

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СКВАЖИННОЙ НЕФТЕДОБЫЧИ
--

УДК 62-83:622.276.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АБК	Борисенко Татьяна Евгеньевна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника				

Томск – 2020 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**»

Инженерная школа энергетики
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки (специальность) 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Борисенко Татьяне Евгеньевне

Тема работы:

«Электротехнологическая установка для скважинной нефтедобычи»

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов,</i></p>	<ol style="list-style-type: none">1. Выбор погружного электрооборудования и согласование его параметров.2. Проверка работоспособности выбранного оборудования.3. Составление системы дифференциальных уравнений и структурной схемы математической модели погружного асинхронного двигателя.4. Исследование переходных режимов при прямом пуске электроцентробежного насоса
--	--

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	без преобразователя частоты. 5. Составление функциональной схемы частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением. Исследование переходных режимов при частотном пуске электроцентробежного насоса без задатчика интенсивности и с задатчиком.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Графики переходных режимов асинхронного электродвигателя. Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора Игнат Валерьевич
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:
Все разделы выпускной квалифицированной работы написаны на русском языке.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.12.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Борисенко Татьяна Евгеньевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Борисенко Татьяна Евгеньевна

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02. 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>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости рынка; Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ (количество исполнителей - 2 человека)
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30% премии, 20% надбавки, 16% накладные расходы, 13% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	27,1% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	SWOT - анализ по разработке проекта модернизации электропривода УЭЦН
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: -определение структуры работ; -определение трудоемкости работ; -разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); -отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В,			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Борисенко Татьяна Евгеньевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Борисенко Татьяна Евгеньевна

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

Тема ВКР:

«Особенности работы погружных электродвигателей для нефтедобычи в осложнённых условиях»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Главным объектом рассмотрения исследования является – погружной электродвигатель, который является приводом электроцентробежных насосов, преобразующим электрическую энергию, которая подаётся по силовому трёхжильному кабелю сверху в зону подвески установки, в механическую энергию вращения насосов. Рабочая зона – щит управления оператора в помещении станции управления. Область применения – установки ЭЦН на нефтедобывающих скважинах.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 27.12.2018); ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное.; ГОСТ 12.0.003-2015 ГОСТ 12.1.002-84 СанПиН 2.2.4.3359-16 ГОСТ 12.1.030-81 ГОСТ Р 22.0.01-2016</p>
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Анализ выявленных вредных факторов: – отклонение параметров микроклимата в помещении; – недостаточная освещённость рабочей зоны; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – повышенный уровень вибрации на</p>

	<p>рабочем месте;</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень электромагнитного излучения; – повышенная загазованность воздуха рабочей среды. <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – опасность при работе с движущимися частями оборудования – поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	<p>Анализ воздействия объекта на:</p> <ul style="list-style-type: none"> – атмосферу; – гидросферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – природного характера: паводковые наводнения; лесные и торфяные пожары; ураганы, метели и снежные заносы. – техногенного характера: прекращение подачи электроэнергии; пожар на объекте; нарушение герметичности аппаратов и трубопроводов, пропуск сальников насосов, арматуры, что приводит к загазованности, утечки нефтепродуктов, возможности отравления продуктами горения, пожару, взрыву. <p>Наиболее вероятная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – неконтролируемый выброс нефти.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Борисенко Татьяна Евгеньевна		

РЕФЕРАТ

Дипломная работа содержит 107 страниц текстового материала, 33 рисунков, 21 таблицы, 25 использованных источников, 3 приложения. Таблицы составлялись в графическо-расчетной программе ОС Windows Microsoft Excel, графики строились в программе ОС Windows Microsoft Excel и Matlab/Simulink, оформление текстового документа осуществлялось в программе ОС Windows Microsoft Word.

Перечень ключевых слов: установка электроцентробежного насоса, погружной электродвигатель.

Тема: Электротехнологическая установка для скважинной нефтедобычи.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

УЭЦН – установка электроцентробежного насоса

ЭЦН – электроцентробежный насос

ШСНУ – штанговые скважинные насосные установки

ГРП – гидравлический разрыв пласта

ПЭД – погружной электродвигатель

ТМС – термоманометрическая система

КС – клапан сливной

МРП – межремонтный период работы

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	12
1 Литературный обзор.....	14
1.1 Назначение, устройство, принцип действия, технические и эксплуатационные характеристики УЭЦН.....	14
1.2. Анализ способов регулирования угловой скорости вала в УЭЦН	21
1.3. Особенности погружных электродвигателей	22
1.4. Анализ способов повышения эффективности УЭЦН	27
1.5. Критерии и требования к выбору двигателя	30
2 Расчёт и выбор погружного оборудования системы регулируемого электропривода	31
2.1. Выбор насосной установки	31
2.2. Выбор погружного электродвигателя и гидрозащиты	33
2.3. Выбор кабельной линии	34
2.4. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя.....	36
2.5. Проверка адекватности расчётных параметров двигателя	41
3 Расчёт естественных механических характеристик электродвигателя	42
3.1. Расчёт естественной механической характеристики.....	42
3.2. Расчёт естественной электромеханической характеристики.....	43
3.3. Механическая характеристика насоса.....	45
4 Выбор наземного оборудования	47
4.1. Выбор закона частотного регулирования	47
4.2. Выбор трансформатора.....	47
4.3. Выбор станции управления	48
5 Расчёт статических характеристик системы ПЧ-ПЭД при частотном регулировании	50
5.1. Расчёт вольт-частотной характеристики ПЧ.....	50
5.2. Механические характеристики ПЧ-ПЭД при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$	51

5.3. Электромеханические характеристики ПЧ-ПЭД при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$	54
6 Частотно- регулируемый электропривод УЭЦН со скалярным управлением	56
6.1. Определение параметров звеньев структурной схемы двигателя.....	59
6.2. Моделирование частотно-регулируемого погружного асинхронного электропривода центробежного насоса со скалярным управлением	65
6.2.1. Прямой пуск электропривода без преобразователя частоты.....	65
6.2.2. Прямой пуск электропривода с ПЧ, без задатчика интенсивности	66
6.2.3. Прямой пуск с ПЧ и задатчиком интенсивности	67
6.2.4. Имитационное исследование электропривода насоса для различных заданий частоты.....	68
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	71
8 Социальная ответственность.....	85
Список использованной литературы.....	102
Приложения	105

ВВЕДЕНИЕ

В нефтегазовой промышленности системы с установками электроцентробежного насоса (УЭЦН), вероятно, наиболее известны как эффективный метод искусственного подъёма для перекачки рабочих жидкостей на поверхность. Применение УЭЦН особенно эффективно в скважинах с низким забойным давлением, низким отношением газ-нефть, низкой температурой кипения, высокой обводнённостью или низкой плотностью нефти.

Никакой из видов механизированной добычи нефти не может сравниться по объёму перекачиваемой жидкости с УЭЦН, поэтому эксплуатация скважин с использованием данных агрегатов является наиболее распространённой и актуальной. За последние несколько лет технологии УЭЦН зарекомендовали себя как экономическая альтернатива насосам прямого вытеснения и вертикальным турбинам в различных областях нефтедобычи.

Погружные электротехнологические установки электроцентробежных насосов реализуют один из основных способов механизированной добычи нефти из глубинных, обводненных, наклонных скважин 20-1000 м³/сут и высотой подъёма жидкости 500-2000 м. В области больших подач (свыше 80 м³/сут) УЭЦН имеют самый высокий КПД среди всех механизированных способов добычи нефти. В интервале подач от 50 до 300 м³/сут КПД УЭЦН превышает 40 %, но в области небольших подач КПД УЭЦН резко падает. К тому же такие установки наименее сильно подвержены влиянию кривизны скважины. Влияние кривизны скважины на УЭЦН в основном зависит от операций спуска и подъёма оборудования из-за риска повреждения кабеля и не связано, как у ШСНУ, с самим процессом эксплуатации.

Однако процесс добычи нефти сопровождается большим количеством осложняющих факторов. В связи с этим одной из основных задач, стоящих перед нефтедобывающими предприятиями, является снижение степени влияния этих факторов, что позволит снизить затраты и повысить эффективность производства.

К основным осложняющим факторам относятся:

- засорение и истирание центробежных насосов абразивными частицами в скважинах после гидравлического разрыва пласта (ГРП) или частицами горных пород;
- отложения неорганических солей на рабочих органах ЭЦН;
- образование высоковязких эмульсий, высокая вязкость добываемой нефти;
- коррозия скважинного оборудования;
- влияние механических примесей на работу насосного оборудования;
- работа скважинного оборудования в искривленных скважинах;
- высокий газовый фактор;
- образование газогидратных отложений при добыче нефти и газа.

В связи с этим в работе ставится цель: провести сравнительный анализ работы УЭЦН в различных осложнённых условиях.

1 Литературный обзор

1.1 Назначение, устройство, принцип действия, технические и эксплуатационные характеристики УЭЦН

Назначение и устройство УЭЦН

Установки ЭЦН широко применяются для эксплуатации нефтяных скважин, особенно высокодебитных, обводненных, глубоких и наклонных.

На рисунке 1.1 представлена конструкция УЭЦН.

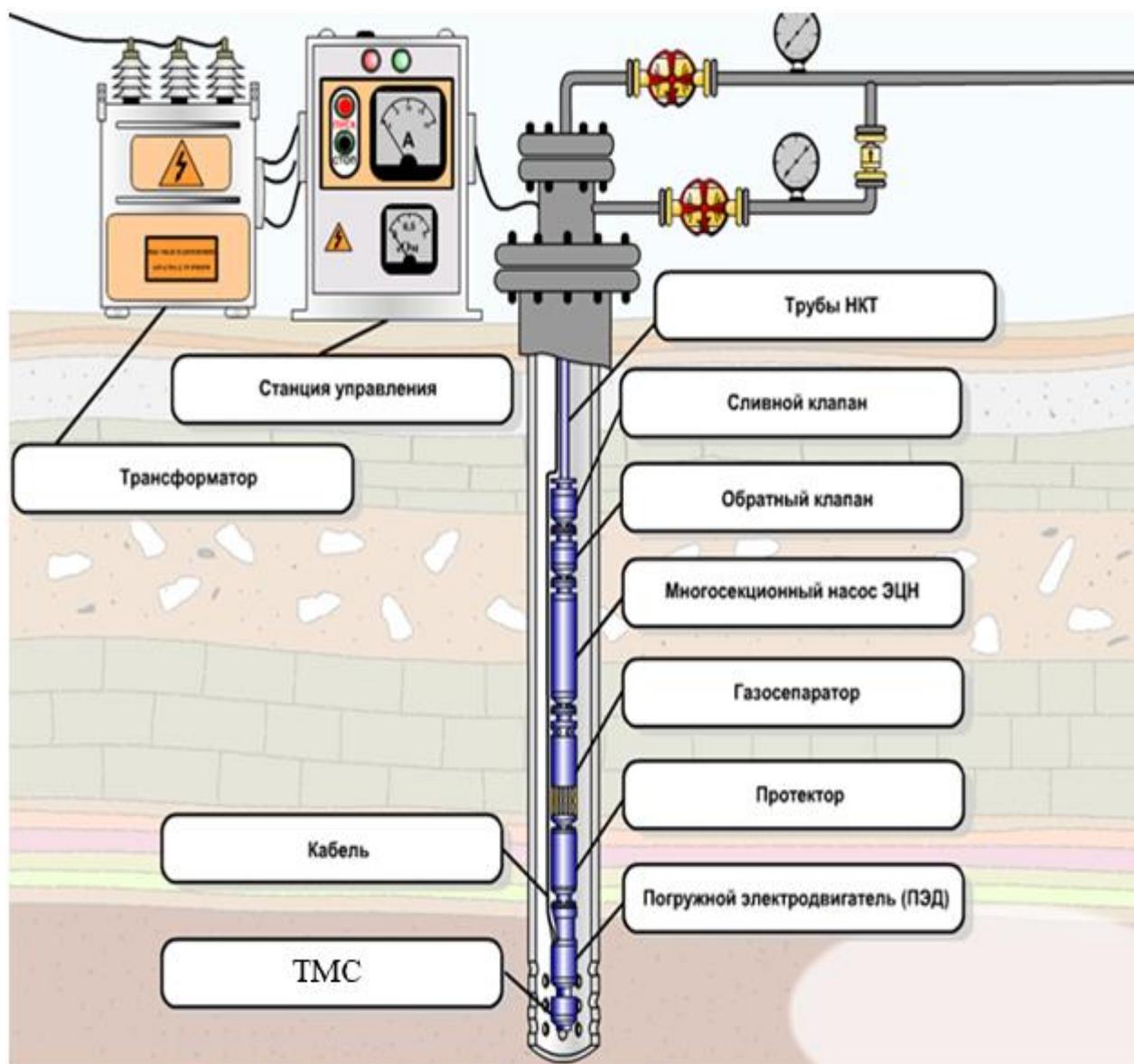


Рисунок 1.1 – Конструкция УЭЦН

Оборудование УЭЦН можно разделить на погружное и наземное. Погружная часть состоит из основных и дополнительных узлов. К основным узлам относится:

- Многосекционный насос ЭЦН

Основной элемент, осуществляющий подъем жидкости из скважины на поверхность. Насос в длину может составлять несколько метров , так как состоит из секций, число которых может изменяться.

Каждая секция включает в себя до 100 и более ступеней. Рабочая ступень насоса рассчитана на конкретную подачу и состоит из рабочего колеса и направляющего аппарата.

Получить требуемый напор позволяет изменение количества ступеней. При работе насоса давление в нем плавно возрастает по его длине. При отсутствии в составе погружного оборудования газосепаратора насос комплектуют входным модулем. В случае использования газосепаратора входной модуль не используется. [10]

- Погружной электродвигатель (ПЭД)

В качестве ПЭД чаще используют асинхронный, трёхфазный, двухполюсный двигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором.

Двигатель заполняется маловязким маслом, для смазки подшипников ротора, а также для отвода тепла к стенкам корпуса двигателя, который в свою очередь омывается потоком скважинной жидкости. Для эффективного охлаждения двигателя необходимо постоянно наличие потока жидкости в кольцевом пространстве между его корпусом и внутренними стенками эксплуатационной колонны.

ПЭД являются приводом ЭЦН, который преобразует электрическую энергию, передающуюся по погружному кабелю сверху в зону подвеса установки, в механическую энергию вращения насосов. Благодаря широкому диапазону мощностей и габаритов, изготавливаемых электродвигателей, не составляет труда выбрать оптимальный двигатель для привода насоса с конкретными параметрами. [9]

- Протектор (или гидрозащита)

Устройство предназначено для защиты от попадания скважинной продукции в полость электродвигателя, компенсации температурного расширения объема масла, передачи вращающего момента валу центробежного

насоса. Нижний конец вала соединяется с валом (ротором) электродвигателя, верхний конец — с валом насоса при монтаже на скважине. Гидрозащита выполняет следующие функции:

- уравнивает давление во внутренней полости двигателя с давлением пластовой жидкости в скважине;
- компенсирует тепловое изменение объема масла во внутренней полости двигателя (излишки масла через клапаны выбрасываются в затрубное пространство скважины);
- защищает внутреннюю полость двигателя от попадания пластовой жидкости и утечки масла (роль сальника);
- передает вращающий момент валу центробежного насоса. [10]

- Кабель

Кабельная линия предназначена для подачи электрического напряжения переменного тока с поверхности к погружному двигателю установки.

Кабель бронированный. На поверхности и до глубины спуска насоса он круглого сечения (КРБК), а на участке погружного агрегата вдоль насоса и гидрозащиты - плоский (КПБК).

В зависимости от температуры и агрессивности откачиваемой среды выпускаются кабели с различной степенью изоляции. Современные кабели способны работать при температуре до 200 °С и напряжении до 4000 В. [10]

К дополнительным узлам установки электроцентробежного насоса относятся:

- Газосепаратор

При эксплуатации скважин с высоким газосодержанием откачиваемой нефти для уменьшения вредного влияния свободного газа на работу ЭЦН в компоновку подземного оборудования включают дополнительный модуль — газосепаратор.

Во время работы газосепаратора происходит разделение потока на жидкую и газовую фазу в сепарационных барабанах под действием

центробежной силы. При этом отсепарированный газ направляется в затрубное пространство, а дегазированная жидкость подается на прием насоса.

Использование эффективного газосепаратора позволяет устойчиво эксплуатировать УЭЦН в скважинах, где объемное содержание свободного газа на входе в насос существенно превышает 30%.

В скважинах, где входное объемное газосодержание менее 30% (например, в высокообводнённых скважинах) вредного влияния газа на работу насоса не отмечается и в использовании газосепаратора нет необходимости.

Газосепаратор устанавливается между протектором гидрозащиты и нижней секцией ЭЦН.[10]

- ТМС

Устройство производящее измерение текущих параметров работы УЭЦН и параметров добываемой жидкости. Устанавливается на основании ПЭД. Измеряет и передает наземному блоку телеметрии ТМСН такие параметры как: сопротивление изоляции, температура обмоток двигателя, вибрация, давление на приеме насоса, температура жидкости и др.

- Обратный клапан

Используется для заполнения насосно-компрессорных труб жидкостью перед пуском насоса. Он же не позволяет жидкости сливаться вниз при остановках насоса. Во время работы насоса обратный клапан находится в открытом положении под действием давления снизу.

