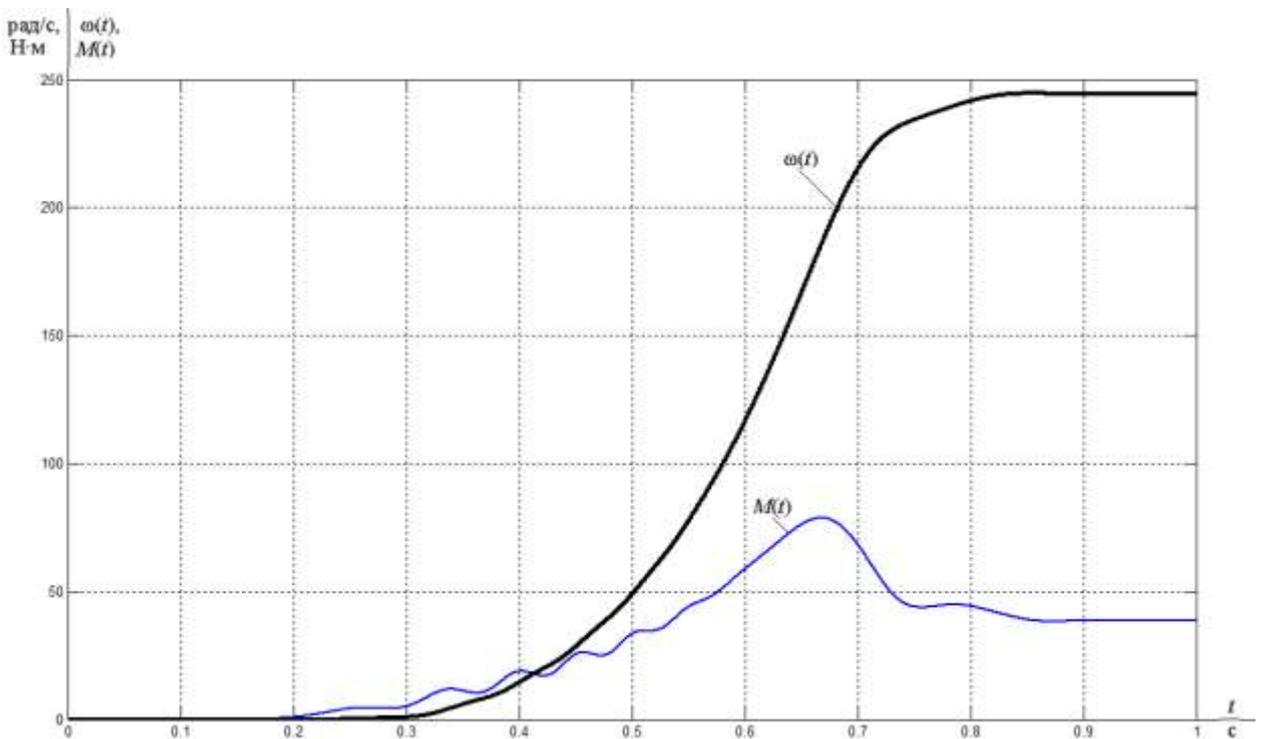


Рисунок 41 – Переходные процессы при пуске электропривода с S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f=40$ Гц

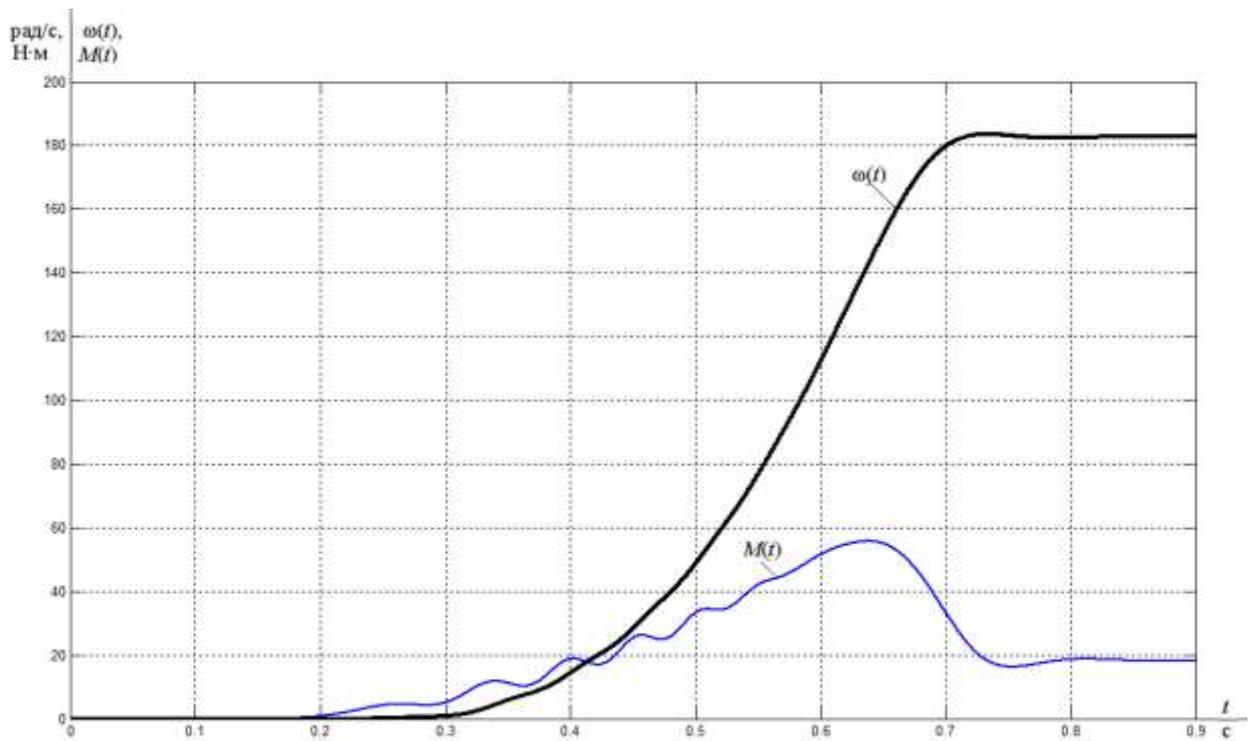


Рисунок 42 – Переходные процессы при пуске с S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f=30$ Гц