- Сливной клапан

Над обратным клапаном монтируется сливной клапан (КС), который используется для спуска жидкости из НКТ перед подъемом насоса из скважины.

Помимо перечисленных выше компонентов, совместно с УЭЦН используется наземное оборудование.

- Станция управления

Станция управления обеспечивает питание, управление работой погружной установки и защиту ее от аномальных режимов работы.

Современные станции управления могут быть оборудованы тиристорными преобразователями для бесступенчатого регулирования частоты вращения вала насоса, что позволяет плавно регулировать подачу и напор установки, обеспечивать мягкий (без рывков) пуск двигателя после отключения. Станция управления обеспечивает контроль, индикацию и запись основных рабочих параметров установки, отключение электродвигателя при перегрузке/недогрузке, понижении сопротивления изоляции и др.

В последние 20 лет в станциях управления с успехом применяются транзисторные IGBT преобразователи частоты в качестве регуляторов скорости вращения электродвигателей погружных насосов. Они более совершенны, чем тиристорные преобразователи и имеют более высокие КПД. В связи с появлением требований по ограничениям эмиссии гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током более 16 А, подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения ГОСТ 30804.4.3-2013 (IEC 61000-4-3:2006), станции управления могут быть укомплектованы входными активными или LCL-фильтрами гармонических искажений. Вместо фильтров можно использовать 18-пульсные схемы для выпрямителя преобразователя частоты, чем достигается аналогичный эффект в области фильтрации с меньшей себестоимостью станции.

- Трансформатор

Трансформатор предназначен для питания погружных электродвигателей от сети переменного тока напряжением 380 или 6000 В.

Трансформаторы выпускаются маслonaполненные и сухие (без охлаждающего масла) номинальной мощностью от 40 до 400 кВА.

Принцип действия

Принцип действия насоса можно представить следующим образом: жидкость, засасываемая через приемный фильтр, поступает на лопасти вращающегося рабочего колеса, под действием которого она приобретает скорость и давление. Для преобразования кинетической энергии в энергию давления жидкость, выходящая из рабочего колеса, направляется в

неподвижные каналы переменного сечения рабочего аппарата, связанного с корпусом насоса, затем жидкость, выйдя из рабочего аппарата попадает на рабочее колесо следующей ступени и цикл повторяется. Центробежные насосы рассчитаны на большую скорость вращения вала.

Технические и эксплуатационные характеристики

Скважины, в которых эксплуатируются установки, должны удовлетворять следующим условиям:

- минимальный внутренний диаметр скважины для каждого габарита установки согласно техническому описанию на насосы и двигатели;
- максимальный темп набора кривизны ствола скважины - 2° на 10 метров, а в зоне работы установки определяется по формуле:

$$\alpha_{10} = 2 \arcsin \frac{40S}{4S^2 + L^2} \text{ градусов на } 10 \text{ метров, где}$$

S – зазор между внутренним диаметром обсадной колонны и максимальным диаметральной габаритом установки, м;

L – длина установки от нижнего торца компенсатора до верхнего торца ловильной головки насоса, м;

- максимальное гидростатическое давление в зоне подвески установки - 250 кгс/см²;
- в зоне работы погружной установки отклонение ствола скважины от вертикали должно быть не более 60°.

В таблице 1.1 приведены технические характеристики УЭЦН.

Таблица 1.1 – Технические характеристики УЭЦН

Максимальная плотность жидкости, кг/м ³	1400
Максимальная кинематическая вязкость однофазной жидкости, при которой обеспечивается работа насоса без изменения напора и К.П.Д., мм ² /с	1
Водородный показатель попутной воды, рН	6,0-8,5
Максимальное содержание попутной воды, %	99
Максимальная массовая концентрация твёрдых частиц для установок обычного исполнения, г/л (%)	0,1 (0,01)
Максимальная массовая концентрация твёрдых частиц для установок коррозионноизносостойкого исполнения, г/л (%)	1,0 (0,10)
Максимальная массовая концентрация твёрдых частиц для установок с рабочими ступенями двухпорной конструкции коррозионноизносостойкого исполнения, г/л (%)	0,5 (0,05)
Микротвёрдость частиц, баллов по Моосу	Не более 5
Максимальная концентрация сероводорода для установок обычного исполнения, г/л (%)	0,01(0,001)
Максимальная концентрация сероводорода для установок коррозионностойкого и коррозионноизносостойкого исполнения, г/л (%)	1,25(0,125)
Температура откачиваемой жидкости для установок обычного исполнения, °С	До 90
Температура откачиваемой жидкости для установок термостойкого исполнения, °С	До 120
Максимальное содержание свободного газа на приёме насоса, %	До 25
Максимальное содержание свободного газа с применением газосепаратора в составе установки, %	До 55

1.2. Анализ способов регулирования угловой скорости вала в УЭЦН

Наиболее распространены следующие способы регулирования скорости асинхронного двигателя: изменение напряжения, подводимого к обмотке статора, изменение частоты питающего напряжения.

Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя изменением напряжения на статоре

Изменение напряжения, подводимого к обмотке статора асинхронного двигателя, позволяет регулировать скорость с помощью относительно простых технических средств и схем управления. Для этого между сетью переменного тока со стандартным напряжением $U_{\text{ном}}$ и статором электродвигателя включается регулятор напряжения.

При регулировании частоты вращения асинхронного двигателя изменением напряжения, подводимого к обмотке статора, критический момент $M_{\text{кр}}$ асинхронного двигателя изменяется пропорционально квадрату подводимого к двигателю напряжения $U_{\text{сет}}$, а скольжение от $U_{\text{рег}}$ не зависит. Для изменения напряжения применяют трехфазные автотрансформаторы и тиристорные регуляторы напряжения. Этот способ применяется только для приводов малой мощности (до 1кВт).

Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя изменением частоты питающего напряжения

Так как частота вращения магнитного поля статора $n_0=60f/p$, то регулирование частоты вращения асинхронного двигателя можно производить изменением частоты питающего напряжения.

Принцип частотного метода регулирования скорости асинхронного двигателя заключается в том, что, изменяя частоту питающего напряжения, можно в соответствии с выражением при неизменном числе пар полюсов p изменять угловую скорость n_0 магнитного поля статора.

Этот способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, а механические характеристики обладают высокой жесткостью.

В настоящее время этим способом регулируют ЭП мощностью от нескольких Вт до 10-ти МВт и напряжением от 220 В до 10 кВ.

Принцип реализации основывается на использовании преобразователей частоты. Преобразователь частоты подключается со стороны входа к промышленной сети, а его выход подключается к статорной обмотке, при этом изменяется частота выходного напряжения. Схема частотного электропривода представлена на рисунке 1.2.

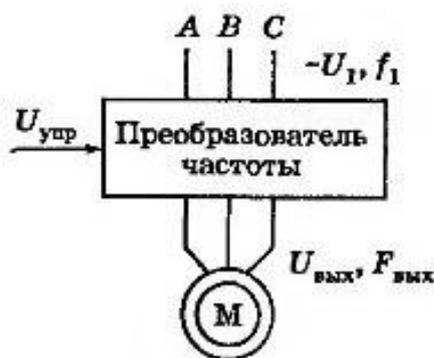


Рисунок 1.2 – Схема частотного электропривода

1.3. Особенности погружных электродвигателей

Основным видом погружных электродвигателей, служащих для привода центробежных насосов, являются асинхронные маслonaполненные с короткозамкнутым ротором двигателя, вертикального исполнения, выполненные в стальном корпусе, цилиндрической формы. При частоте 50 Гц синхронная частота вращения их вала равна 3000 об/мин (частота тока 1 Гц соответствует 1 обороту вала двигателя в секунду). Диаметр электродвигателей определяется внутренним диаметром эксплуатационной колонны, и находится в пределах от 96 до 130 мм.

Основные параметры двигателя: мощность, ток и напряжение, зависят от типоразмера двигателя. В настоящее время выпускают двигатели с номинальной мощностью от 8 до 500 кВт, рабочим током от 18 до 180 А и рабочим напряжением от 300 до 3600 В. Малые диаметры и большие мощности вызывают необходимость увеличивать длину двигателей, которая иногда превышает 20 м.

Расшифровка условного обозначения ПЭД представлено на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Расшифровка условного обозначения ПЭД

Погружной электродвигатель (рисунок 1.4) состоит из статора, ротора, основания и головки. Статор – неподвижная часть двигателя. Корпус статора изготавливается в виде стальной трубы с резьбой на концах для подсоединения головки и основания двигателя. Статор состоит из чередующихся между собой магнитных и немагнитных пакетов, которые запрессованы в корпус.

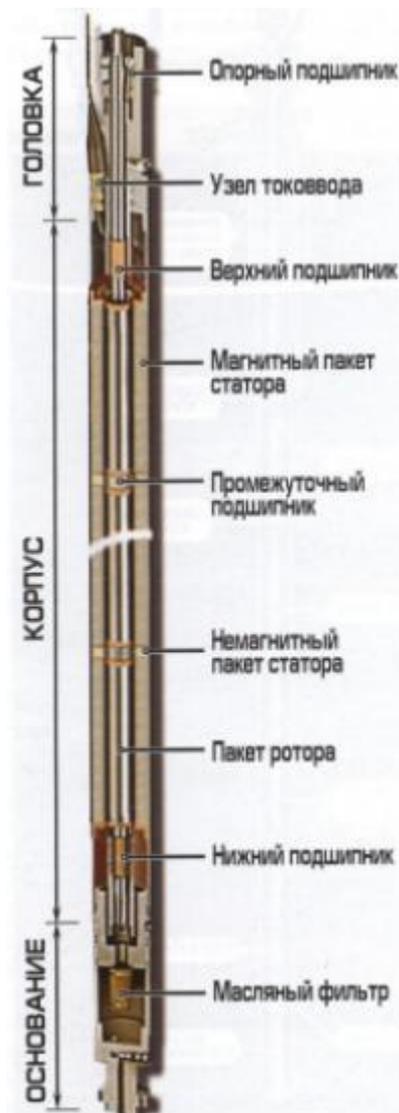


Рисунок 1.4 – Погружной электродвигатель

Пакеты собираются из отдельных кольцевых пластин с пазами. Пластины магнитных пакетов штампуются из электротехнической стали, а немагнитных – из латуни или немагнитной стали. Немагнитные пакеты служат опорами для промежуточных подшипников ротора. Количество магнитных пакетов статора зависит от мощности двигателя, а немагнитных определяется количеством промежуточных подшипников ротора. Сборка пакетов имеет сквозные пазы, в которые уложена изолированная трёхфазная протяжная обмотка из специального обмоточного провода. Фазы обмотки соединены в «звезду», а выводные концы обмотки статора соединяются с выводными концами колодки кабельного ввода и изолируются.

Внутри статора расположен ротор, который представляет собой набор пакетов, разделённых между собой промежуточными подшипниками и последовательно надетыми на вал. Вал пустотелый и имеет продольные отверстия диаметром 6-8 мм для циркуляции масла, которым заполнен двигатель. Пакеты ротора собираются из отдельных кольцевых пластин электротехнической стали, внешний диаметр которых меньше внутреннего диаметра пластин статора. В пазы каждого пакета ротора вставлены медные стержни, которые, с обеих сторон пакета, спаиваются с медными кольцами, образуя так называемое «беличье колесо». Пакеты ротора удерживаются на валу стопорными кольцами. Передача крутящего момента от пакетов ротора к валу осуществляется посредством продольной шпонки, которая укладывается в продольные пазы вала и пакетов ротора. Количество пакетов ротора соответствует количеству магнитных пакетов статора. Между пакетами ротора на вал устанавливаются подшипники скольжения, которые в свою очередь опираются на немагнитные пакеты ротора.

Головка вворачивается в верхнюю часть корпуса статора. В головке располагается узел опорного подшипника, который воспринимает осевые нагрузки от веса ротора и узел токоввода, служащий для питания обмотки статора. Узел опорного подшипника состоит из пяты, которая крепится на вал ротора и подпятника, который устанавливается в головке. В пяте имеется два отверстия, благодаря которым происходит циркуляция масла во внутренней полости двигателя. Подпятник имеет шесть сегментов, между которыми в зону трения подается масло. Узел токоввода содержит электроизоляционную колодку, внутри которой размещены контактные гильзы, связанные с выводами обмотки статора. В основании, расположенном в нижней части электродвигателя, размещается масляный фильтр и нижний подшипник, при помощи которого центруется нижняя часть вала ротора (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Основание электродвигателя

При использовании двухкорпусной гидрозащиты, в основании дополнительно размещается перепускной клапан, который обеспечивает сообщение полости электродвигателя с компенсатором. Для защиты двигателя от проникновения в его полость окружающей пластовой жидкости, для охлаждения обмоток и смазывания подшипников двигатель заполняется специальным маслом. Циркуляция масла внутри двигателя осуществляется из полости фильтра по внутреннему отверстию в валу, затем масло поступает для смазки радиальных подшипников, откуда попадает в зазор между статором и ротором и возвращается к фильтру. Масло передаёт тепло статору и через железо и корпус статора – омывающей двигатель пластовой жидкости. Поэтому для охлаждения двигателя необходимо постоянное протекание пластовой жидкости по кольцевому зазору между корпусом электродвигателя и эксплуатационной колонной. Чем больше скорость прохождения пластовой жидкости, тем лучше осуществляется охлаждение.

В настоящее время выпускают электродвигатели разных исполнений по теплостойкости для работы в пластовой жидкости с различной рабочей температурой. Теплостойкость ПЭД является одним из основных параметров,

поскольку оказывает влияние на режим эксплуатации ПЭД, на режим проведения тепловых обработок, а также на процесс вывода скважины на режим.

1.4. Анализ способов повышения эффективности УЭЦН

Высокая агрессивность пластовой жидкости, являющейся многокомпонентной средой и состоящей из нефти, пластовой воды, свободного и растворённого газа – одна из основных причин отказов оборудования УЭЦН. Существует большое количество методов повышения эффективности эксплуатации УЭЦН. Рассмотрим 3 из них.

Повышение наработки электропогружного оборудования путем применения защитного дополнительного оборудования включаемого в состав УЭЦН

Для обеспечения охлаждения электродвигателей в скважинах с большим внутренним диаметром обсадных колонн применяется кожух.

Благодаря конструкции кожуха обеспечивается надежное крепление и исключается забор жидкости сверху, для чего на входном модуле предусмотрен уплотнительный пояс.

Данный модуль может быть смонтирован с газосепараторами, диспергаторами (прибор, который позволяет измельчать массу и делать ее однородной по всему объему), а так же без них. Единственное требование для монтажа с газосепараторами диспергаторами – допуск на присоединение входного модуля и совпадения по крепежным узлам.

Применение технологии колтюбинга при освоении скважин после гидроразрыва пласта

Для борьбы с выбросами пропанта после проведенного гидроразрыва пласта, наиболее эффективно применение технологии колтюбинга. Опыт применения колтюбинга доказал, что качественная промывка забоя и освоение скважины азотом позволяют сэкономить на эксплуатации УЭЦН, так как существенно снижается риск выхода насоса из строя по причине выноса механических примесей.

При использовании колтюбинга, во-первых, гибкую трубу можно спускать в скважину очень быстро (до 50 м/мин), а во-вторых, по ней можно закачивать азот, образуя очень легкий столб флюида. В процессе очистки происходит поступление притока в скважину, что позволяет очистить ствол до безупречного состояния.

Также использование колтюбинга позволяет достичь быстрой окупаемости затрат, и экономию на расходах по дальнейшей эксплуатации скважины. Быстрая окупаемость связана сразу с несколькими факторами:

- сокращение времени освоения скважины;
- снижение потерь нефти за счет экономии времени на освоение скважины;
- увеличение времени работы скважины после запуска. Снижение негативного воздействия на пласт во время проведения обработки.

Применение гибкой шарнирной муфты в составе установок электроцентробежных насосов

При работе УЭЦН на участках с большим набором кривизны из-за боковых усилий возникают нерасчётные напряжения корпусов и валов, которые ведут к одностороннему износу деталей и сокращения МРП.

Максимально-допустимая кривизна скважины при спуске установки определенного поперечного габарита определяется допустимой упругой деформацией материалов, из которых изготовлена установка.

Величина максимально-допустимой кривизны скважины по нормативным документам российских и иностранных изготовителей равна 2° на 10 метров длины. По тем же нормативным документам место подвески установки должно выбираться в скважине там, где установка не подвергается прогибу или как минимум вписывается в участок скважины.

Применение гибкой шарнирной муфты (ГШМ) в составе УЭЦН позволяет:

- достичь потенциала скважины;
- предотвратить ослабление затяжки из-за асимметрии натяжений болтов межсекционных фланцевых соединений УЭЦН за счет снятия

изгибающих нагрузок, воздействующих на установку при прохождении интервалов с интенсивным искривлением ствола во время спуска оборудования в скважину.

При эксплуатации УЭЦН в зоне с набором кривизны выше допустимой, где штатная установка работает в напряженно-деформируемом состоянии, УЭЦН, оснащенный гибкой муфтой, свободно вписывается в ствол искривленной скважины, чем обеспечивается повышенная устойчивость его работы.

В том случае, если участок ствола скважины, в котором расчетами предполагается подвеска насосного оборудования, имеет высокие значения локальной кривизны и установку вынужденно подвешивают в других интервалах, гибкая муфта позволяет производить подвеску УЭЦН именно в заданном интервале, что приводит к более оптимальному режиму ее работы. Максимальный угол изгиба ГШМ составляет 5 или 10° в зависимости от варианта исполнения.

Корректный выбор насосного оборудования и оптимизация режима его работы, позволяет повысить эффективность использования добывающих скважин. Применение расчетных методик позволяет оценивать состояние насосного оборудования, подбирать рациональные технологические параметры работы оборудования.

Максимальный эффект повышения энергоэффективности возможно получить, улучшив характеристики установок электроцентробежных насосов посредством сбалансированного подбора каждого элемента оборудования установки (насос, погружной электродвигатель и др.) и оптимизации работы оборудования после запуска.

В целом внедрение в производство предлагаемых методов позволит увеличить межремонтный период работы скважин, оборудованных для механизированной добычи полезных ископаемых УЭЦН и тем самым увеличить суточную добычу полезных ископаемых.

1.5. Критерии и требования к выбору двигателя

Первое требование, предъявляемое к двигателю – способность работать при высоких температурах. Постоянные магниты очень чувствительны к температуре, что создает ограничение для использования двигателей с постоянными магнитами в УЭЦН в течение длительного времени. Однако в настоящее время разработаны постоянные магниты, которые могут работать в условиях высоких температур.

Ограничения по диаметру приводят к повышению требований к мощности и крутящему моменту. Кроме того, необходим высокий КПД двигателя и коэффициент мощности, так как более высокий КПД и коэффициент мощности вызывают уменьшение падения напряжения на длинном кабеле питания, а также уменьшают потери мощности на электродвигателе, тем самым уменьшая градиент температуры двигателя. Если задана наружная температура, то уменьшение градиента температуры вызывает снижение внутренней температуры, что может увеличить срок службы изоляции; повышение температуры на 10 градусов может привести к уменьшению срока службы изоляции вдвое.

Как упомянуто выше, надежность и срок службы являются очень важными параметрами, и эти параметры зависят от таких факторов, как изоляция и конструкция двигателя. Таким образом, надежность является одним из ключевых критериев выбора двигателя. Другими важными критериями являются низкий пусковой ток, мягкие способности и управляемость.

2 Расчёт и выбор погружного оборудования системы регулируемого электропривода

2.1. Выбор насосной установки

Выбор насосной установки производится с учетом необходимой подачи, напора.

Таблица 2.1 – Технические требования

Подача (дебит)	200 м ³ /сут
Напор	1300 м
Типоразмер ЭЦН	5А (406 мм)

Выбираем насос ЭЦН5А-200-1300.

Таблица 2.2 – Характеристики насоса

Подача (дебит)	200 м ³ /сут
Напор	1300 м
типоразмер	5А (406 мм)
Количество ступеней	270
Длина секций	3+3+3
Количество секций	3
Расположение осевой опоры	в насосе
Содержание КВЧ	1000 мг/л
КПД при заданном напоре	60%
Номинальная мощность	49,46 кВт
Максимальная мощность в рабочем диапазоне	49,49 кВт

Характеристики насоса Новомет ЭЦН5А-200-1302 (270)

Частота: 2910 об./мин – 50,0 Гц

Плотность рабочей жидкости: 1000,0 кг/м³

Развиваемое давление: 12.78 МПа

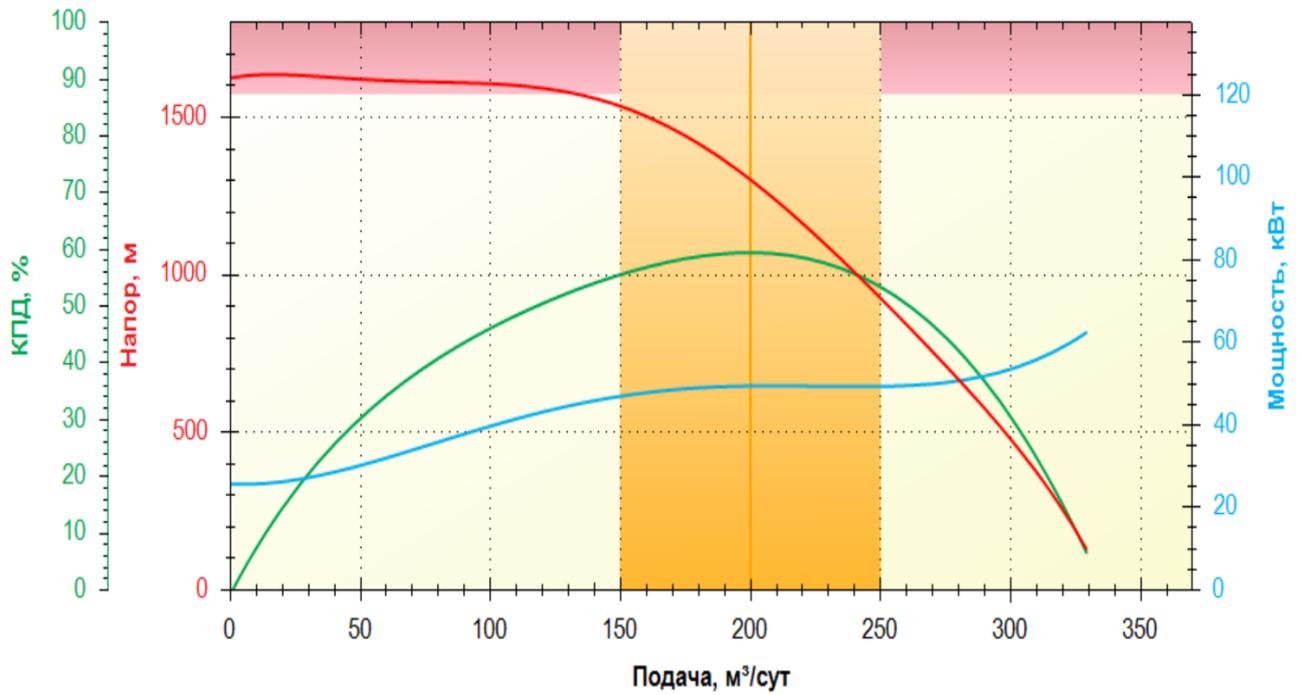


Рисунок 2.1 – Характеристика насоса ЭЦНА5-200-1302

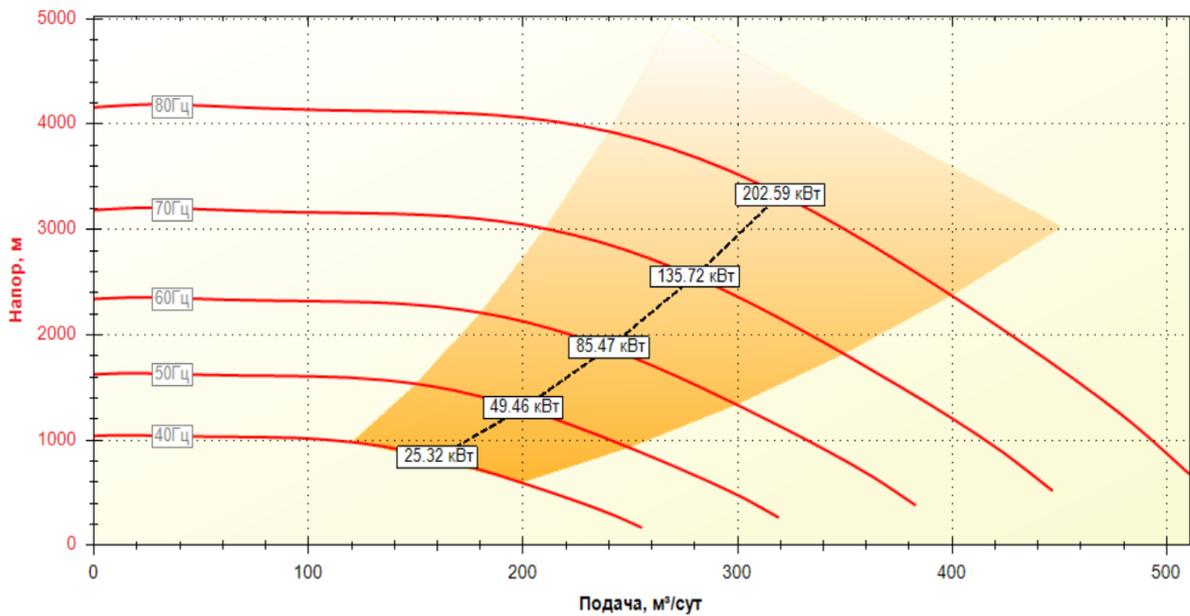


Рисунок 2.2 – Напорная характеристика насоса ЭЦНА5-200-1302 при различных частотах вращения

2.2. Выбор погружного электродвигателя и гидрозащиты

По максимальной потребляемой мощности насоса и диаметру эксплуатационной колонны подбирается двигатель необходимого исполнения, мощности и габарита.

При подборе двигателя так же учитывается потребляемая мощность гидрозащиты и газосепаратора, принимаем потребляемую мощность гидрозащиты и газосепаратора при частоте 50Гц $P_{Г50}=3$ кВт.

Рассчитываем потребляемую мощность насоса при 60Гц:

$$P_{нас60} = \left(\frac{60}{50}\right)^3 \cdot P_{нас50} = \left(\frac{60}{50}\right)^3 \cdot 49,49 = 85,52 \text{ кВт.} \quad (2.1)$$

Рассчитываем потребляемую мощность гидрозащиты и газосепаратора при 60 Гц:

$$P_{Г60} = \left(\frac{60}{50}\right)^3 \cdot P_{Г50} = \left(\frac{60}{50}\right)^3 \cdot 3 = 5,18 \text{ кВт.} \quad (2.2)$$

Находим потребляемую мощность всей установки:

$$P_{У60} = P_{нас60} \cdot P_{Г60} = 85,52 + 5,18 = 90,7 \text{ кВт.} \quad (2.3)$$

Из каталожных данных выбираем двигатель ПЭД-Я 90-117 М1В5, технические характеристики приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристики ПЭД-Я 90-117 М1В5

Мощность при 50 Гц, кВт	90	
Мощность при 60 Гц, кВт	108	
Номинальное напряжение при 50 Гц, В	1700	
Номинальное напряжение при 60 Гц, В	2040	
Номинальный ток, А	44,2	
$\cos \varphi$, о.е.	0,84	
КПД, %	84	
Скорость охл.жидк. не менее, м/с	0,3	
Скольжение, %	5	
Сопротивление изоляции, МОм	При 20°С	1000
	При 115°С	25
Синхронная частота вращения, об/мин	3000	
Масса, кг	503	
Длина, мм	6658	

Используя программу Novomet ESP Calculator, проверим максимальную потребляемую мощность насоса в рабочем диапазоне:

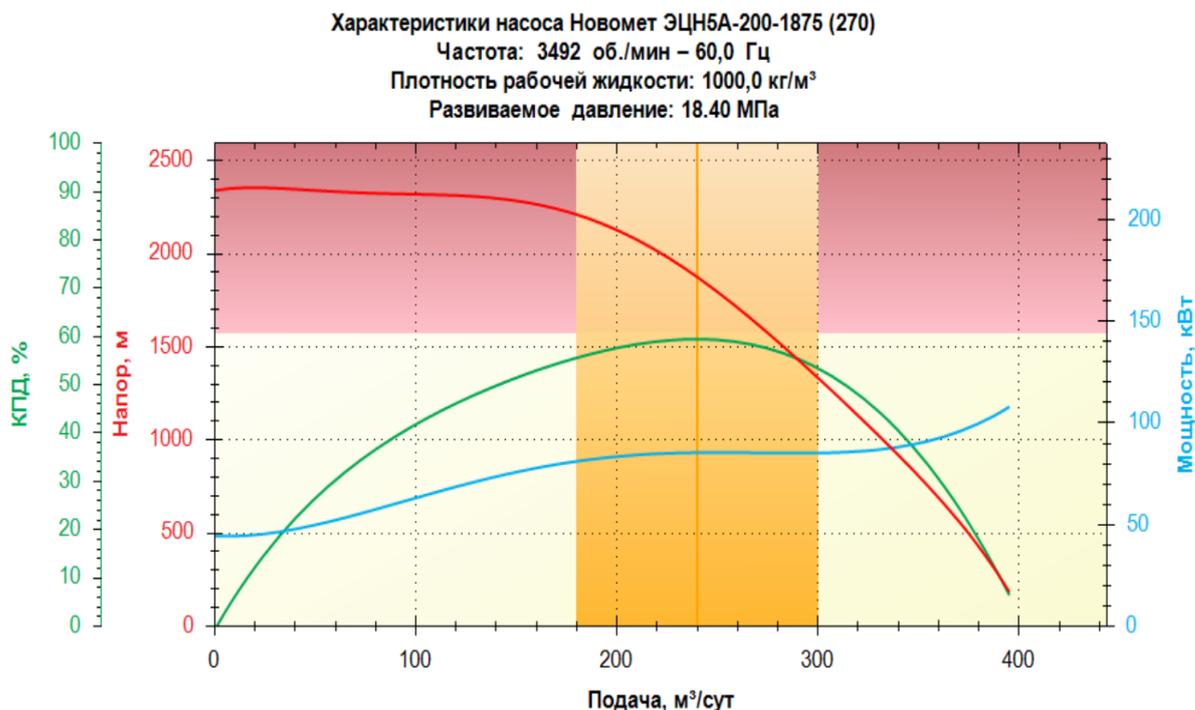


Рисунок 2.3 – Характеристика насоса ЭЦНА5-200-1302 при 60 Гц

Как видно из графика потребляемая мощность насоса при частоте 60 Гц равна 85,52 кВт, что соответствует расчётным данным.

2.3. Выбор кабельной линии

При выборе кабеля следует определить:

- площадь сечения жилы кабеля;
- тип кабеля;
- длину кабеля.

Выбор площади сечения жилы и типа кабеля обуславливается совместным влиянием факторов: допустимых токовых нагрузок и температуры скважинной среды, параметров флюида.

Длина кабельной линии подбирается исходя из глубины спуска ПЭД в скважину с учетом расстояния от устья до ТМПН (газоотделительной коробки).

Удлинитель или термостойкая вставка подбирается по температуре скважинной жидкости, проходящей по НКТ и допустимым токовым нагрузкам, которые представлены на рисунках 2.4 и 2.5.

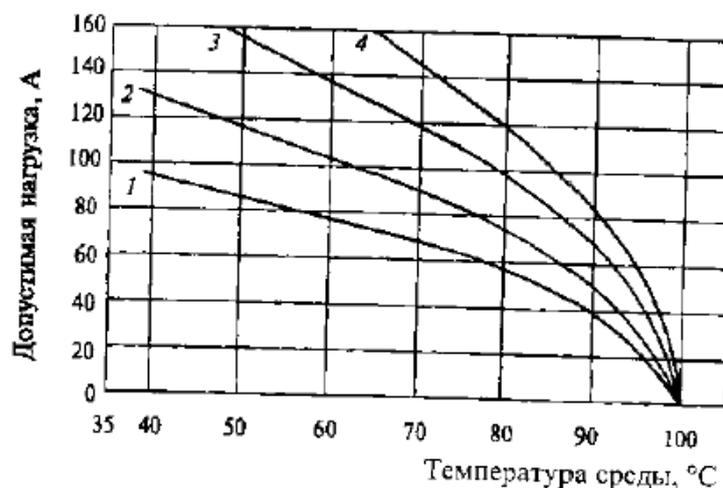


Рисунок 2.4 – Зависимости допустимых токов кабеля КПБП от температуры пластовой жидкости (смеси жидкости и газа). Цифрами обозначены сечения кабеля, мм²: 1 - 10, 2 - 16, 3 - 25, 4 - 35.

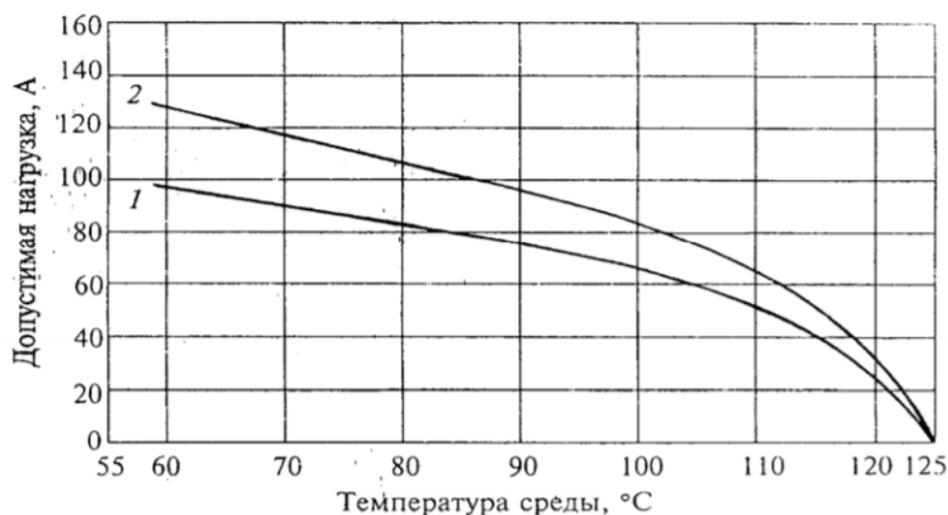


Рисунок 2.5 – Зависимости допустимых токов кабеля КПБПТ от температуры пластовой жидкости (смеси жидкости и газа). Цифрами обозначены сечения кабеля, мм²: 1 - 10, 2 - 16.