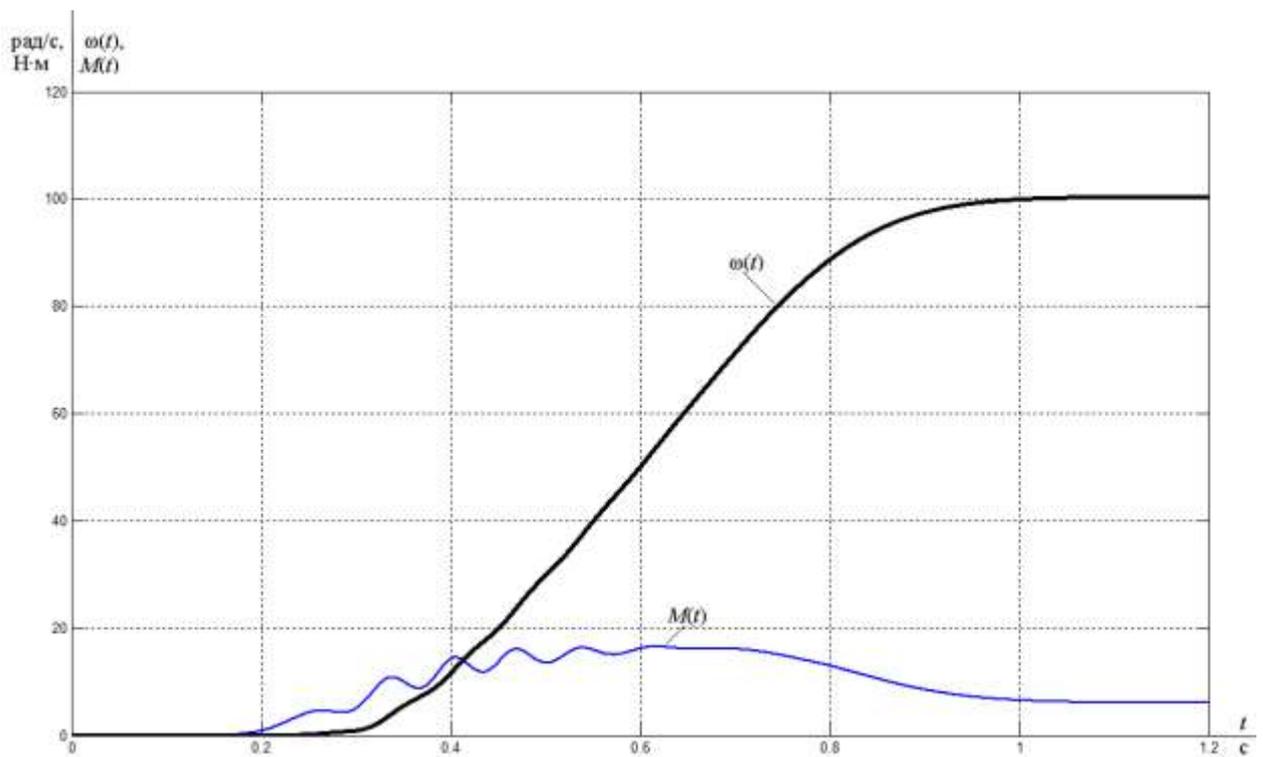


Рисунок 43 – Переходные процессы при пуске электропривода с S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f=17$ Гц

Сведём значения пусковых моментов в таблицу 9 для сравнительного анализа.

Таблица 9 – Значения пусковых моментов электропривода с задатчиком интенсивности и без него

	$f=50$ Гц	$f=40$ Гц	$f=30$ Гц	$f=17$ Гц
Без задатчика	243,5	168	100	30,8
С задатчиком	79,6	78,7	55,7	16,55

Сравнительный анализ результатов моделирования плавного пуска свидетельствуют о значительном уменьшении максимального значения момента двигателя – практически в два раза, а также об устранении колебательности этой переменной электропривода. Это позволит значительно уменьшить нагрузку на механическую часть системы двигатель – насосная установка.

13 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данной работы является определение экономических показателей проектирования электропривода насосной установки. Для этого необходимо провести анализ конкурентных технических решений, определить трудоемкость проводимых работ, создать график проведения работ, а также сформировать бюджет затрат.

13.1 Анализ конкурентных технических решений

Потенциальные потребители результатов исследования

На сегодняшний день, на рынке насосных станций, имеется ряд лидеров по обслуживанию компрессорного оборудования, среди которых, самые популярные ООО «JETEX» (г. Санкт-Петербург), ЗАО «Московский насосный завод №1» (МНЗ №1), ОАО «Насосный завод» (г. Екатеринбург). Проведем их сегментирование.

Таблица 10 – Сегментирование насосных станций

Классификация насосных станций	Критерии сегментирования				
	Месторасположение	Стоимость	Требуемое обслуживание		Постоянство в электроснабжении
Крупные					
Средние					
Мелкие					
ЗАО «МНЗ №1» (МСК)		ООО «Насосный завод» (Екб)		ООО «JETEX» (СПб)	

Из данной таблицы видно, что компания ЗАО «МНЗ №1» является лидером в обслуживании насосных станций. Основные сегменты данного рынка: стоимость, месторасположение, постоянство в электроснабжении, в требуемом обслуживании. Привлекательными сегментами этого рынка являются: месторасположение, большое кол-во потребителей, сложность конструкций.

Целью данного раздела является применение оценочной карты для выбора электропривода.

Объектом анализа будет являться электропривод насоса. Для того, чтобы наиболее точно провести анализ нужно использовать всю информацию, которая доступна о конкурентных разработках.

Для сравнения возьмем насосные станции двух компаний: ООО «JETEX» (г. Санкт-Петербург) и ЗАО «Московский насосный завод №1» (МНЗ №1), а также электропривод насосной станции, разрабатываемый в ВКР. Для сравнения были выбраны следующие технические критерии: энергопотребление, помехоустойчивость, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации, надежность и такие экономические критерии как: цена, послегарантийное обслуживание, заявленный срок эксплуатации.

Результаты приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Показатели оценки качества проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Разработка ВКР	Разработка МНЗ №1	Разработка «JETEX»	Разработка ВКР	Разработка МНЗ №1	Разработка «JETEX»
1	2	4	5	6	7	8	9
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Удобство в эксплуатации	0,09	5	0	0	0,45	0	0
2. Помехоустойчивость	0,12	5	5	5	0,06	0,06	0,06
3. Надежность	0,12	5	5	5	0,06	0,06	0,06
4. Уровень шума	0,12	5	5	5	0,06	0,06	0,06
5. Безопасность	0,094	5	4	4	0,47	0,376	0,376
6. Функциональная мощность	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
7. Простота эксплуатации	0,08	4	4	0	0,32	0,32	0

Продолжение таблицы 11

8. Возможность подключения к ПК	0	0	0	0	0	0	0
	Экономические критерии оценки эффективности						
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	5	4	5	0,45	0,36	0,45
2. Цена	0,076	4	5	4	0,304	0,38	0,304
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
4. Наличие сертификации разработки	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
Итого	1	53	46	43	3,22	2,62	2,36

Существует формула, при помощи которой мы сможем провести анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

В ходе проведения данного анализа было выявлено превосходство разрабатываемого электропривода относительно конкурентных компаний. Наиболее выгодно и эффективно при работе насосной станции будет использование агрегата данного типа.

13.2 SWOT – анализ

Одним из инструментов, позволяющим оценить потенциал проекта, является SWOT – Анализ. SWOT – анализ заключается в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: strengths – сильные стороны, weaknesses – слабые стороны, opportunities – возможности, threats – угрозы.

Результаты проведенного анализа сведем в таблицу 12.