Определяем сечение жилы кабеля:

$$S = \frac{I_{\text{раб}}}{i} = \frac{44,2}{5} = 8,84 \text{ мм}^2, \quad (2.4)$$

где $I_{\text{раб}}$ - номинальный ток выбранного двигателя,

$i=5 \text{ А/мм}^2$ – экономическая плотность тока.

Электрическое сопротивление в кабеле на единицу длины:

$$R = \rho_{\text{меди}} \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_{20})) \cdot \frac{1}{S} =$$

$$0,0175 \cdot (1 + 0,004 \cdot (92 - 20)) \cdot \frac{1}{8,84} = 2,55 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/м}, \quad (2.5)$$

где $\rho_{\text{меди}} = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ - удельное сопротивление меди;

$\alpha = 0,004 \text{ 1/}^\circ\text{C}$ - температурный коэффициент для меди;

$T = 92 \text{ }^\circ\text{C}$ - температура жидкости у приёма насоса;

$T_{20} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Общая длина кабеля:

$$L_k = 2600 \text{ м.}$$

Тогда потери мощности в кабеле:

$$\Delta P_k = 3 \cdot I_n^2 \cdot R \cdot L_k = 3 \cdot 44,2^2 \cdot 2,55 \cdot 10^{-3} \cdot 2600 \cdot 10^{-3} = 388,6 \text{ Вт}. \quad (2.6)$$

Выбираем кабель КПБК 3*10;

Максимальный наружный диаметр – 29 мм;

Номинальная длина кабеля – 2600 м.

2.4. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Для расчетов асинхронного двигателя возьмём наиболее простую T-образную схему замещения (рисунок 2.6).

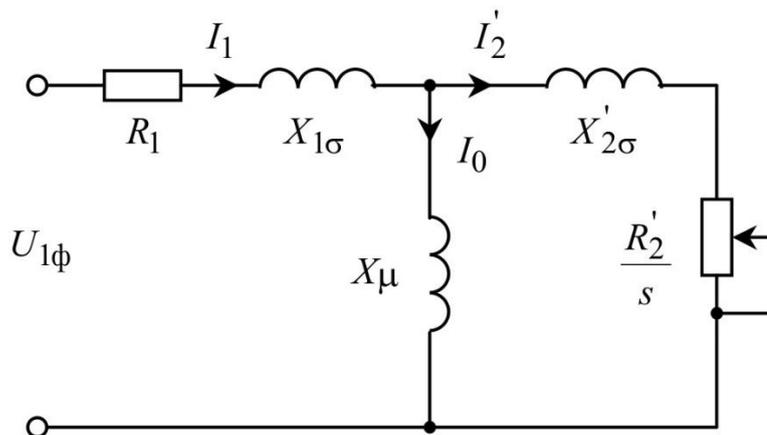


Рисунок 2.6 – Схема замещения асинхронного двигателя

Схема содержит:

R'_2 – приведенное активное сопротивление обмотки ротора к обмотке статора;

R_1 – активное сопротивление обмотки статора;

$X'_{2\sigma}$ – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора к обмотке статора;

$U_{1\phi}$ – фазное напряжение на статоре двигателя;

I_1 – ток статора;

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

I'_2 – приведенный ток ротора к статору;

I_0 – ток холостого хода;

X_μ – индуктивное сопротивление контура намагничивания.

Необходимые для расчёта параметры приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Паспортные данные ПЭД-Я 90-117 М1В5

Напряжение двигателя фазное, В $U_{1фн}$	981,495
Синхронная частота вращения, об/мин n_0	3000
Мощность двигателя, кВт $P_{двн}$	90
Скольжение при номинальной нагрузке, % s_n	5
КПД при номинальной нагрузке, % η_n	84
Коэффициент мощности при номинальной нагрузке $\cos\varphi_n$	0,84
Кратность максимального момента m_k	1,7
Кратность пускового момента $m_{п}$	1,0
Кратность минимального момента m_m	0,9
Кратность пускового тока $k_{идв}$	7,0
Число пар полюсов Z_p	1
Момент инерции двигателя, кг · м ² $J_{дв}$	0,027

Основные уравнения асинхронного двигателя:

$$\overline{U}_{1\phi} - \overline{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \overline{I}_1 - R_1 \cdot \overline{I}_1 = 0; \quad (2.7)$$

$$\overline{E}_m + j \cdot X_2 \cdot \overline{I}_2 + R_2 \cdot \frac{\overline{I}_2}{s} = 0; \quad (2.8)$$

$$\overline{I}_1 + \overline{I}_2 - \overline{I}_0 = 0. \quad (2.9)$$

Векторная диаграмма токов и напряжений изображена на рисунке 2.7.

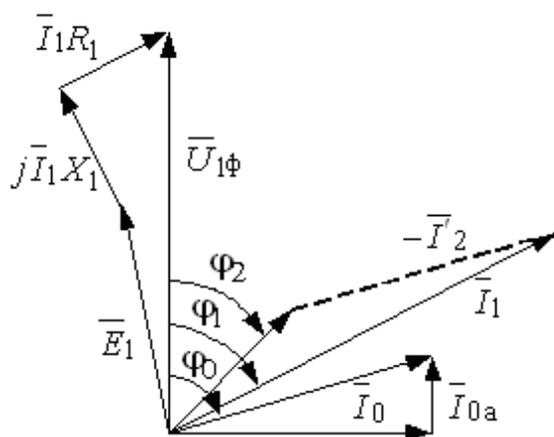


Рисунок 2.7 – Векторная диаграмма токов АД

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314,159 \text{ рад/с.} \quad (2.10)$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_n = (1 - s_n) \cdot n_0 = (1 - 0,05) \cdot 3000 = 2850 \text{ об/мин.} \quad (2.11)$$

Номинальная угловая частота вращения:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2850}{60} = 298,451 \text{ рад/с.} \quad (2.12)$$

Номинальный ток двигателя:

$$I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_n} = \frac{90000}{3 \cdot 981,495 \cdot 0,84 \cdot 0,84} = 43,319 \text{ А.} \quad (2.13)$$

Номинальный момент:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{90000}{298,451} = 301,557 \text{ Н·м.} \quad (2.14)$$

Коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p_z = 0,75$. [1]

Коэффициент полезного действия двигателя при частичной загрузке, принимаем $\eta_z = 0,84$. [1]

Коэффициент мощности двигателя при частичной загрузке, принимаем $\eta_z = 0,8$. [1]

Ток статора при частичной загрузке:

$$I_{1z} = \frac{p_z \cdot P_n}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_z \cdot \eta_z} = \frac{0,75 \cdot 90000}{3 \cdot 981,495 \cdot 0,8 \cdot 0,84} = 34,113 \text{ А.} \quad (2.15)$$

Определяем параметры схемы замещения:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1z}^2 - \left(\frac{p_z \cdot I_{1H} \cdot (1-s_H)}{1-p_z \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(\frac{p_z \cdot (1-s_H)}{1-p_z \cdot s_H} \right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{34,113^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 43,319 \cdot (1-0,05)}{1-0,75 \cdot 0,05} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1-0,05)}{1-0,75 \cdot 0,05} \right)^2}} = 17,309 \text{ A.} \quad (2.16)$$

Критическое скольжение:

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

$$= 0,05 \cdot \frac{1,7 + \sqrt{1,7^2 - (1 - 2 \cdot 0,05 \cdot 2,4 \cdot (1,7 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,05 \cdot 2,4 \cdot (1,7 - 1)} = 0,188 \text{ A.} \quad (2.17)$$

где $m_K = 1,9$ - кратность максимального момента;

β - коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, значение которого находится в диапазоне 0,6-2,5. Принимаем $\beta = 2,4$.

Коэффициент, характеризующий соотношение $\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu}$:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{17,309}{2 \cdot 7 \cdot 43,319} = 1,029. \quad (2.18)$$

где $k_i = 7$ - кратность пускового тока.

Приведенное активное сопротивление обмотки ротора:

$$R_2^* = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1-s_H)}{2 \cdot m_K \cdot P_H \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K} \right)} = \frac{3 \cdot 981,495^2 \cdot (1-0,05)}{2 \cdot 1,7 \cdot 90000 \cdot 1,029^2 \cdot \left(2,4 + \frac{1}{0,05} \right)} = 1,1 \text{ Ом.} \quad (2.19)$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = R_2^* \cdot \beta \cdot C_1 = 1,1 \cdot 2,4 \cdot 1,029 = 2,716 \text{ Ом.} \quad (2.20)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_{кн} = R_2 \cdot \gamma \cdot C_1 = 1,1 \cdot 4,735 \cdot 1,029 = 5,358 \text{ Ом.} \quad (2.21)$$

где $\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,188}\right)^2 - 2,4^2} = 4,735$ - коэффициент,

характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведённого активного сопротивления ротора.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 5,358 = 2,25 \text{ Ом.} \quad (2.22)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{2,25}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 7,164 \text{ мГн.} \quad (2.23)$$

Приведённое к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме:

$$X_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{5,358}{1,029} = 3,022 \text{ Ом.} \quad (2.24)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{2\sigma} = \frac{X_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{3,022}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 9,618 \text{ мГн.} \quad (2.25)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{829,97}{17,309} = 47,949 \text{ Ом,} \quad (2.26)$$

где

$$E_1 = \sqrt{\left(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_n - I_{1\phi} \cdot R_1\right)^2 + \left(U_{1\phi} \cdot \sin \varphi_n - I_{1\phi} \cdot X_{1\sigma}\right)^2} = \quad (2.27)$$

$$\sqrt{\left(981,495 \cdot 0,84 - 43,319 \cdot 2,716\right)^2 + \left(981,495 \cdot 0,543 - 43,319 \cdot 2,25\right)^2} = 829,97 \text{ В}$$

- ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора, в номинальном режиме.

Результирующая индуктивность цепи намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{47,949}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,153 \text{ Гн.} \quad (2.28)$$

2.5. Проверка адекватности расчётных параметров двигателя

Номинальный электромагнитный момент:

$$\begin{aligned} M_{эм.н}^* &= \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R_2}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s_n \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 981,495^2 \cdot 1,1}{314,159 \cdot 0,05 \cdot \left[5,358^2 + \left(2,716 + \frac{1,1}{0,05} \right)^2 + \left(\frac{2,716 \cdot 1,1}{0,05 \cdot 47,949} \right)^2 \right]} = \\ &= 315,611 \text{ Н} \cdot \text{м.} \end{aligned} \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned} M_{эм.н}^{**} &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{L_{\mu} + L_{2\sigma}} \cdot \psi_{2н} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1н}^2 - I_0^2} = \\ &= \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot \frac{0,153}{0,153 + 9,618 \cdot 10^{-3}} \cdot 3,736 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{43,319^2 - 17,309^2} = 296,07 \text{ Н} \cdot \text{м.} \end{aligned} \quad (2.30)$$

где

$$\psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_{\mu} = \sqrt{2} \cdot 17,309 \cdot 0,153 = 3,736 \text{ Вб,} \quad (2.31)$$

$z_p = 1$ - число пар полюсов.

Должны выполняться условия:

$$M_{дв.н} < M_{эм.н}^* \leq 1,1 \cdot M_{дв.н};$$

$$M_{эм.н}^{**} \approx M_{эм.н}^*.$$

Имеем:

$$M_{дв.н} = 301,557 < M_{эм.н}^* = 315,611 \leq 1,1 \cdot M_{дв.н} = 325,677;$$

$$M_{эм.н}^{**} = 296,07 \approx M_{эм.н}^* = 315,611.$$

Условия выполняются, значит найденные параметры являются приемлемыми.

3 Расчёт естественных механических характеристик электродвигателя

3.1. Расчёт естественной механической характеристики

Рассчитываем естественную механическую характеристику двигателя для частоты $f_{1н} = 50$ Гц:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} \quad (3.1)$$

По результатам расчёта строим естественную механическую характеристику в программной среде Microsoft Excel (рисунок 3.1).

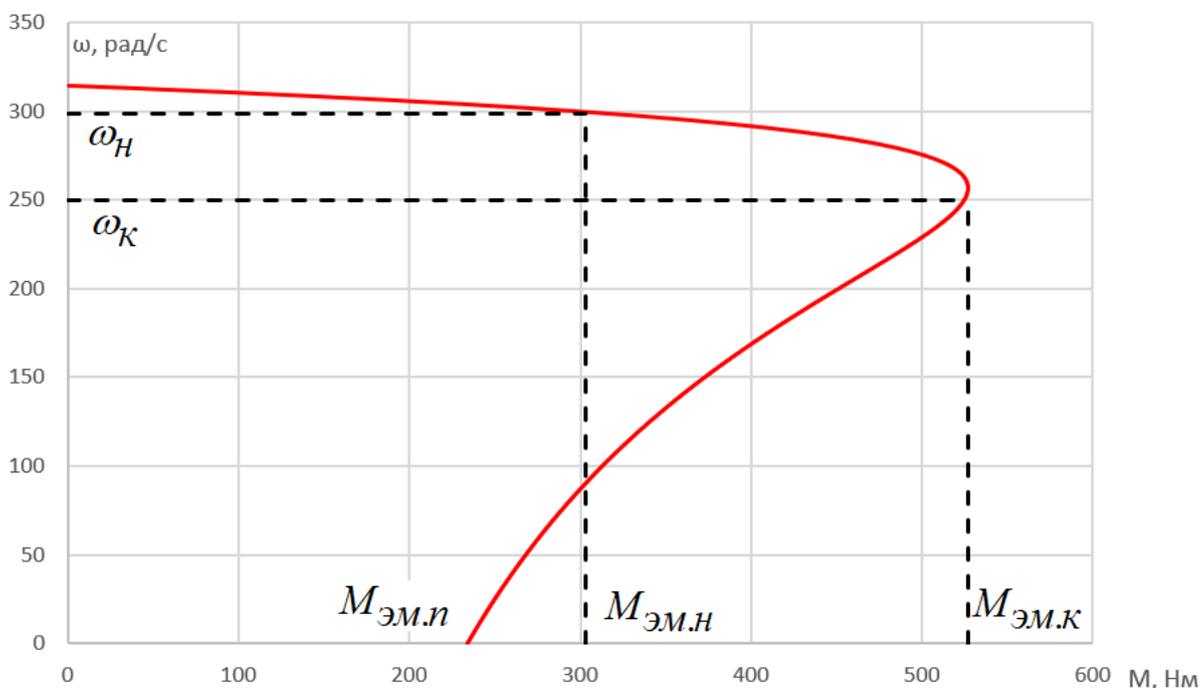


Рисунок 3.1 – Естественная механическая характеристика

Номинальный электромагнитный момент:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \quad (3.2)$$

$$= \frac{3 \cdot 981,495^2 \cdot 1,1}{314,159 \cdot 0,05 \cdot \left[5,358^2 + \left(2,716 + \frac{1,1}{0,05} \right)^2 + \left(\frac{2,716 \cdot 1,1}{0,05 \cdot 47,949} \right)^2 \right]} = 315,611 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критическое скольжение:

$$s_{\kappa} = R_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + X_{\kappa H}^2}} = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{2,716}{47,949} \right)^2}{2,716^2 + 5,358^2}} = 0,183. \quad (3.3)$$

Максимальный электромагнитный момент:

$$M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\kappa H}^2) \cdot \left(1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2 \right)} \right]} = \quad (3.4)$$

$$= \frac{3 \cdot 981,495^2}{2 \cdot 314,159 \cdot \left[1,1 + \sqrt{(1,1^2 + 5,358^2) \cdot \left(1 + \left(\frac{1,1}{47,949} \right)^2 \right)} \right]} = 526,697 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент:

$$M_{\text{эм.п}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R_2}{\omega_0 \cdot \left[X_{\kappa H}^2 + (R_1 + R_2)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \quad (3.5)$$

$$= \frac{3 \cdot 981,495^2 \cdot 1,1}{314,159 \cdot \left[5,358^2 + (2,716 + 1,1)^2 + \left(\frac{2,716 \cdot 1,1}{47,949} \right)^2 \right]} = 233,862 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3.2. Расчёт естественной электромеханической характеристики

Рассчитываем естественную электромеханическую характеристику электродвигателя для частоты $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}. \quad (3.6)$$

Ток ротора, приведённый к обмотке статора:

$$I_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\pm \sqrt{X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}. \quad (3.7)$$

Действующее значение тока холостого хода:

$$I_0 = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2}} = \frac{981,495}{\sqrt{2,716^2 + (2,25 + 47,949)^2}} = 19,523 \text{ A}. \quad (3.8)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{кн}}{\sqrt{X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}. \quad (3.9)$$

По результатам расчёта строим электромеханическую характеристику (рисунок 3.2).

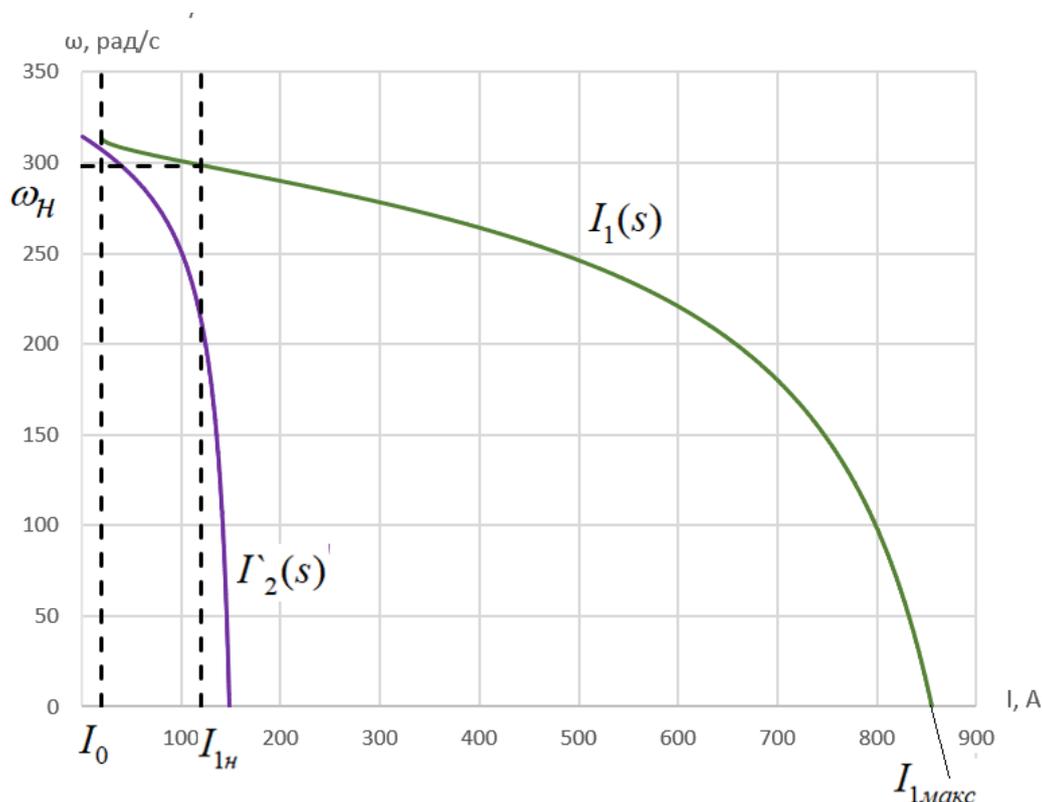


Рисунок 3.2 – Естественная электромеханическая характеристика
Номинальный ток статора:

$$I_2(s_H) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s_H}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s_H \cdot X_\mu}\right)^2}} = \quad (3.10)$$

$$= \frac{981,495}{\sqrt{5,358^2 + \left(2,716 + \frac{1,1}{0,05}\right)^2 + \left(\frac{2,716 \cdot 1,1}{0,05 \cdot 47,949}\right)^2}} = 38,756 \text{ A.}$$

$$\sin \varphi_2(s_H) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s_H}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s_H \cdot X_\mu}\right)^2}} = \quad (3.11)$$

$$= \frac{5,358}{\sqrt{5,358^2 + \left(2,716 + \frac{1,1}{0,05}\right)^2 + \left(\frac{2,716 \cdot 1,1}{0,05 \cdot 47,949}\right)^2}} = 0,212.$$

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(s_H) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(s_H) \cdot \sin \varphi_2(s_H)} = \quad (3.12)$$

$$= \sqrt{19,523^2 + 38,756^2 + 2 \cdot 19,523 \cdot 38,756 \cdot 0,212} = 119,548 \text{ A.}$$

Максимальный ток статора:

$$I_2(s=1) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{X_{KH}^2 + (R_1 + R_2)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{X_\mu}\right)^2}} = \quad (3.13)$$

$$= \frac{981,495}{\sqrt{5,358^2 + (2,716 + 1,1)^2 + \left(\frac{2,716 \cdot 1,1}{47,949}\right)^2}} = 149,194 \text{ A.}$$

$$\sin \varphi_2(s=1) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{X_{KH}^2 + (R_1 + R_2)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{X_\mu}\right)^2}} = \quad (3.14)$$

$$= \frac{5,358}{\sqrt{5,358^2 + (2,716 + 1,1)^2 + \left(\frac{2,716 \cdot 1,1}{47,949}\right)^2}} = 0,815.$$

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(s=1) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(s=1) \cdot \sin \varphi_2(s=1)} = \quad (3.15)$$

$$= \sqrt{19,523^2 + 149,194^2 + 2 \cdot 19,523 \cdot 149,194 \cdot 0,815} = 854,723 \text{ A.}$$

3.3. Механическая характеристика насоса

Момент от сил трения на валу электродвигателя можно принять постоянным и равным:

$$M_{c.дв} = M_{эм.н} - M_{дв.н} = 315,611 - 301,557 = 14,055 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.16)$$

Для центробежного насоса характерен вентиляторный тип нагрузки, поэтому статический момент сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$ будет изменяться в зависимости от скорости вращения двигателя в соответствии с выражением [3]:

$$M_c(\omega) = M_{c.дв} + (M_{c.макс} - M_{c.дв}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{дв.н}} \right)^3 \quad (3.17)$$

где $M_{c.макс} = M_{эм.н} = 315,611 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - момент нагрузки при номинальной скорости вращения.

Механическая характеристика насоса приведена на рисунке 3.3.

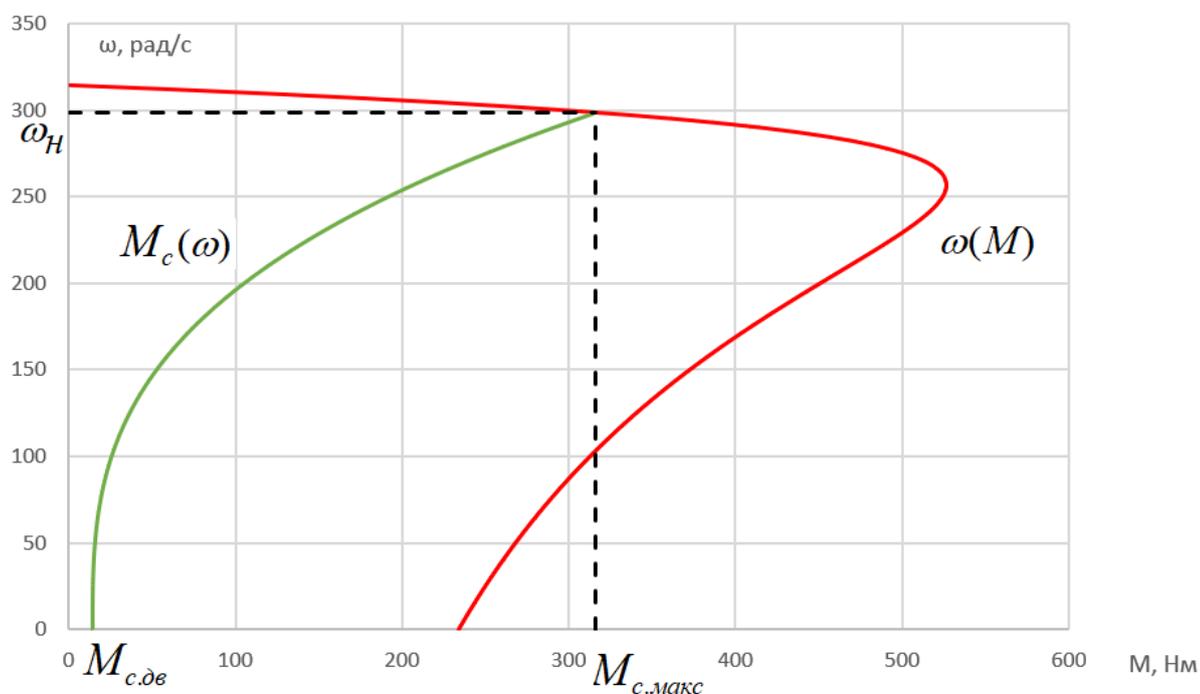


Рисунок 3.3 – Механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ и насосной нагрузки $M_c(\omega)$

Проанализировав характеристики двигателя ПЭД-Я 90-117 М1В5 и насоса ЭЦНА5-200-1302 можно сделать вывод, что двигатель обеспечивает необходимый момент для пуска и работы установки.

Эквивалентный момент инерции принимаем [4]:

$$J_{\text{э}} = 1,2 \cdot J_{\text{дв}} = 1,2 \cdot 0,027 = 0,032 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (3.18)$$

4 Выбор наземного оборудования

4.1. Выбор закона частотного регулирования

В скалярном управлении используются два закона:

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const} - \text{линейный закон управления};$$

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const} - \text{квадратичный закон управления}.$$

Для регулируемых электроприводов центробежных насосов и вентиляторов используется квадратичная зависимость напряжения от частоты. За счёт большего снижения напряжения двигателя при уменьшении частоты достигается уменьшение потребляемой электроприводом энергии. [1]

4.2. Выбор трансформатора

Для питания погружных электроприводных центробежных насосов добычи нефти применяются трансформаторы типа ТМПН.

По номинальной мощности выбранного двигателя вычисляется необходимая мощность трансформатора.

Минимально допустимая мощность ТМПН рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{тр}} = P_{\text{дв.н}} \cdot k = 90000 \cdot 1,6 = 144 \text{ кВт} \cdot \text{а}, \quad (4.1)$$

где $k = 1,6$ - постоянный коэффициент.

Выбираем ТМПН из таблицы (Приложение 1) ТМПН – 160/3 – УХЛ 1.

Выбирается нужная ступень напряжения на трансформаторе (необходимая отпайка ТМПН должна находиться в середине диапазона переключений, для того чтобы была возможность поднять напряжение при возникновении нестандартных ситуаций, например, «заклинивание»), для чего ориентировочно определяется необходимое напряжение на выходе трансформатора с учётом потерь напряжения в кабельной линии по формуле:

$$U_{\text{ст.тр}} = \frac{f}{50} \cdot U_{\text{дв.н}} + \Delta U, \quad (4.2)$$

где $U_{\text{дв.н}} = 1400 \text{ В}$ – номинальное линейное напряжение ПЭД;

ΔU – потери напряжения в кабельной линии;

f – предполагаемая рабочая частота питающего напряжения.

Потери напряжения в кабельной линии приведены в таблице приложения 2.

Расчёт ведём как для кабеля с медными жилами сечением $3 \cdot 16 \text{ мм}^2$.

Для номинального тока ПЭД $I_{\text{дв.н}} = 44,2 \text{ А}$ и температуры пластовой жидкости $70 - 90 \text{ }^\circ\text{С}$ на 1000 м длины кабеля потери напряжения составят 96 В .

Тогда найдём потери напряжения на всей длине кабельной линии:

$$\Delta U = \frac{\text{табл.знач.} \cdot L_k}{1000} = \frac{96 \cdot 2600}{1000} = 249,6 \text{ В}, \quad (4.3)$$

где $L_k = 2600 \text{ м}$ – общая длина кабеля.

Найдём напряжение ступени трансформатора при 60 Гц :

$$U_{\text{ст.тр}} = \frac{f}{50} \cdot U_{\text{дв.н}} + \Delta U = \frac{60}{50} \cdot 981,495 + 249,6 = 1427 \text{ В}. \quad (4.4)$$

Выбираем степень регулирования с напряжением:

$$U_{\text{ст.тр}} = 1470 \text{ В}.$$

Таблица 4.1 – Характеристики трансформатора ТМПН – 160/3 – УХЛ 1

Номинальная мощность, кВа	Количество ступеней регулирования	Номинальное напряжение ВН, В	Потери, Вт		Напряжение к.з., %
			Х.х.	К.з.	
160	25	1250	440	2650	5,5

4.3. Выбор станции управления

Через номинальный ток двигателя и коэффициент трансформации ТМПН вычисляется максимальный ток на первичной обмотке трансформатора. По максимальному току на первичной обмотке подбирается станция управления. В зависимости от потребляемой мощности ПЭД подбирается СУ.

Для ПЭД-Я 90-117 М1В5 из Приложения 3 выбираем СУ с частотным регулированием «Электон-05» 1200.

Таблица 4.2 – Основные характеристики СУ «Электрон-05» 1200

Номинальный ток первичной силовой цепи, А	1200
Номинальная мощность преобразователя (при 380 В), кВА	780
Номинальное напряжение питания, В	380 (50±1Гц)
Диапазон отклонения питающего напряжения от ном. значения, %	-50...+25
Температурный диапазон, °С	-60...+40
Диапазон изменения частоты, Гц	3,5...80±1%
Несущая частота преобразователя, кГц	2,5...10
Габаритные размеры, мм	1973x1204x1208
Масса, кг	805



Рисунок 4.1 – Станция управления Электрон-05 (вид спереди)

5 Расчёт статических характеристик системы ПЧ-ПЭД при частотном регулировании

5.1. Расчёт вольт-частотной характеристики ПЧ

Вольт-частотная характеристика преобразователя при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = const$, рассчитывается по выражению [1]:

$$U_1(f_1) = U_{1\phi} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2. \quad (5.1)$$

Характеристика приведена на рисунке 5.1.

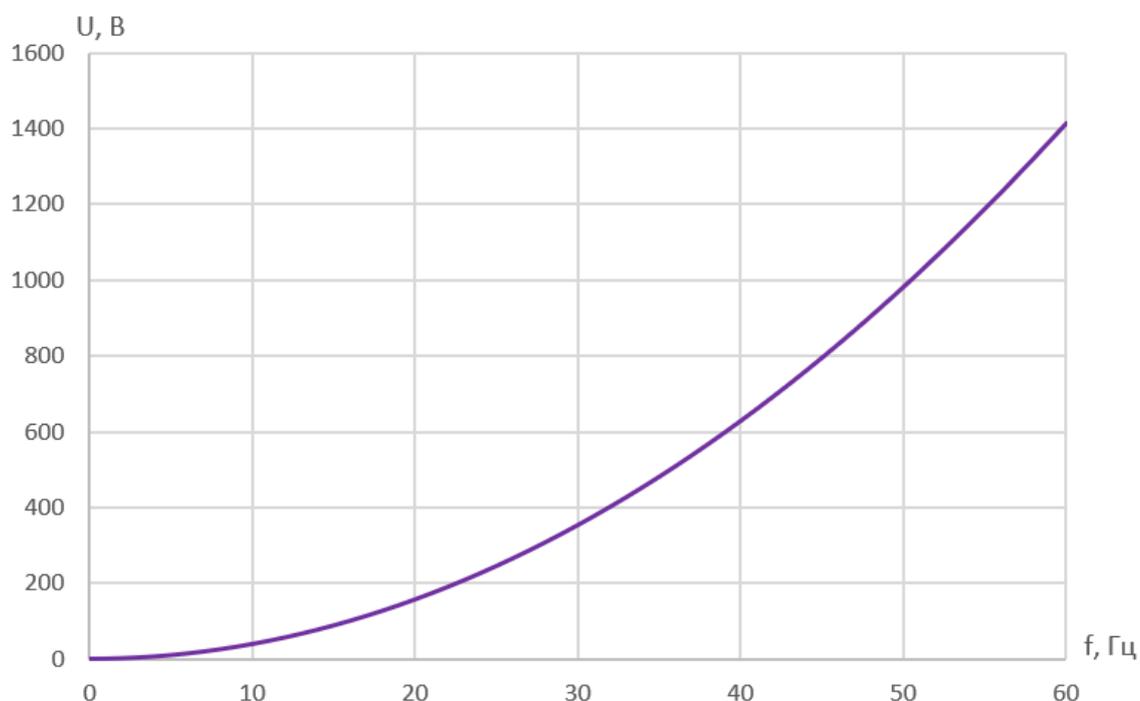


Рисунок 5.1 – Вольт-частотная характеристика ПЧ

Максимальная частота инвертора, соответствующая номинальной рабочей скорости двигателя $\omega_{дв.н} = 298,451 \text{ рад}/\text{с}$, равна $f_{и.макс} = f_{1н} = 50 \text{ Гц}$. [1]

Для обеспечения пусковой характеристики двигателя принимаем минимальную частоту инвертора $f_{и.мин} = 50 \text{ Гц}$.

5.2. Механические характеристики ПЧ-ПЭД при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$

Механические характеристики $\omega(M)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – погружной электродвигатель при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора: $f_{1,1} = 50 \text{ Гц}$; $f_{1,2} = 40 \text{ Гц}$; $f_{1,3} = 30 \text{ Гц}$; $f_{1,4} = 20 \text{ Гц}$; $f_{1,5} = 10 \text{ Гц}$ – рассчитываются с помощью программы Microsoft Excel по выражениям:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{\kappa H} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]}, \quad (5.2)$$

$$\text{где } U_1(f_1) = U_{1\phi} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2;$$

$$\omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1-s).$$

По результатам расчёта строим механические характеристики (рисунок 5.2).