Таблица 12 – Матрица решений

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Повышение производительности труда. С3. Высокий срок эксплуатации. С4. Надежность данной системы по сравнению с другими. С6. Универсальность схемы управления.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Высокая стоимость Сл2. Требуется переквалификация персонала Сл3. Сложности в устранении неполадок
Возможности: В1. Повышение спроса на дорогостоящие, но надежные и удобные преобразователи частоты В2. Увеличение спроса на данный тип электропривода насосной установки В3. Увеличение функциональной мощности	1. Упрощенная регулировка скорости вращения электропривода за счет преобразователя частоты 2. Увеличение эффективности перекачки жидкости за счет установки дополнительных фильтров 3. Возможность частичной автономии за счет множества дополнительных датчиков и системы управления	1. Высокая стоимость данного оборудования может склонить инвесторов и потребителей в сторону основных конкурентов. 2. Для эффективного использования возможностей ПЧ потребуется затратить много времени на переквалификацию рабочего персонала
Угрозы: У1. Нестабильность российской валюты У2. Повышение конкурентоспособности зарубежных аналогов за счет внедрения более современного оборудования У3. Нежелание руководящего состава энергообъектов переводить устаревшее оборудование на более современное У4. Дороговизна может отпугнуть некоторых потребителей	1. Возможности современного ПЧ позволят привлечь иностранных инвесторов, что нивелирует нестабильность валюты 2. Высокая надежность, удобность ПЧ и плавность регулирования скорости по давлению будут основными причинами для перехода на предлагаемую разработку.	1. Ввиду низкой зарплаты работников из-за нестабильности валюты персонал может отказаться от переквалификации 2. ПЧ дороги и требуют затрат на обслуживание и подключение дополнительных релейных защит, что может отрицательно сказаться на инвестициях в эту технологию

После проведения SWOT-анализа делаем вывод, что успех нашего проекта в основном зависит от того сможем ли мы заинтересовать потребителей в переходе на более современное оборудование, и выйдя на рынок, можем создать конкуренцию зарубежным аналогам, а также отбить желание покупать устаревшее оборудование.

13.3 Планирование научно – исследовательских работ

Планирование работ является важным аспектом при проектировании. Он позволяет выполнять проект точно в срок, а также позволяет довольно точно рассчитать заработную плату работников занимающихся проектированием. Над данным проектом работает команда из двух человек – руководитель проекта и проектировщик. Каждый из них выполняет свои обязанности, но некоторую часть работы они выполняют вместе.

Этапы работ представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Этапы работ

№	Описание работы	Исполнитель
1	Разработка технического задания	Руководитель проекта
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер-проектировщик
3	Подбор направления исследования	Руководитель проекта и инженер-проектировщик
4	Календарное планирование по теме	Руководитель проекта
5	Расчет параметров электродвигателя	Инженер-проектировщик
6	Выбор электродвигателя и преобразователя частоты	Инженер-проектировщик
7	Расчет параметров схемы замещения	Инженер-проектировщик
8	Моделирование	Инженер-проектировщик
9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель проекта
10	Разработка силовой схемы регулируемого электропривода и выбор аппаратуры управления и защиты	Инженер-проектировщик
11	Оценка результатов	Руководитель проекта
12	Обработка документации	Инженер-проектировщик
13	Составление отчета по проекту	Инженер-проектировщик

В ходе данного раздела работы был составлен перечень работ, необходимый для успешной реализации проекта. Как можно заметить, НИ будет содержать 13 основных этапов работ, разделенных между двумя исполнителями – инженером-проектировщиком и руководителем проекта. Данное планирование позволяет эффективно распределить трудовые ресурсы и практически полностью избежать растрат времени на согласование работ.

13.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, потому что зависит от многих факторов, которые очень трудно учесть. Для того, чтобы определить ожидаемое значение трудоемкости $t_{ожі}$ воспользуемся формулой:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}$$

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

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

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

После того, как были определены ожидаемые трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в днях T_p , за счет которой можно учесть параллельность выполнения работ одновременно несколькими исполнителями. Также сможем точно рассчитать заработную плату, так как удельный вес заработной платы в общей смете стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дней;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

Пример расчета трудоемкости и продолжительности работы №2:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2;$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{4,2}{1} = 4,2 \approx 4.$$

Данные по продолжительности работ сведены в таблицу 14.

Таблица 14 - Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни		T_{pi}		T_{ki}	
	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.
1	1	-	2	-	1,4	-	1	-	1	-
2	-	3	-	6	-	4,2	-	4	-	6
3	2	2	3	3	2,4	2,4	1	1	1	1
4	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
5	-	2	-	5	-	3,2	-	3	-	4
6	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
7	-	5	-	8	-	6,2	-	6	-	9
8	-	11	-	17	-	13,4	-	13	-	19
9	4	-	7	-	5,2	-	5	-	7	-
10	-	5	-	8	-	6,2	-	6	-	9
11	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
12	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
13	-	6	-	9	-	7,2	-	7	-	10

Таблица 15 – Итоги планирования работ

Общее количество рабочих дней для выполнения работы	62
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер-проектировщик	52
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель проекта	11

В данном пункте был рассчитан и построен календарный график выполнения работ (рисунок 44). Судя по графику, делаем вывод, что проектирование нужно начать 8 февраля и закончить 8 мая 2020 года.

13. 4 Бюджет научно – технического исследования (НТИ)

Для того, чтобы запланировать бюджет НТИ необходимо рассмотреть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. При формировании бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) Амортизация;
- 2) Заработная плата;
- 3) Отчисления во внебюджетные фонды;
- 4) Накладные расходы.

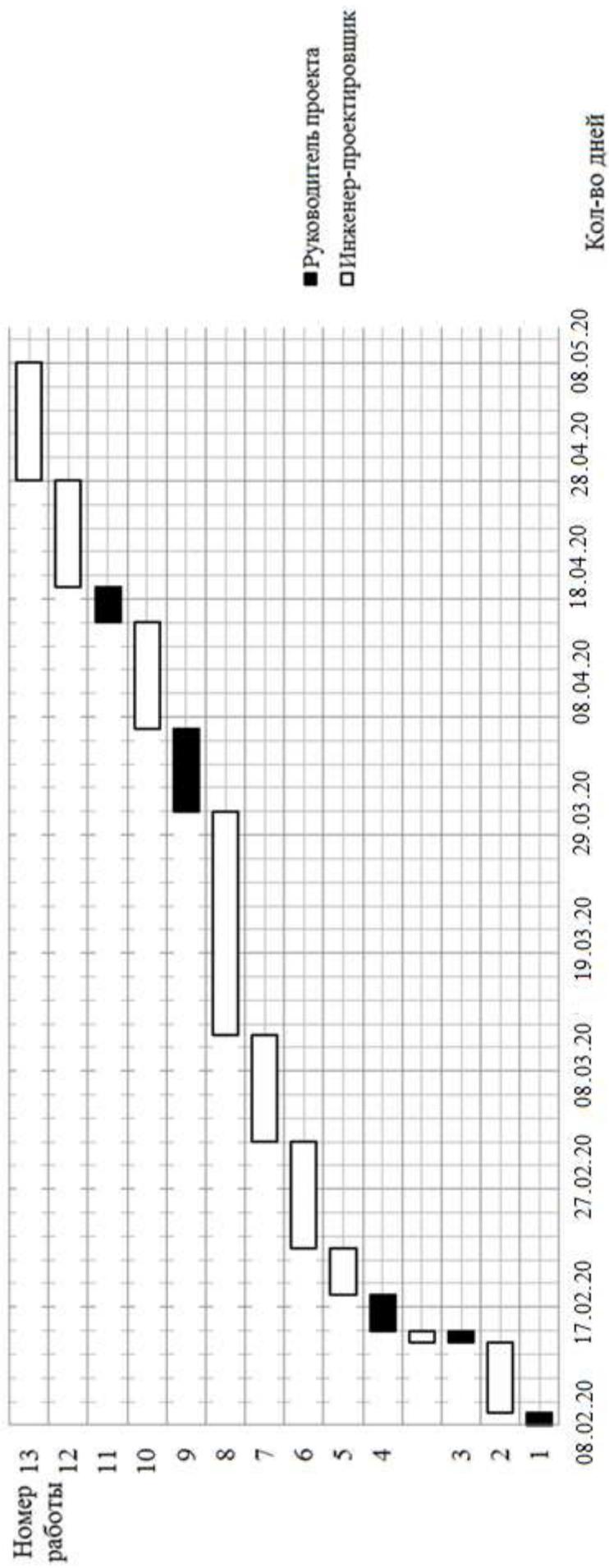


Рисунок 44 - График Ганта

Амортизация

В данном пункте будет рассчитана амортизация ноутбука, необходимого в работе над проектом.