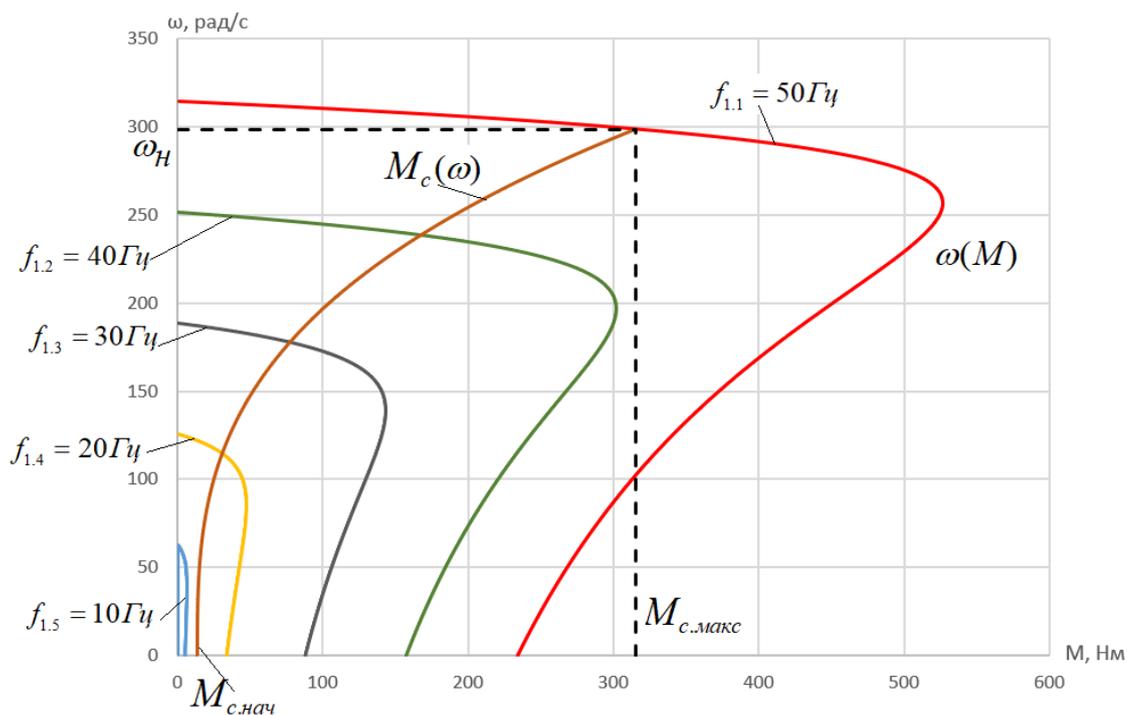


Рисунок 5.2 - Механические характеристики системы ПЧ – ПЭД при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = const$

После анализа характеристик можно сделать вывод, что при частоте 10 Гц пусковой момент двигателя меньше, чем начальный момент нагрузки, а, значит, пуск электропривода обеспечить не получится.

Для обеспечения двукратного пускового момента экспериментально подбираем параметры начального участка вольт-частотной характеристики преобразователя. Окончательно для расчёта выбраны следующие параметры:

$$U_{1нач} = 39 \text{ В}, f_{1нач} = 10 \text{ Гц}.$$

В результате вольт-частотная характеристика представлена зависимостью:

$$U_1(f_1) = U_{1нач} + (U_{1ф} - U_{1нач}) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2. \quad (5.3)$$

Зависимость $U_1(f_1)$ приведена на рисунке 5.3.

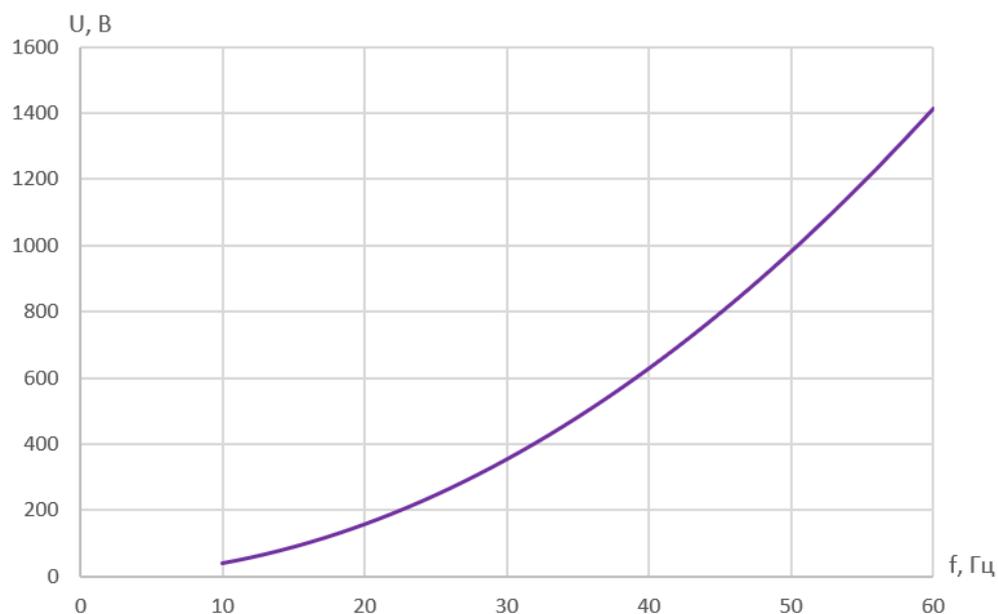


Рисунок 5.3 – Вольт-частотная характеристика ПЧ, изменяющаяся по

$$\text{закону: } U_1(f_1) = U_{1нач} + (U_{1ф} - U_{1нач}) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2.$$

Механические характеристики системы ПЧ – ПЭД, рассчитанные с учётом выбранной настройки вольт-частотной характеристики, представлены на рисунке 5.4.

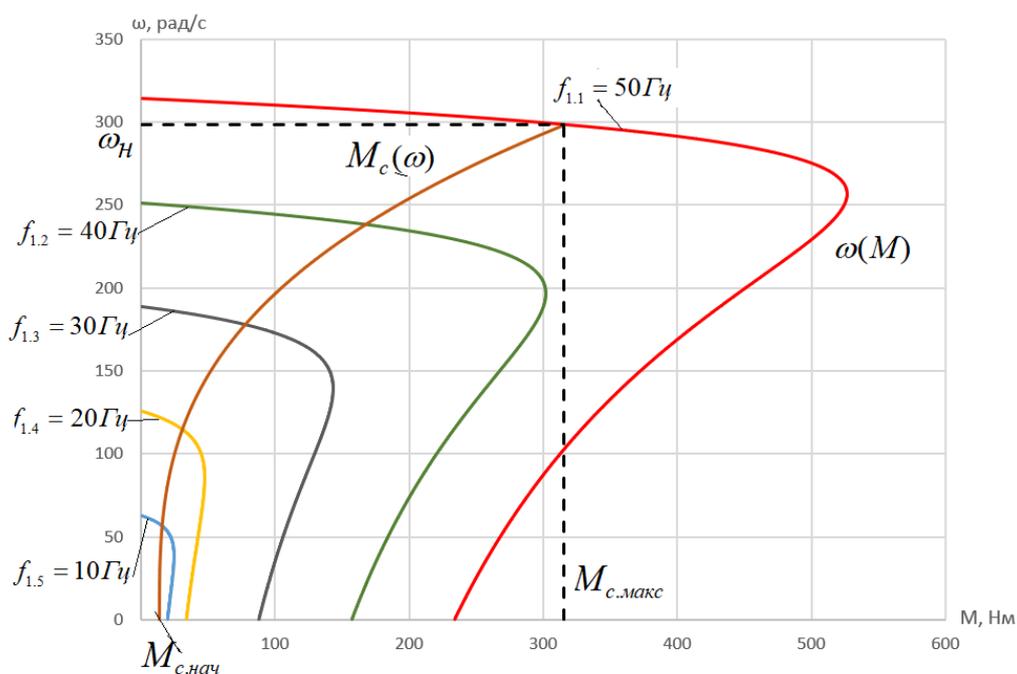


Рисунок 5.4 – Механические характеристики системы ПЧ – ПЭД при настройке на вольт-частотную характеристику:

$$U_1(f_1) = U_{1нач} + (U_{1ф} - U_{1нач}) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2.$$

На данной характеристике при частоте 10 Гц пусковой момент двигателя превышает начальное сопротивление механизма более чем в 3 раза:

$$M_{n.10Гц} = 19,7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\frac{M_{n.10Гц}}{M_{с.нач}} = \frac{19,7}{5,122} = 3,84 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким образом получится обеспечить пуск электропривода при минимальной частоте 10 Гц.

5.3. Электромеханические характеристики ПЧ-ПЭД при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$

Электромеханические характеристики $\omega(I)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – погружной электродвигатель при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора: $f_{1,1} = 50 \text{ Гц}$; $f_{1,2} = 40 \text{ Гц}$; $f_{1,3} = 30 \text{ Гц}$; $f_{1,4} = 20 \text{ Гц}$; $f_{1,5} = 10 \text{ Гц}$ – рассчитываются с помощью программы Microsoft Excel по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)}; \quad (5.4)$$

$$I_2(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{\left(X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2}}; \quad (5.5)$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2}}; \quad (5.6)$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}}{\sqrt{\left(X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2}}, \quad (5.7)$$

$$\text{где } U_1(f_1) = U_{1нач} + (U_{1ф} - U_{1нач}) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2;$$

$$\omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot (1-s).$$

По результатам расчёта строим семейство электромеханических характеристик $\omega(I)$ системы ПЧ – ПЭД (рисунок 5.5).

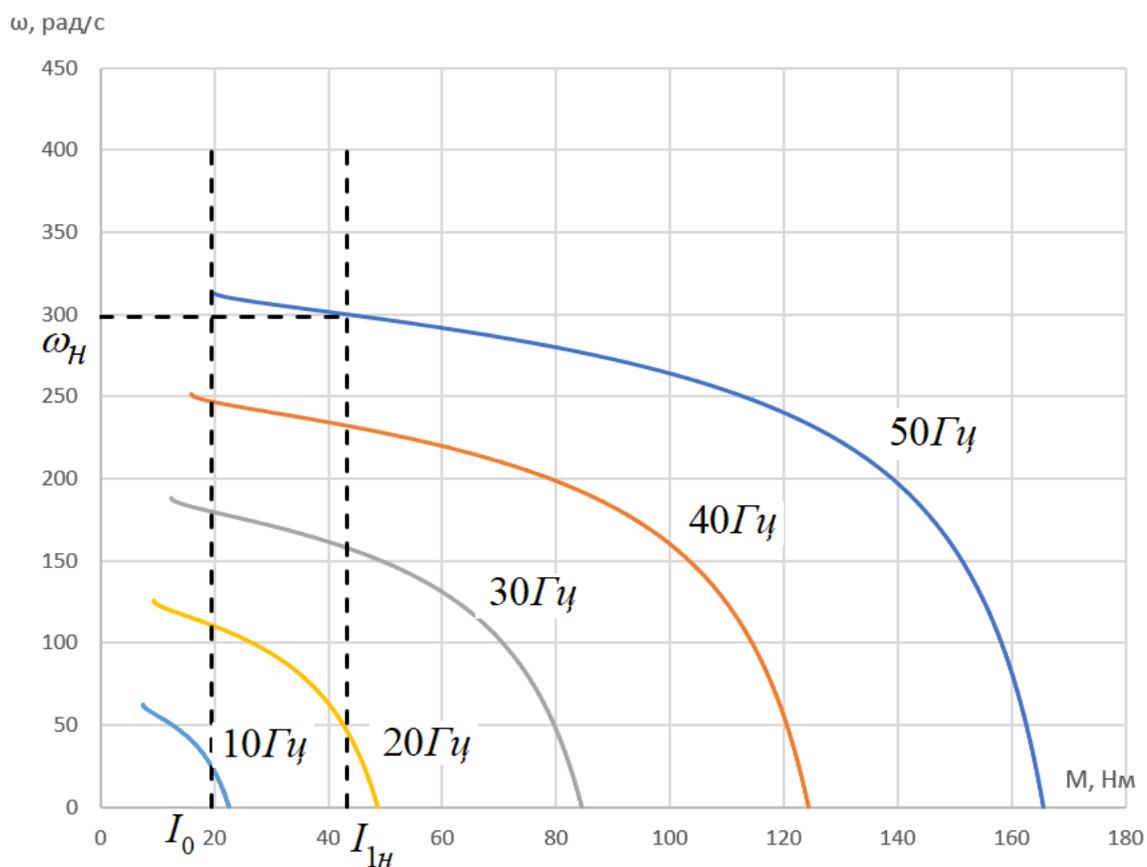


Рисунок 5.5 – Искусственные электромеханические характеристики системы ПЧ - ПЭД при настройке на вольт-частотную характеристику:

$$U_1(f_1) = U_{1нач} + (U_{1ф} - U_{1нач}) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2.$$

6 Частотно-регулируемый электропривод УЭЦН со скалярным управлением

Функциональная схема электропривода изображена на рисунке 6.1.

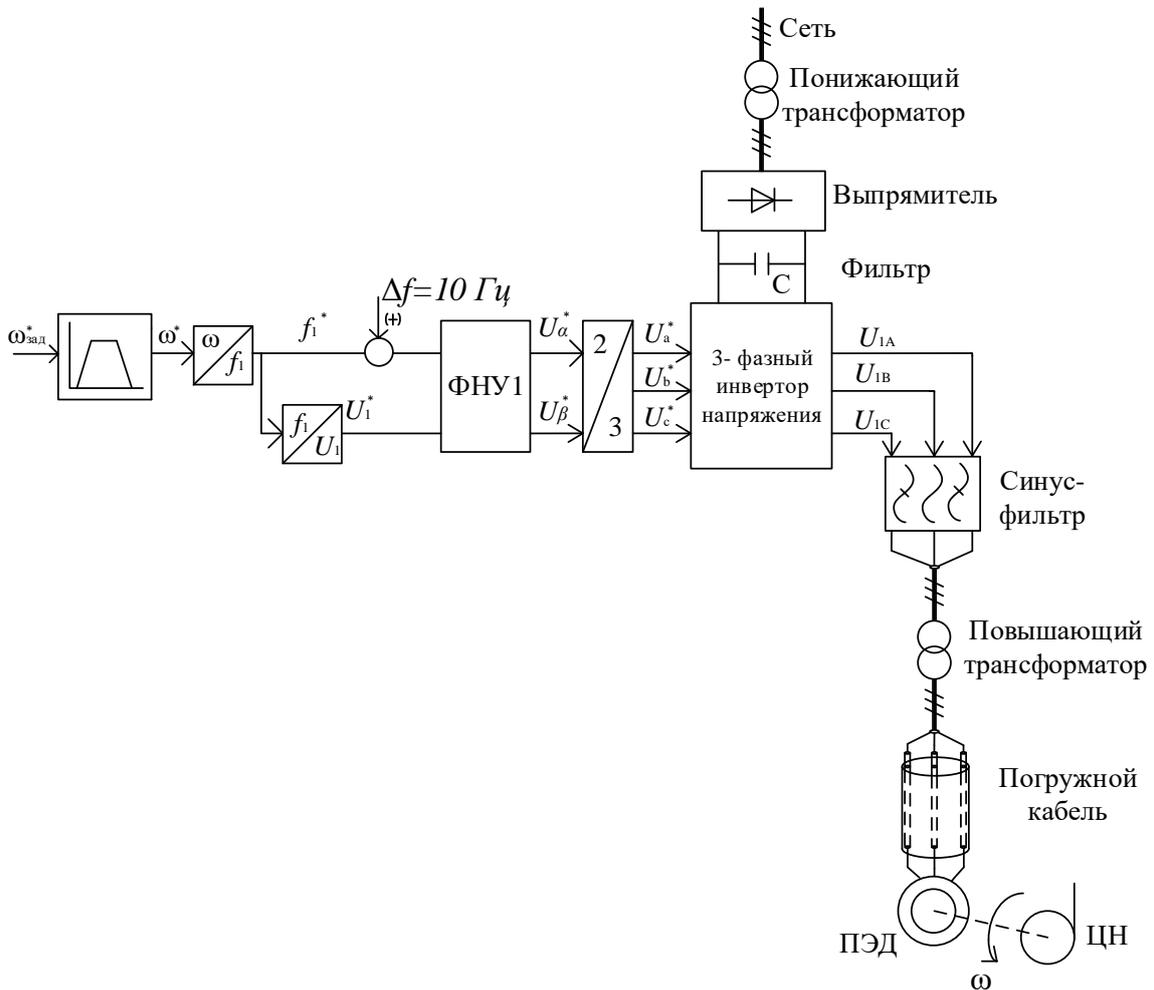


Рисунок 6.1 – Функциональная схема УЭЦН

Система уравнений, описывающих работу асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе α, β имеет вид [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{dI_{1\alpha}}{dt} = \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1\alpha} - \frac{R_{1\vartheta}}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1\alpha} + \frac{R_2 \cdot L_\mu}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} + \frac{L_\mu}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\
\frac{dI_{1\beta}}{dt} = \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1\beta} - \frac{R_{1\vartheta}}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1\beta} + \frac{R_2 \cdot L_\mu}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_\mu}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\
\frac{d\psi_{2\alpha}}{dt} = -\frac{R_2}{L_2} \cdot \psi_{2\alpha} + \frac{R_2 \cdot L_\mu}{L_2} \cdot I_{1\alpha} - z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\
\frac{d\psi_{2\beta}}{dt} = -\frac{R_2}{L_2} \cdot \psi_{2\beta} + \frac{R_2 \cdot L_\mu}{L_2} \cdot I_{1\beta} - z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\
M_{эм} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\
J_\vartheta \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_{эм} - M_c
\end{array} \right. \quad (6.1)$$

где $U_{1\alpha} = U_{1m} \cdot \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t) = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t)$ – косинусоидальная по форме составляющая напряжения статора по оси α ортогональной неподвижной системы координат α, β, B ;

$U_{1\alpha} = U_{1m} \cdot \sin(2\pi \cdot f_1 \cdot t) = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_1 \cdot t)$ – синусоидальная по форме составляющая напряжения статора по оси α ортогональной неподвижной системы координат α, β, B ;

$U_{1m} = \sqrt{2} \cdot U_1$ – амплитудное значение фазного напряжения статорной обмотки, В;

U_1 – действующее значение фазного напряжения статорной обмотки, В;

f_1 – частота напряжения статора, Гц;

$I_{1\alpha}, I_{1\beta}$ – составляющие тока статора (фазные токи обмотки статора) в системе координат α, β, A ;

$\psi_{1\alpha}, \psi_{1\beta}$ – составляющие потокосцепления ротора в системе координат $\alpha, \beta, B\beta$;

$M_{эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Нм;

M_c – момент статического сопротивления на валу двигателя, включая собственный момент сопротивления двигателя, Нм;

$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 \cdot L_2}$ – коэффициент рассеяния;

J_3 – эквивалентный момент инерции электропривода, кг · м².