Пусть срок эксплуатации ноутбука 3 года. Отсюда следует, что норма амортизации за месяц равна:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\%$$

$$K = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33\%$$

где n – срок полезного использования в годах.

Найдем амортизацию:

$$A = \frac{K \cdot I}{12 \cdot 30} \cdot m_p$$

$$A = \frac{0,33 \cdot 25000}{12 \cdot 30} \cdot 88 = 1191,7 \text{ руб.}$$

где I – итоговая сумма в тыс. руб.;

m – время использования в днях.

Основная заработная плата исполнителей

В этом разделе нам необходимо рассчитать основную заработную плату руководителя и проектировщика. Зарплата работников в первую очередь зависит от трудоемкости выполняемых работ, а также системы окладов и тарифных ставок. Также в зарплату включается премия, которая выплачивается ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. В нашем же случае премиальный коэффициент составляет 30% от зарплаты.

Статья включает основную заработную плату работников и дополнительную зарплату.

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ - основная зарплата;

$Z_{доп}$ - дополнительная зарплата (15% от $Z_{осн}$).

По формуле рассчитаем основную зарплату руководителя проекта:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

где T_p - продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб.дн.

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

Рассчитаем среднедневную заработную плату по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_{\partial}}$$

Для 5 – дневной недели (инженер-проектировщик):

$$Z_{дн} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.},$$

Для 6 – дневной недели (руководитель проекта):

$$Z_{дн} = \frac{40560 \cdot 10,4}{247} = 1707,8 \text{ руб.}$$

где Z_M - месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_M = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) \cdot k_p$$

Для руководителя проекта:

$$Z_M = 20800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 40560 \text{ руб.}$$

Для инженера-проектировщика:

$$Z_M = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где $Z_{мс}$ - зарплата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} - премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_{∂} - коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

k_p - районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_0 - действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб.дн.

Сведем расчет основной заработной платы в таблицу 16.

Таблица 16 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{мс}$, руб.	$k_{пр}$	k_{δ}	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель проекта	20800	0,3	0,2	1,3	40560	1707,8	11	18785,8
Проектировщик	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	52	90641,2
Итого:								109427

Дополнительная заработная плата исполнителей

По формуле найдем дополнительную заработную плату:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

Руководитель проекта: $Z_{доп} = 0,15 \cdot 18785,8 = 2817,87$ руб.,

Проектировщик: $Z_{доп} = 0,15 \cdot 90641,2 = 13596,18$ руб.,

где $k_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы.

Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды определим по формуле:

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

Руководитель проекта: $Z_{внеб.рук} = 0,3 \cdot (18785,8 + 2817,87) = 6481$ руб.,

Инженер-проектировщик: $Z_{внеб.инж} = 0,3 \cdot (90641,2 + 13596,18) = 31270$ руб.,

где $k_{внеб}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Суммарные отчисления: $Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 6481 + 31270 = 37750$ руб.

Накладные расходы

Накладные расходы – это прочие затраты организации. По формуле определим накладные расходы руководителя проекта и инженера-проектировщика:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4)$$

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (16414,05 + 1191,7 + 37750 + 109427) = 25781,7 \text{ руб.},$$

где $k_{\text{нр}}$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Формирование бюджета затрат научно – технического исследования

В основу формирования бюджета входит величина НТИ. При заключении договора с заказчиком, этот бюджет затрат проекта должен защищаться научной организацией. Он является нижним пределом затрат на разработку научно – технической продукции.

Таблица 17 – Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	%
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	109427	57,4
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16414,05	8,6
Амортизация	1191,7	0,6
Отчисления во внебюджетные фонды	37750	19,8
Накладные расходы	25781,7	13,5
Бюджет затрат НТИ	190600	100

Сформировав таблицу результатов, делаем вывод, что бюджет затрат НТИ равен 190600 руб. Как и упоминалось ранее, основной процент бюджета затрат НТИ составляет основная заработная плата – 57,4%, а самый малый процент занимает амортизация – 0,6%.

13. 5 Определение эффективности исследования

В результате выполнения задания данного раздела был проведен анализ конкурентных технических решений относительно существующих компаний. Далее был проведен SWOT – анализ, который помог нам оценить различные факторы и явления, влияющие на проект. С помощью данного анализа были выявлены положительные и отрицательные стороны нашего проекта.

Был составлен план – график выполнения работ каждого из участников: руководителя проекта и инженера-проектировщика. В итоге получили следующие данные: общее количество дней на выполнение проекта – 62 дня, общее количество дней работы инженера-проектировщика – 52 дня, а количество рабочих дней руководителя проекта – 11 дней.

Рассчитали бюджет НИИ, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 190600 руб.

Реализация электропривода насосной установки является очень актуальной для многих предприятий из-за уменьшения энергозатрат и улучшения микроклимата на рабочем месте.

14 Социальная ответственность

Целью данного раздела является обеспечение безопасности и экологичности лаборатории 253 8-го корпуса НИ ТПУ, в которой исследуется частотно – регулируемый электропривод насосной установки. В процессе проведения исследования происходит следующее: изучение теоретических материалов по дисциплинам электропривод и электрические машины, разработка и создание математической модели электропривода в компьютерной среде «Matlab», обработка и анализ результатов, полученных в процессе моделирования. Лаборатория площадью 77,6 м², имеет 12 рабочих мест с лабораторными установками и 3 персональных компьютера. В лаборатории работают заведующий лабораторией и лаборант.

Будет рассматриваться обеспечение необходимых условий труда (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросы экологической безопасности. Основным рабочим оборудованием для исследования электропривода является ПК с использованием программных средств. Логично будет рассмотреть соответствующие работе с ПК вредные и опасные производственные факторы, а также технику безопасности при работе с компьютером.

14.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые нормы трудового законодательства изложены в документе «Трудовой кодекс Российской Федерации». Согласно данному документу, виды специальных норм трудового права представляют собой следующее:

- Нормы-льготы, предоставляют дополнительные гарантии трудовых прав;
- Нормы-приспособления, подстраивают общие нормы к данным условиям труда;

- Нормы-изъятия, ограничивают общие права.

Особенности трудового законодательства, применительные к условиям выполнения исследовательской деятельности, изложенного в данной работе, дифференцируются в соответствии с условиями труда: тяжесть и вредность труда, климатические условия, прочие особенности труда.