В операторной форме записи система уравнений принимает вид:

$$\begin{cases} U_{1\alpha} = R_{13} \cdot (T_{13}p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2 \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_{13} \cdot (T_{13}p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2 \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2p + 1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_\mu \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2p + 1) \cdot \psi_{2\beta} - L_\mu \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{эм} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{J_3 \cdot p} \cdot (M_{эм} - M_c) \end{cases} \quad (6.2)$$

где $R_{13} = R_1 + R_2 \cdot \frac{L_\mu^2}{L_2^2}$; $T_{13} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{13}}$; $T_2 = \frac{L_2}{R_2}$.

Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и насосной нагрузкой приведена на рисунке 6.2.

Входные параметры напряжения переменного тока – фазные напряжения статорных обмоток двухфазного АД:

$$U_{1\alpha} = U_{1m} \cdot \sin(2\pi \cdot f_1 \cdot t); \quad U_{1\beta} = U_{1m} \cdot \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t). \quad (6.3)$$

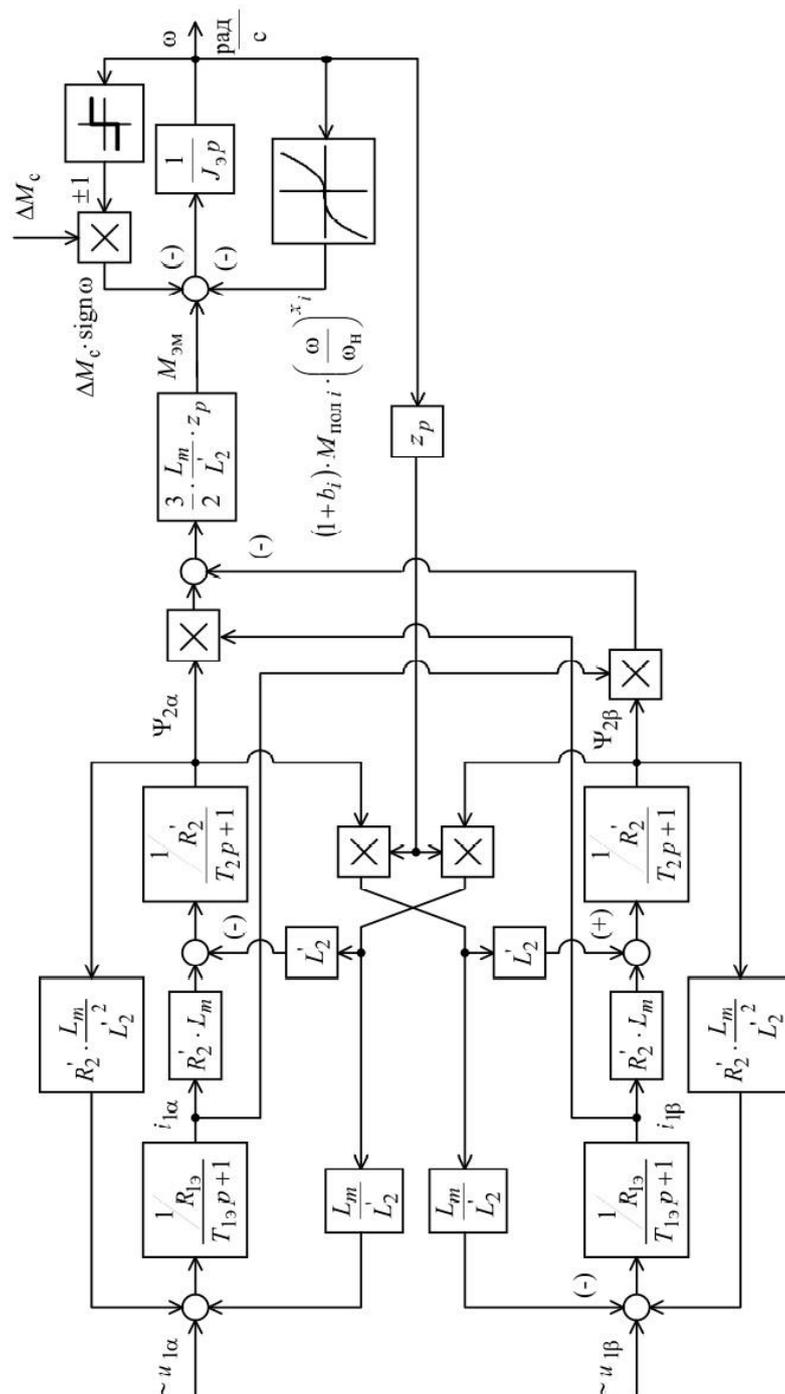


Рис 6.2 – Структурная схема АД с КР с насосной нагрузкой

6.1. Определение параметров звеньев структурной схемы двигателя

Эквивалентные индуктивности обмоток статора и ротора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_\mu = 7,164 \cdot 10^{-3} + 0,153 = 0,16 \text{ Гн}; \quad (6.4)$$

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_\mu = 9,618 \cdot 10^{-3} + 0,153 = 0,162 \text{ Гн}. \quad (6.5)$$

Коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,153^2}{0,16 \cdot 0,162} = 0,101. \quad (6.6)$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_{1\sigma} = R_1 + R_2 \cdot \frac{L_2^2}{L_1^2} = 2,716 + 1,1 \cdot \frac{0,153^2}{0,162^2} = 3,69 \text{ Ом.} \quad (6.7)$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0,101 \cdot 0,16}{3,69} = 0,004394 \text{ с;} \quad (6.8)$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{0,162}{1,1} = 0,147 \text{ с.} \quad (6.9)$$

Для исследования процессов при частотном регулировании в самом электродвигателе и системе ПЧ – ПЭД используем метод имитационного моделирования. В качестве среды моделирования используем программную среду MatLAB/Simulink.

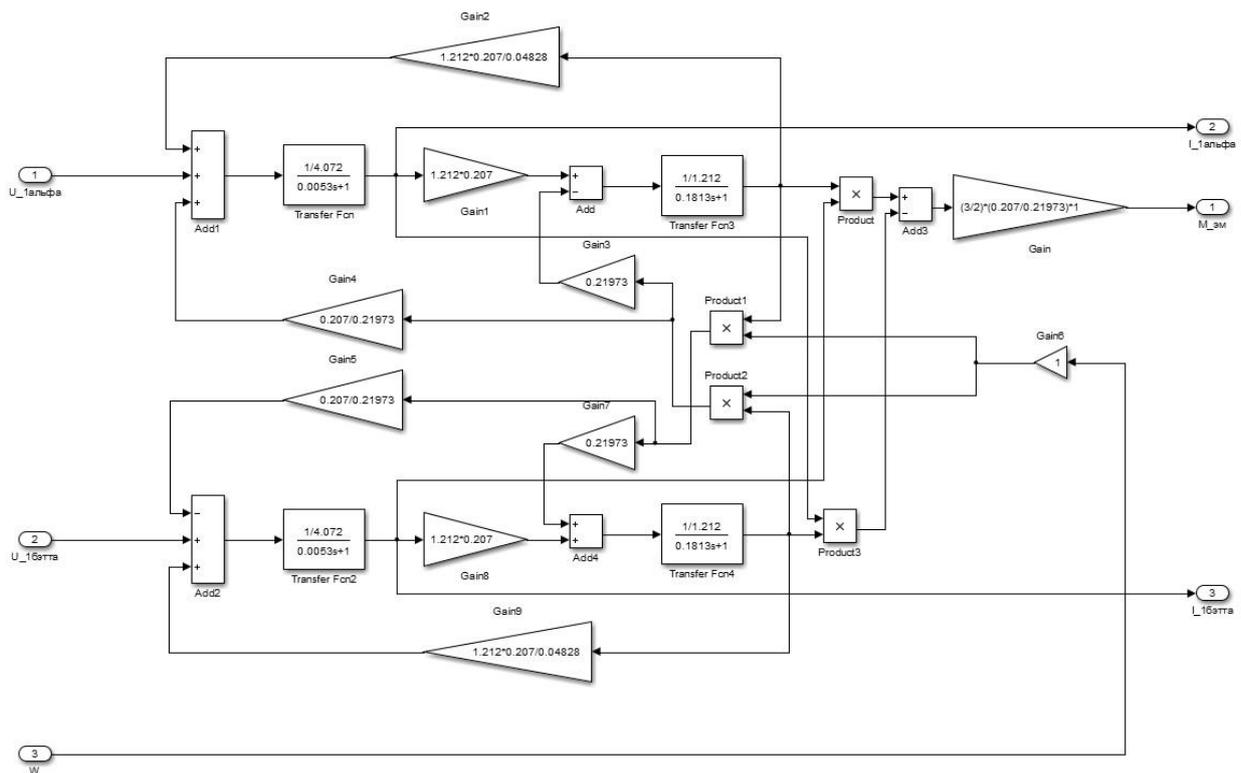


Рисунок 6.3 – Имитационная модель двухфазного АД с КР в программной среде MatLAB/Simulink

Собираем схему силового канала электропривода с двухфазным асинхронным двигателем в неподвижной системе координат.

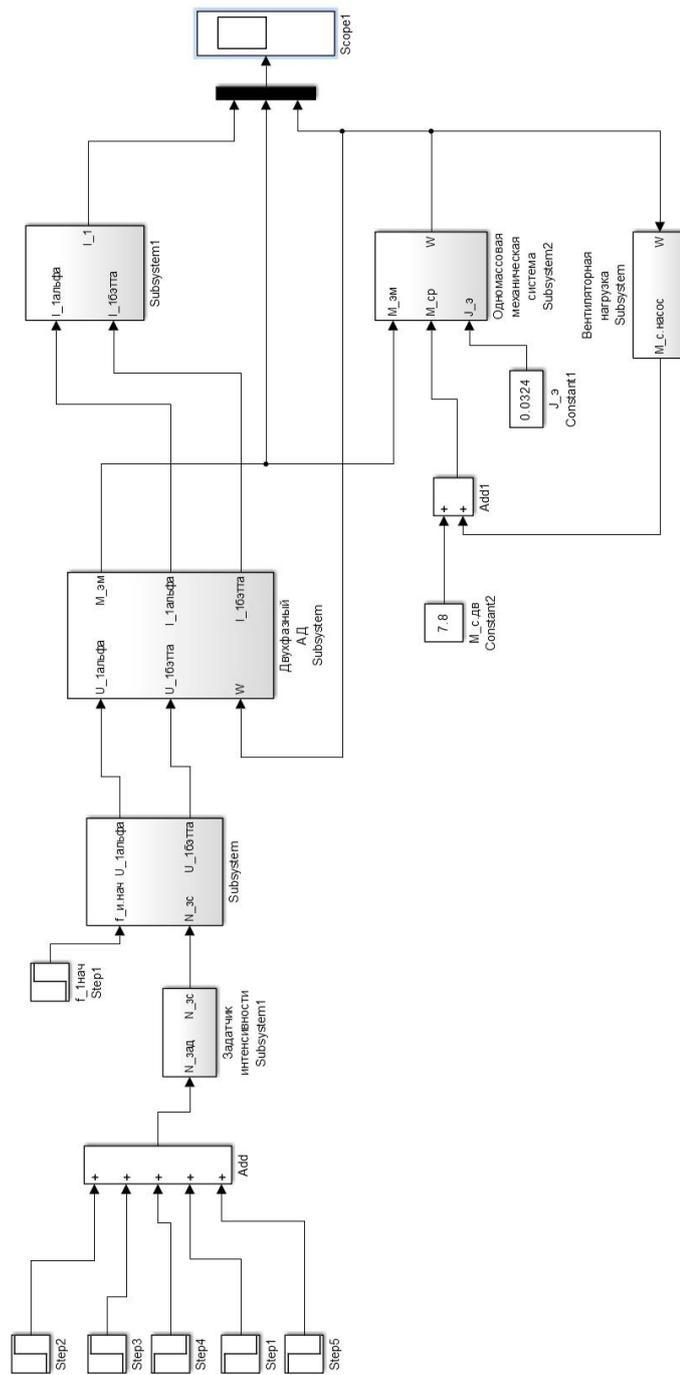


Рисунок 6.4 – Имитационная модель силового канала электропривода со скалярным управлением

В состав схемы входят блоки:

- двухфазный асинхронный двигатель;
- одномассовая механическая система;
- насосная нагрузка;
- формирователь напряжений управления;
- задатчик интенсивности.

Эти блоки представлены далее на рисунках 6.5 – 6-9.

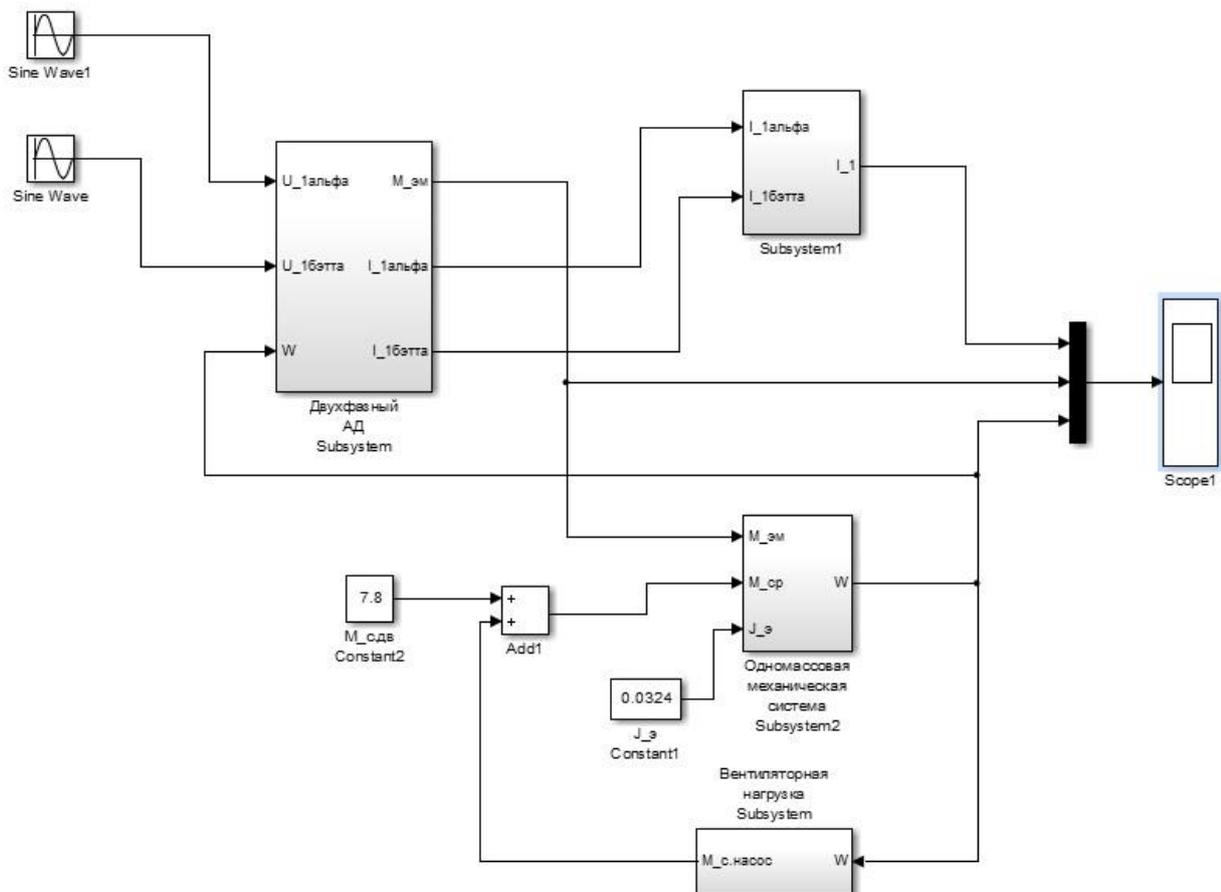


Рисунок 6.5 – Имитационная модель двухфазного асинхронного двигателя с одномассовой механической системой и насосной нагрузкой