Согласно «ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», место для работы за ПК и взаиморасположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. При компоновки рабочей зоны инженера следует учитывать следующие организационные мероприятия:

- Обеспечить высоту рабочей поверхности в пределах 680-760 мм, высоту поверхности с клавиатурой примерно 650 мм.
- Рабочее место с ПЭВМ, при работе, вызывающей значительное умственное напряжение, рекомендуется изолировать перегородками от других работников в помещении.
- Конструкция рабочего стола должна позволять осуществить оптимальное расположение необходимых предметов труда и оборудования, согласно требованиям, предъявляемым к рабочему процессу.
- Конструкция рабочего стула должна обеспечивать удобное положение тела человека в момент осуществления работ на рабочем месте. Рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола расположена в пределах 420-550 мм. При выполнении длительных работ с ПЭВМ рабочий стул должен обеспечивать возможность изменения позы с целью минимизации статического напряжения в позвоночном отделе опорно-двигательного аппарата.

14.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при эксплуатации частотно-регулируемого электропривода.

Таблица 18 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1. Высокие уровни шума		+	+	Требования к параметрам шума устанавливает СП 51.13330.2011. Производственная вибрация устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4.548-96 СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ПУЭ, утвержденный министром энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
2. Сильные вибрации	+	+	+	
3. Отклонение показателей микроклимата		+	+	
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

Высокие уровни шума и сильные вибрации

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды [14]. Источниками звуков и шумов являются вибрирующие тела. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление. Большое негативное воздействие этот фактор оказывает на отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Длительное воздействие вибрации на организм приводит к развитию профессиональных заболеваний, основным из

которых является – виброблезнь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Источником производственного шума и вибрации являются насосы, вентиляторы, фильтры. Для защиты от шума по СанПиН [2.2.4/2.1.8.562 – 96] и вибрации по СанПиН [2.2.4/2.1.8.566 – 96] предусматриваются [29]:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89;
- установка звукоизолирующих кабин;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

В лаборатории рядом с рабочим местом, источником шума и вибраций являются лабораторные установки. Для устранения этих факторов используются виброизолирующие резины под оборудование.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Принцип действия СИЗ – защитить наиболее чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и нервной системы от действия чрезмерного раздражителя. Наиболее эффективны СИЗ, как правило, в области высоких частот. СИЗ включают в себя противозумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения) и содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны должны быть в пределах санитарно-гигиенических норм, что обеспечивается ГОСТ 12.1.005-97ССБТ. В лаборатории применяется:

а) при незначительных перегревах воздуха и умеренных выбросах паров, - применение организованная естественная вентиляция;

б) при значительных уровнях теплового воздействия и выбросов загрязнителей - устройство принудительной вентиляции, обеспечивающее снижение температуры воздуха и концентрации загрязнителей до допустимых пределов притоком свежего воздуха в рабочую зону.

При невозможности достижения нормативных показателей микроклимата воздуха рабочей зоны должна обеспечиваться защита работников системами местного кондиционирования, воздушного душирования, средствами индивидуальной защиты, регламентом трудового процесса. Оптимальные и допустимые нормы микроклимата представлены в таблице 19.

Таблица 19 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, t°С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин t° _{опт}	Диапазон выше оптимальных величин t° _{опт}			Если t° < t° _{опт}	Если t° > t° _{опт}
Холодный	Іб	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0 - 25,0	15 – 75	0,1	0,2
Теплый	Іб	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0 - 29,0	15 - 75	0,1	0,3

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Основной нагрузкой, при работе с ПК является зрительная усталость. Утомляемость зрительного аппарата зависит не только от качества и контрастности изображения на экране монитора, но и от общей освещенности рабочего помещения. Освещение можно разделить на три вида – искусственное, естественное, совмещенное (искусственное и естественное вместе).

Естественное освещение помещений осуществляется посредством проникновения дневного света через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. Главной особенностью естественного освещения является его изменчивость в широких диапазонах в зависимости от времени дня и года, ряда других факторов. Естественное освещение в лаборатории – боковое, с тремя трехстворчатыми окнами высотой 150 см, шириной 210 см.

Искусственное освещение используется с целью проведения работ в темное время суток, а также в дневное время, при условии невозможности обеспечить нормированное значение коэффициента естественного освещения. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные светильники, в данном случае 10 штук, размер каждого составляет 60×60 см, которые располагаются над рабочими поверхностями равномерно [18].

При работе в помещении, где установлен компьютер, следующие требования: общая освещенность должна быть не ниже 300лк, а комбинированная – 750 лк; схожие требования распространяются на выполнение зрительных работ средней точности 200 и 300лк соответственно. Все объекты, находящиеся в поле зрения должны быть освещены равномерно. В случае выполнения исследования за ПК это означает то, что яркость монитора компьютера и общая степень освещения помещения должны быть примерно одинаковы. Т.к. яркий свет в районе периферийного

зрения увеличивает напряженность глаз, что приводит к быстрой утомляемости.

Поражение электрическим током

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [15], рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [21-24].

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками [28].

14.3 Экологическая безопасность

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения, азотистые соединения и др. органов дыхания человека; бытовая пыль; и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения.

Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещения, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки лабораторного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [26]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства оборудование ПК передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные светильники утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [27]. Люминесцентные светильники, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции.

Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

14.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В помещении, где производится выполнение ВКР, имеется групповая электрическая сеть на напряжение 220 В, которая предназначена для обеспечения потребителей электроэнергией. Нарушение правил эксплуатации электрооборудования может привести к короткому замыканию в электрической сети, в результате чего может произойти местное возгорание с последующим распространением очага, что понесет за собой материальный ущерб и угрозу жизни людей.

В корпусе 8 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации. На рисунке 45 представлен план эвакуации из лаборатории 8 корпуса ТПУ.



Рисунок 45 – План эвакуации людей на случай пожара

При пожаре на людей воздействует следующий ряд опасных факторов: высокая температура окружающей среды, открытые языки пламени, задымленность, токсичные продукты горения, обрушение облицовочных и несущих конструкций здания.

Согласно [16], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Т.к. рабочее помещение относится к категории Д (наличие твердых сгораемых веществ) необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия с целью минимизации рисков возникновения

возгораний и повышению качества процесса эвакуации, локализации и устранения пожара [14]:

- Организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- Эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- Технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационно-технические мероприятия:

- наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности;
- разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей;
- организация внештатной пожарной дружины.

Эксплуатационные мероприятия требуют от администрации объекта и персонала:

- Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- Обеспечение свободного доступа к оборудованию;
- Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;

- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [23].

14.5 Вывод по разделу

В результате выполнения раздела ВКР «Социальная ответственность» были проанализированы вредные и опасные факторы, воздействующие на инженера, в момент выполнения его работы в лаборатории (повышенный уровень шума, несоответствующий уровень освещения, загрязненность воздуха и др.). Были приведены необходимые нормированные документы обеспечивающие безопасную работу персонала. Описано действие факторов на организм человека, рассмотрены средства коллективной и индивидуальной защиты от данных факторов.

Рассмотрены вопросы защиты окружающей среды от воздействия частотно – регулируемого электропривода, в частности, влияние на атмосферу (загрязнение воздуха пылью), на литосферу (отходы от эксплуатации и утилизации) и на гидросферу (сброс отходов в городскую канализацию).

Также были рассмотрены вопросы по наиболее вероятной ЧС – пожару, а именно – требования по противопожарной безопасности, меры профилактики, а также действия персонала в случае ЧС.

Были предложены основные меры по профилактики и ликвидации воздействий пагубных факторов на организм человека. Отталкиваясь от всего вышесказанного в данном разделе, можно прийти к выводу, что, с точки зрения эффективности трудовой деятельности работника, правильная организация рабочего места играет колоссальную роль. Правильные условия труда способствуют повышению эффективности и производительности работ инженера, в то же время, обеспечивая его безопасность.

Заключение

В результате выполнения магистерской диссертации было проведено исследование статических и динамических характеристик асинхронного электропривода насоса.

В ходе выполнения работы по заданным техническим параметрам насоса были рассчитаны моменты сопротивления нагрузки, выбран асинхронный электродвигатель типа АИР, а также преобразователь частоты фирмы Danfoss, выполнен выбор релейно-контакторной аппаратуры, системы защит.

Ввиду нелинейно нарастающего характера «вентиляторной» нагрузки был принят скалярный способ управления двигателем с законом изменения частоты и амплитуды питающего напряжения. Так же были получены переходные характеристики в асинхронном электроприводе при пуске на разные скорости.

Разработанный электропривод удовлетворяет всем требованиям технического задания, обеспечивая заданный диапазон регулирования, а также плавность пуска путем применения задатчика интенсивности.

Список использованных источников

1. Медведев Г.Г., Дорохов А.Р. Введение в курс Насосы, вентиляторы, компрессоры. – Конспект лекций. Томск: Изд. ТПУ, 1998. – 64 с.
2. Ключев В. И., Терехов В. М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с., ил.
3. Семидуберский М.С насосы, компрессоры, вентиляторы. Учебник для техникумов. Изд. 4-е перераб. и доп. М., «Высшая школа», 1974 – 232с.
4. Современное состояние и тенденции в асинхронном частотно-регулируемом электроприводе (краткий аналитический обзор)/ Л.Х. Дацковский, Б.И. Абрамов и др.// Электротехника 1996. - №10. - С. 18-28.
5. Электронный каталог[Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о шкафах управления насосами URL:<http://www.aekc.ru/>
6. М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В. М. Терехов, А.В. Шинянский Основы автоматизированного электропривода. Учеб. Пособие для вузов. М., «Энергия», 1974. – 568 с.
7. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. М., «Энергия», 1972. – 240 с.
8. В.И. Ключев «Теория электропривода», М: Энергоиздат, 1998.
9. Электронный каталог[Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о насосе URL:<http://nasos.info/catalog.php?mode=view&id=6914>
10. Электронный каталог[Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о преобразователе частоты URL:<http://www.vesper.ru/catalog/invertors/ei-r7012/spec-7012>
11. Электронный каталог[Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о насосах URL:<http://realenergo.net/product/nasosi-serii-ci-6-50-prednaznachenye-dlja-raboty-v-diapazone-moshnostej-22-25-kvt/>
12. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

13. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
14. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»
15. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
16. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования»
17. СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
18. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
19. СНиП П-12-77. «Защита от шума»
20. СНиП 2.04. 05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
21. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
22. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда»
23. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»
24. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
25. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»
26. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных»
27. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 « Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств »
28. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».
29. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

30. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
31. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
32. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
33. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

Приложение А

Electric pump station

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM88	Горшенина Анна Игоревна		

Консультант школы отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

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

1 Introduction

Downhole pumps, also known as bore pumps, well pumps or bore water pumps, are a type of submersible pumps that are used to control water and liquid supply in various mining, farming, deep wells, rain water reticulation and petroleum capture applications. Most borehole pumps are designed for borehole and submersible pressure systems. Pumps vary in type depending on the depth of the well and the required working flow. Popular multistage bore pumps can be powered by Vasco variable speed drive controllers to sustain their set pressure and operate only when needed, saving energy and extending the life of the pump.

Pump components

There are seven major components for downhole rod pumps: standing and traveling valves, plunger, barrel, seating assembly, pull tube or valve rod (for insert pump), and the fittings that hold the assembled pump together. The most common of these components and the final types of assembled pumps are covered by American Petroleum Institute (API) Specification 11AX [1].

2 Types of pumps

API recognizes two main types of pumps: rod and tubing ones [2]. Rod pumps are also called insert pumps because they are run (inserted) in the production tubing. Tubing pumps are so named because the working barrel of this pump is coupled with the production-tubing string.

There is a wide range of plunger (or pump-bore) sizes standardized by the industry. The API pump-bore sizes that are currently available range from 1 1/16 to 3 3/4 in. in diameter. This 1 1/16-in. size has been added back in the latest edition of the standard. Additionally, a new barrel type has been accepted in the latest API Spec. 11AX. This is the "X-type" barrel. It has a thin-walled barrel configuration for threads on either end of the heavy-walled barrel and is available for metal plungers only. This type of pump does not require the extension couplings normally

needed for heavy-walled barrel pumps. Thus, this pump reduces the burst or collapse concerns of the thin-walled extension couplings and allows deeper producing depths to be attained.

3 API pumps and nomenclature

While there are only two main types of pumps standardized by API, there are four different types of rod pumps [5]. These are classified by the type of barrel (standing or traveling) and where the pump is anchored (top or bottom). *API Spec. 11AX*. shows the letter designations for the various types of rod and tubing pumps that are available for different barrel thicknesses and either metal or soft-packed plungers.

The complete pump designation of an API pump adds dimensional diameters and lengths to the letter designations. This has been modified in the latest revision to incorporate all approved sizes and barrel types along with separating the extensions into the top and bottom lengths, if required. The full API designation includes the following parameters:

- Nominal tubing size (from 1.9- to 4.5-in. OD) - represented with 2 digits;
- Basic bore diameter (from 1.0625 to 3.75 in.) - represented with 3 digits;
- Type of pump (rod or tubing) - R or T to indicate its type;
- Type of barrel (heavy, thin, or X type) - single alpha character to represent the barrel type;
- Seating-assembly location (top or bottom) - A (for top), B (for bottom), or T (for bottom, traveling barrel);
- Type of seating assembly (cup or mechanical) - C or M to indicate type;
- Barrel length (ft) - single digit length;
- Nominal plunger length (ft.) - single digit length;
- Length (in.) of upper extension (if required)- single digit length;
- Length (in.) of lower extension (if required)- single digit length.

API Spec. 11AX. shows that, for example, a 1¼-in. bore-rod-type pump with a 10-ft heavy-walled barrel, a 2-ft upper extension, a 2-ft lower extension, a 4-ft plunger, and a bottom-cup-type seating assembly that will be used in 2 3/8-in. tubing would be designated as 20-125-RHBC-10-4-2-2.

It is important to know that the users of API pumps need to provide, along with the pump nomenclature, the following ordering information: barrel and plunger material, plunger clearance (or fit tolerance), and valve (ball and seat) and fittings material. Materials for these components are now included in the latest version of the API Spec. 11AX.

4 Non-API and specialty pumps

The types of pumps, sizes, and component materials that are included in the API standards are based on the best industry practices that meet widespread industry needs. While API standardizes the majority of pumps and components that are used in sucker-rod lift, there are special parts and pumps that have been developed by manufacturers to try to solve specific pumping problems. This specialty equipment should be considered when best industry practices and standardized components have proved unacceptable ones. However, the manufacturer of these components should create all parts to the same quality level required in API Spec. 11AX. Special pumps are of the following types: casing pump for production without tubing; pumps with two plungers that act in series to increase displacement; high-compression plunger assembly or pump for handling gas- interference problems; three-tube pump for handling fines or solids; pumps with a shorter barrel than normally recommended, so that the plunger completely wipes solids free of the barrel and prevents sticking.

Additionally, there are special pump components, such as valve rods, valves, and tubing drains, that are sometimes beneficial in situations in which the capabilities of normal API pumps and components have been exceeded. The

manufacturer of special, non-API pumps and components should be contacted to determine the working capabilities and limitations of any of these specialty components. However, these items should be selected with care and used after testing to standards.

5 Materials selection

API Spec. 11AX was modified to add not only new sizes and types of pumps with new quality, inspection, and tolerance requirements, but also standardized, widely used pump-component materials. Various material descriptions, their API identification symbol, surface condition, base core hardness, base material, and base-material minimum yield strength for plated barrels, are shown in Table A Spec. 11AX [1]. Similar tables in Spec. 11AX (B through I) are incorporated for case-hardened barrels, nonhardened barrels, balls and seats, cages, pull tubes, valve rods, fittings, seating cups, spray-metal plungers, and plated plungers. These changes have incorporated the prior information in API RP 11AR and the NACE International MR 01-76 for materials to be used in the most production environments.

6 Allowable setting depth

In the early 1990s, an industry task group analyzed the stresses that react on a downhole rod pump. This was required to determine if there were recommended allowable loads that could be subjected to rod pumps of different types, sizes, and metallurgy. This group developed the burst, collapse, and axial-loading equations to determine these limits and the associated maximum recommended setting depth for sucker-rod lift pumps, published in API RP 11AR. The depth limitation and stresses on the downhole pump barrel and components should be considered when selecting the size, type, and metallurgy for a downhole pump.

7 Slippage past plungers

The slippage or leakage past a plunger on a closely fitted sucker-rod pump is an important factor in properly designing and operating a well. Slippage or leakage can be calculated using the following equation, adapted from the 1987 edition of the Petroleum Engineering Handbook.

$$Q = (1,540,000 \times D \times p \times L_p \times C^3) / (\mu^*), \dots\dots\dots(1)$$

in which Q = slippage or leakage loss, in.3/min; D = plunger diameter, in.; P = differential pressure across plunger, psi; C = diametrical clearance between plunger and barrel, in.; μ = absolute viscosity of fluid, cp; and L_p = plunger length, in.

Tight clearances (less than 0.003 in.) may cause producing problems, whereas loose clearances (greater than 0.008 in.) may result in excessive leakage by the pump. Good field-pump records are essential to make good pump recommendations.

Slippage in sucker-rod pumps takes two forms: static and dynamic slippage.

- Static slippage is the dominant factor and occurs only during the upstroke of the pump; it is caused by the pressure differential across the plunger-barrel fit. The high hydrostatic pressure presented in the tubing string, acting on top of the plunger with the traveling valve closed, forces liquid to slip past the plunger into the pump chamber between the traveling and the standing valves.

- Dynamic slippage, on the other hand, takes place both on the up-, and the downstroke of the pump and is caused by the plunger's movement; its magnitude being proportional to the plunger velocity i.e. the pumping speed used. The direction of liquid slippage is different for the up-, and downstroke: during upstroke liquid falls below the traveling valve while during the downstroke liquid flows upwards and decreases the amount of liquid passing through the traveling valve. An extensive series of theoretical and experimental investigations on pump slippage resulted in the following main conclusions.

- Early formulas greatly overestimate the amount of liquid slippage. Typical values, based on experimental data are about two times greater for plunger fits less than 0.006” and more than three times greater for fits larger than 0.006”. This implies that pumps with fits larger than those selected on the basis of earlier predictions can be used without experiencing too high pump leakages.

- The eccentricity of the plunger’s lateral position in the barrel has a great effect on liquid slippage also proved by a fact that most previous formulas are disregarded. For a completely eccentric position leakage rates 2.5 times greater than for concentric cases can be expected.

- Most previous correlations disregarded the effect of dynamic leakage in the pump.

8 Compression ratio

Increasing the "compression ratio" of a plunger pump may reduce the effects of free gas and help prevent gas locking. The compression ratio is the volume of the pump chamber at the start of the downstroke divided by the volume at the end of the stroke. This ratio is fixed by the manufacturer on the basis of the design of the rod pump's components and the fit of the plunger to the pump barrel. Varying the sucker-rod pump components and close spacing will alter the compression ratio; however, some of these components are not standardized by the API Spec. 11AX. This can increase waste space in the pump, resulting in a decreased compression ratio. The importance of the compression ratio and associated waste space may prevent a new pump from being able to pump down a well.

Selection of subsurface rod pumps

Pumps for sucker rods are characterized by parameters that depend on the well, operating conditions of the pump. These parameters include well depth, bottomhole temperature, fluid viscosity, amount and size of particulates in the produced fluids, produced-fluids corrosivity, required production rate vs. pump

capacity. The listed pump parameters are dependent on stresses on the pump, type of pump used, component metallurgy, pump size. Coordination of these pump parameters with the manufacturer and the pump shop should determine the life of the pump.

Pump sizing

The choice of a downhole pump is determined by two factors. First, pump capacity should depend on well volume. The volume of the pump depends on the speed of rotation, length and stroke of the plunger. This general equation is

$$P_D = 0.1166 \times S \times N \times D^2, \dots\dots\dots(2)$$

in which PD = pump displacement, BFPD; 0.1166 = a volumetric conversion; S = stroke length, in.; N = pumping speed, spm; and D = diameter of the pump plunger, in.

The stroke length (Sp) indicates the maximum capacity for a particular pumping. It is calculated using a special computer program.

The recommended relationship of pump displacement to well capacity (WC) is as follows:

$$(W_C/0.85) \leq P_D \leq (W_C/0.65) . \dots\dots\dots(3)$$

It follows from the formula that for a well with a production of 100 BFPD, various parameters must be selected to ensure a pump displacement from 118 to 154 BFPD. Due to the fact that the working volume of the pump is greater than the productivity of the well, it is necessary to regulate the pump to avoid overfilling the well. Increased pump performance allows for unit wear and loss of efficiency. When this happens, the control system should provide further work without overloads. Production efficiency can be increased by increasing the diameter of the pump. However, this will also increase the maximum torque of the pump unit and the load on the rods. You should optimally select these pump parameters.

The second aspect of pump sizing, once the pump diameter is selected, is ensuring that the downhole pump is properly built. The main component that needs

to be sized is the barrel length, which should be long enough to accommodate the plunger length, the downhole stroke length, all fittings, and a rounding factor.

The minimum plunger length recommended is normally 3 ft. It is recommended that the length of the plunger is increased 1 ft/1,000 ft of well depth, up to a 6-ft maximum length. Plunger lengths longer than 6 ft have not shown to be an advantageous, while specialty pumps may have a plunger shorter than 3 ft.

Typically, the maximum stroke length of the pump unit is chosen so that it is possible to increase the productivity of the well without removing the pump. Moreover, this extra length increases the cost of the pump.

Standard lengths depend on the type of pump used and range from 12 to 18 inches. The final factor for determining pump length is the rounding factor. After summing all the factors, the barrel length increases to the nearest larger standard footage. Using the surface stroke length as a rounding factor will help ensure that the barrel length necessary for operators.

9 Pump operating problems and solutions

There are four problems for borehole pumps: overpumping the well, pump hitting up or down, gas interference, trash entering the pump.

Since the design of the pump implies a productivity greater than that of a well, well overflow is possible. This will happen if there is no control over the well. An overflow is seen when the pump is filled with liquid when pushing down more than a quarter of the way. Overflow can be detected with a dynamometer. Overflow is seen when examining the fluid level in the well when the level is close to the pump inlet. Overfilling a pump can cause mechanical damage. Installing a well level controller will help avoid overflow.

Gas interference detection has low efficiency. A dynamometer can indicate the presence of a gas shutter. The presence of gas interference can be eliminated by increasing the degree of compression of the pump. It may be necessary to draw out

the pump and change its design, namely the stroke length. When designing a pump, the proper placement of the inlet must be considered.

If the usual solutions do not solve the problem, it is possible to use special pumps or special components for the pump unit.

It is possible to determine the hit of a pump component one stroke up or down by a dynamometer. This occurs when the pump is not sufficiently compressed. It is possible to hear a tapping. When dismantling the pump, the degree of damage will be detected.

The last normal operating problem is caused by solids entering the pump. There are many reasons for these particulates. The particulates may be caused by well conditions such as producing the fracturing sand back into the wellbore, very fine powder from the formation, iron sulfide scale from the downhole equipment because of inadequate corrosion inhibition, iron sulfide or other scales from the formation because of incompatible fluids, or from overpumping the well. Solutions include using different types of pumps designed to handle fines and solids, such as three-tube pumps or soft-packed plungers, and using harder materials or coatings for the pump components. Filters or downhole, wire-wrapped screens have been used with limited success until they plug. In the past, tighter fit tolerances (< 0.003 in.) for the plunger-barrel annuli have been considered; however, recent work done in both the laboratory and the field, has shown the benefit of increasing these tolerances to greater than 0.005 in. when solids are a problem. This work has resulted in the variable-slippage pump that would be useful for conditions in which solids are present in the produced fluids. Gas interference is also a problem.

10 Pump shop, repair, and audit

Pump manufacturers receive components for future assembly by the pump shop. Knowledge of the design, selection of components, selection of the type of pump are important for well life and reducing failure rates. API RP 11AR provides

the necessary information on calculating the pump installation depth, component selection and metallurgy.

Pump manufacturers usually build on existing standards when creating components (ISO 9001 or API Spec. Q1). However, most pump shops do not comply with these standards. Under these conditions, it is important that qualified personnel carry out inspections of pump shops. As a result of the checks, a checklist was compiled, which should be used to select the pump shop. After the audit, the results should be discussed with the workshop staff.

Nomenclature

C = diametrical clearance between plunger and barrel,
in.

D = plunger diameter, in.

L_p = plunger length, in.

N = pumping-unit speed, spm

p = differential pressure across plunger,
psi

P_D = pump displacement, BLPD

Q = slippage or leakage loss, in.³/min

S = surface stroke length, in.

W_C = well production capacity, BFPD

11 Relative advantages and disadvantages of artificial lift systems

11.1 Advantages

Rod Pumping

The advantages of the rod include a relatively simple design, low pressure

during pumping, and the absence of corrosion and scale.

Hydraulic piston pumping

Can lift from as deep as 18,000 feet (5486 m), can produce 500 B/D (79.49 m³/d) from 15,000 feet (4572 m), crooked holes present minimal problems depending on the model of pump being used, installations can be analyzed, Flexible. Normally able to match output to delivery of well, can use diesel, downhole pumps can be installed /retrieved using the power fluid, capable of producing a well to low formation pressures (pumped off), can be used on offshore platforms, can use any liquid for power fluid. Typically a liquid being produced from the well is used (water or oil), easy to pump in cycles depending on the model of pump being used, power fluid can be heated to reduce viscosity of produced fluid, additional liquids can be mixed with the power fluid (such as diesel) for this purpose also, inhibitors can be mixed with the power fluid for the purposes of controlling corrosion, scale, emulsions, etc.

Electric submersible pumping

Production is possible from small (750 barrels per day) to extremely high (20,000 barrels per day) volumes of fluid in small wells. Possible use at sea. Easily processed scale and corrosion [3]. Execution in various sizes.

Gas Lift

It is possible to produce large volumes of liquids with solid impurities. Continuous production of 50,000 barrels per day. The plunger lift flexibly changes from continuous to intermittent. Possible work with curved wells and offshore production. Not subject to corrosion.

Hydraulic jet pump

It is possible to climb from a depth of 20,000 feet. Capacity up to 25,000 barrels from 5,000 feet. The pump can be removed from the well using a working

fluid. There is no blockage when sand enters. Possible use in offshore wells. Easy to install by qualified personnel. The working fluid may be heated to reduce viscosity. To do this, the working fluid can be mixed with additional fluid (for example, diesel). Inhibitors may be added to reduce corrosion.

Progressive cavity pumps

Some types are retrievable with rods [4]. The cost is moderate. The profile is low.

Continuous belttransportation

Very low cost of operation. Low cost of installation. Oleophilic belt collects only heavy oil. Optimal application for high GOR, high viscosity, high sand and paraffin wells. Increased production of stripper, marginal, and orphaned wells. Lower environmental impact, no disposal of radioactive rods or hazardous fluids. Minimal water reclamation. Unobtrusive in urban locations.

11.2 Disadvantages

Rod Pumping

The production of liquids with a high content of solid impurities is difficult. The depth of production is limited. Bulky in offshore production. Sensitive to paraffin problems. Gas wells reduce production.

Hydraulic piston pumping

Oil systems are at fire risk. They have the same problems with gas and sand, as well as rod pumps. It is possible to install ventilation to exhaust gas from the pump. Such systems, however, are of great value. Field troubleshooting requires qualified personnel. Leakage of engine oil to lubricate the engine is an environmental hazard. The use of a water supply system reduces this danger.

Electric submersible pumping

High voltages (1,000 V) are necessary. Impractical in shallow, low volume wells. Lack of production rate flexibility. Casing size limitation.

Gas Lift

Safety problem with high pressure gas.

Hydraulic jet pump

Uses impulse transmission to do useful work. This is a very inefficient way to transfer energy. The overall system efficiency is about 10-30%. If more liquid is pumped through the pump than planned, cavitation is created. The lower the back pressure, the better the performance. Power oil systems are fire hazardous. An oil leak is an environmental hazard. It is necessary to install a water supply system. Qualified personnel are required to install the system and troubleshoot.

Plunger lift

May not take well to depletion; therefore, eventually requires another lift method.

Progressive cavity pumps

Polymers in the stator are collected in downhole fluids. Pump off control is difficult. Sand and solids quickly wear chrome off of a rotor.

Continuous belt transportation

Limited to 500B/D (79.2 m³/d) from 12123 feet (4000 m). Not suitable for high volume production wells. Cannot be used on offshore platforms. Optimal only for medium, heavy and very heavy oil. Limited to wells deviated less than 5 deg. depending on well bore configuration.

References

1. API SPEC 11AX-2019 Specification for Subsurface Sucker Rod Pump Assemblies, Components, and Fittings.
2. Gabor Takacs. Sucker-rod pumping manual. - Budapest: Pennwell Corp, 2004. - 395 p.
3. Gabor Takacs. Electrical Submersible Pumps Manual. - Budapest: Gulf Professional Publishing, 2009. - 440 p.
4. Lev Nelik and Jim Breman ; Progressing cavity pumps, downholes pumps and mudmotors. - Berlin: Elsevier Science, 2013. - 328 p.
5. Robert L. Sanks. Pumping station. - Kansas City: Butterworth-Heinemann, 2005. - 976 p.