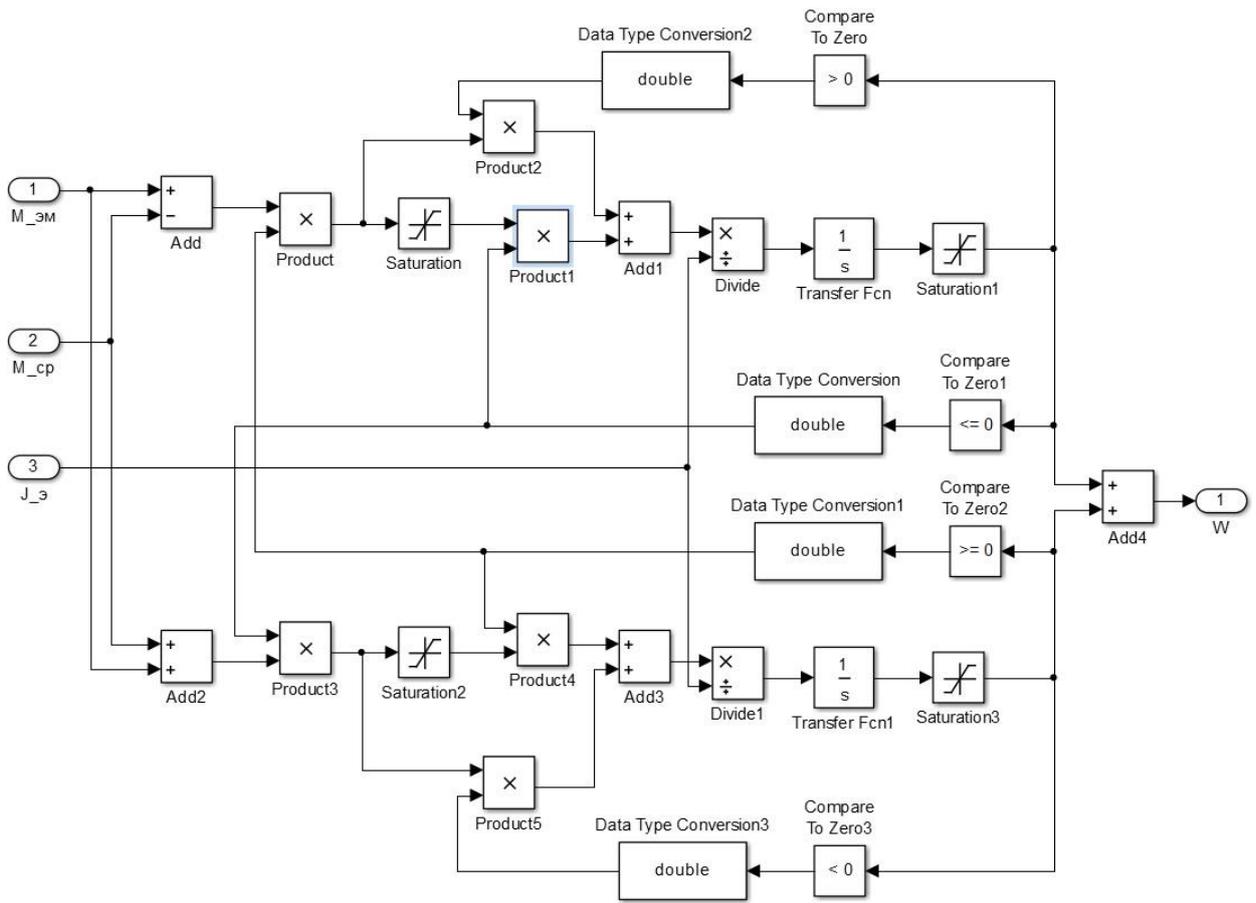


Рисунок 6.6 – Имитационная модель одномассовой механической системы

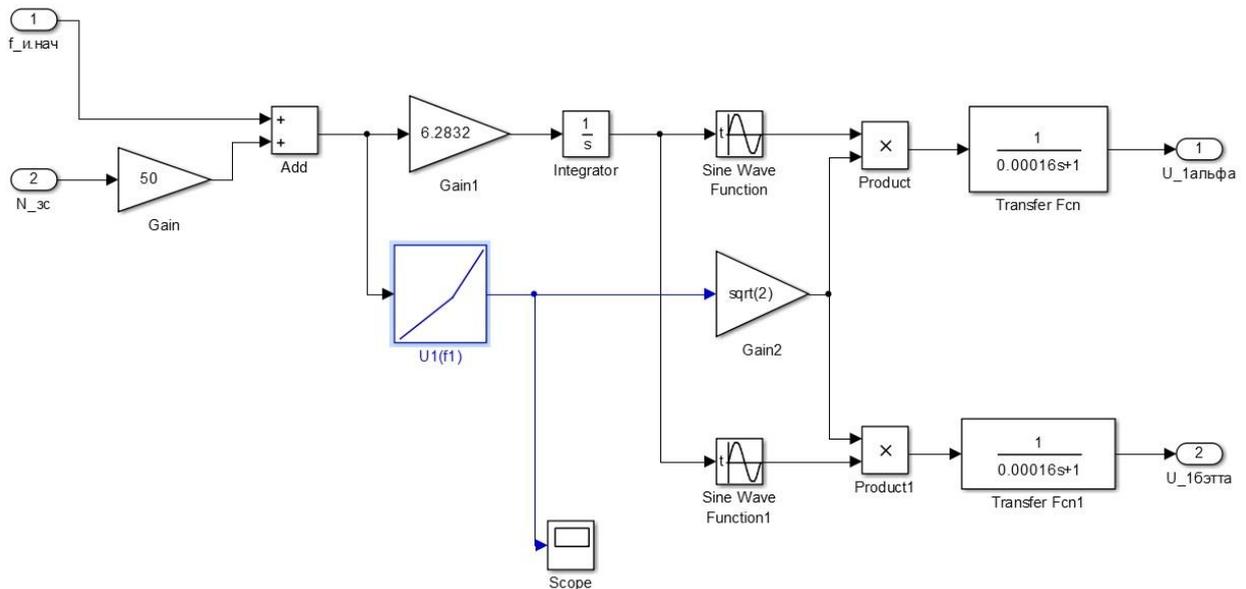


Рисунок 6.7 – Имитационная модель формирователя напряжений управления

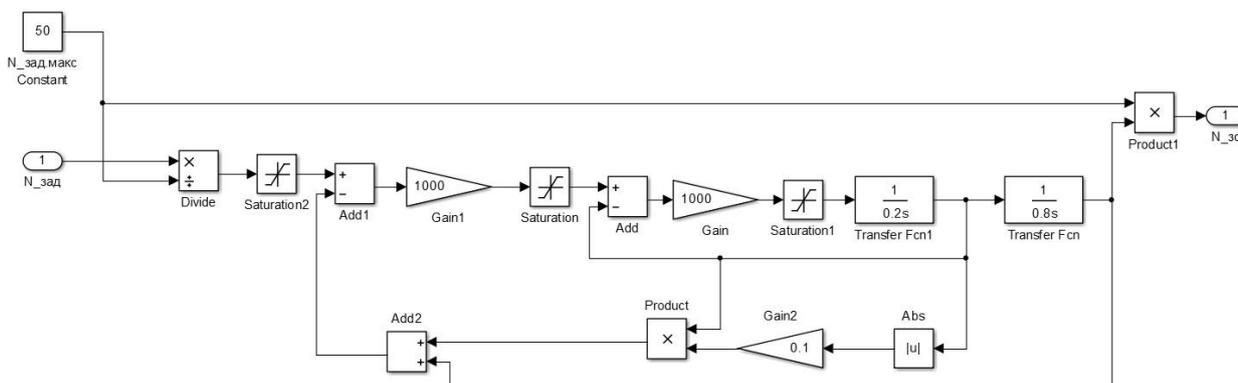


Рисунок 6.8 – Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой

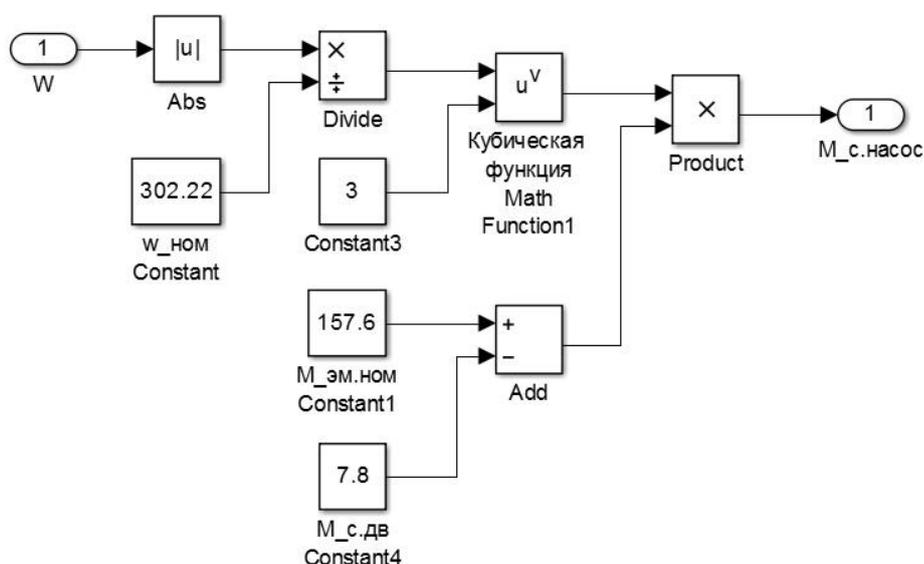


Рисунок 6.9 – Имитационная модель насосной нагрузки

Вольт частотная характеристика задается в блоке ФНУ тремя точками и представлена в таблице 6.1.

$$U_{1j}(f_{1j}) = U_{1нач} + (U_{1\phi} - U_{1нач}) \cdot \left(\frac{f_{1j}}{f_{1н}} \right)^2; \quad (6.10)$$

$$U_{11}(f_{11}) = 39,26 + (981,495 - 39,26) \cdot \left(\frac{50}{50} \right)^2 = 981,495 \text{ В}; \quad (6.11)$$

$$U_{12}(f_{12}) = 39,26 + (981,495 - 39,26) \cdot \left(\frac{35}{50} \right)^2 = 500,955 \text{ В}; \quad (6.12)$$

$$U_{13}(f_{13}) = 39,26 + (981,495 - 39,26) \cdot \left(\frac{10}{50} \right)^2 = 76,949 \text{ В}. \quad (6.13)$$

Таблица 6.1 – Параметры вольт-частотной характеристики преобразователя

f_1 , Гц	10	35	50
U_1 , В	76,949	500,955	981,495

Постоянная времени преобразователя:

$$T_u = \frac{1}{f_{in}} = \frac{1}{6250} \text{ с}, \quad (6.14)$$

где $f_{in} = 6250 \text{ Гц}$ – начальная частота инвертора.

6.2. Моделирование частотно-регулируемого погружного асинхронного электропривода центробежного насоса со скалярным управлением

Сравним три способа пуска погружного электродвигателя и выявим какой способ наиболее благоприятен для УЭЦН. Сравнить будем:

1. Прямой пуск электропривода без преобразователя частоты;
2. Прямой пуск электропривода с преобразователем частоты, но без задатчика интенсивности;
3. Прямой пуск электропривода с преобразователем частоты и задатчиком интенсивности.

6.2.1. Прямой пуск электропривода без преобразователя частоты

Моделирование в программной среде Matlab Simulink пуска без преобразователя частоты представлено на рисунке 6.10.

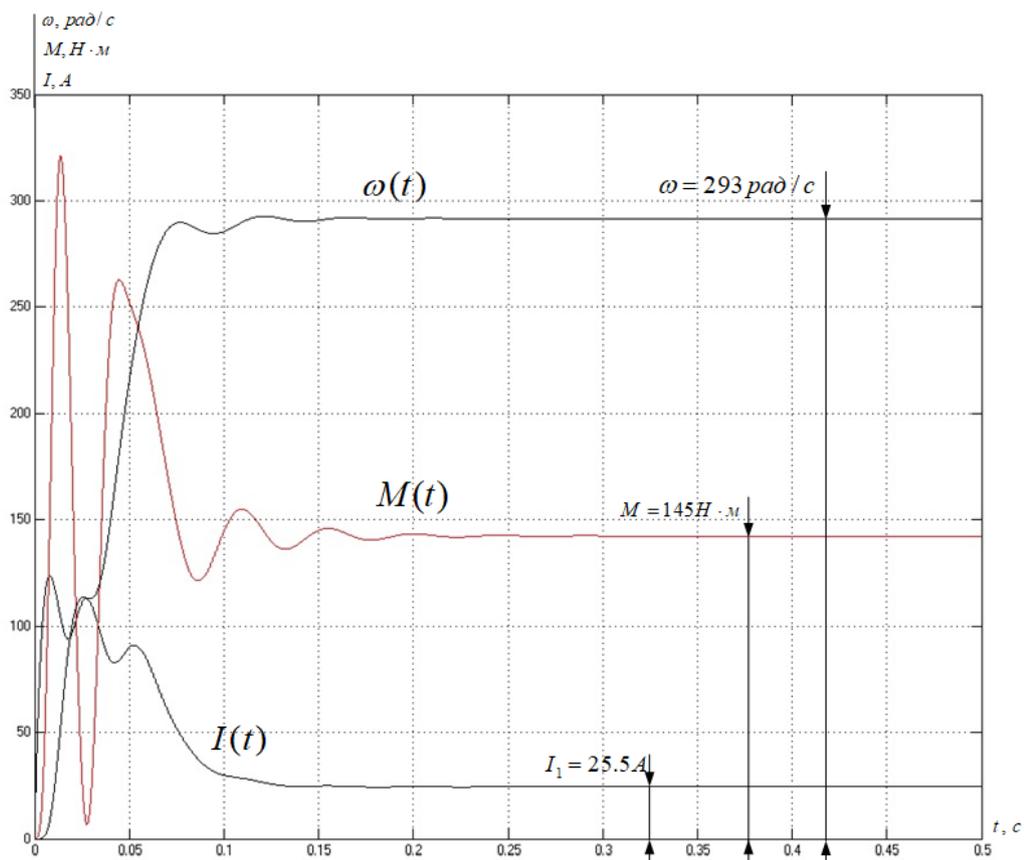


Рисунок 6.10 – Имитация прямого пуска электродвигателя

6.2.2. Прямой пуск электропривода с ПЧ, без задатчика интенсивности

Моделирование в программной среде Matlab Simulink пуска с преобразователем частоты, но без задатчика интенсивности представлено на рисунке 6.11.

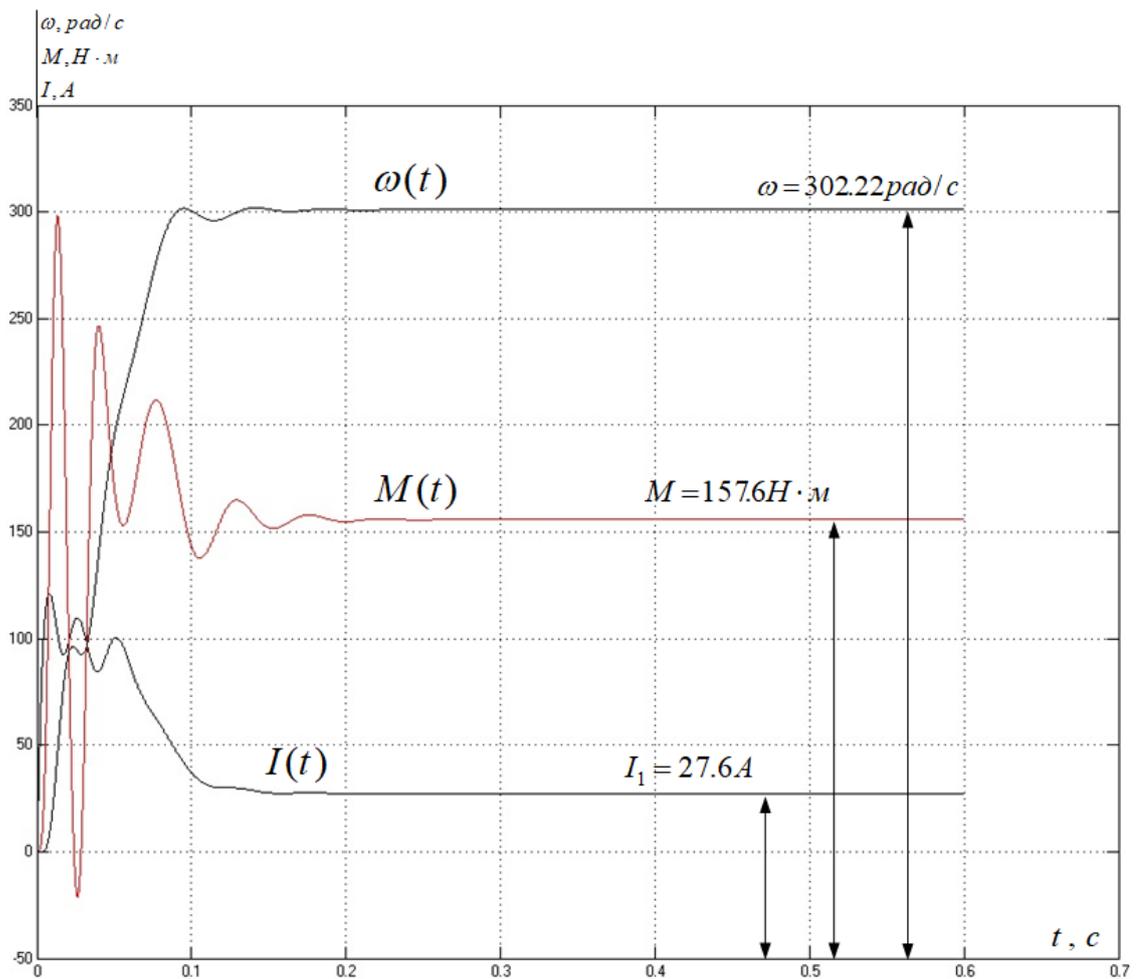


Рисунок 6.11 – Имитация пуска без датчика интенсивности

6.2.3. Прямой пуск с ПЧ и датчиком интенсивности

Моделирование в программной среде Matlab Simulink пуска с преобразователем частоты и датчиком интенсивности представлено на рисунке 6.12.

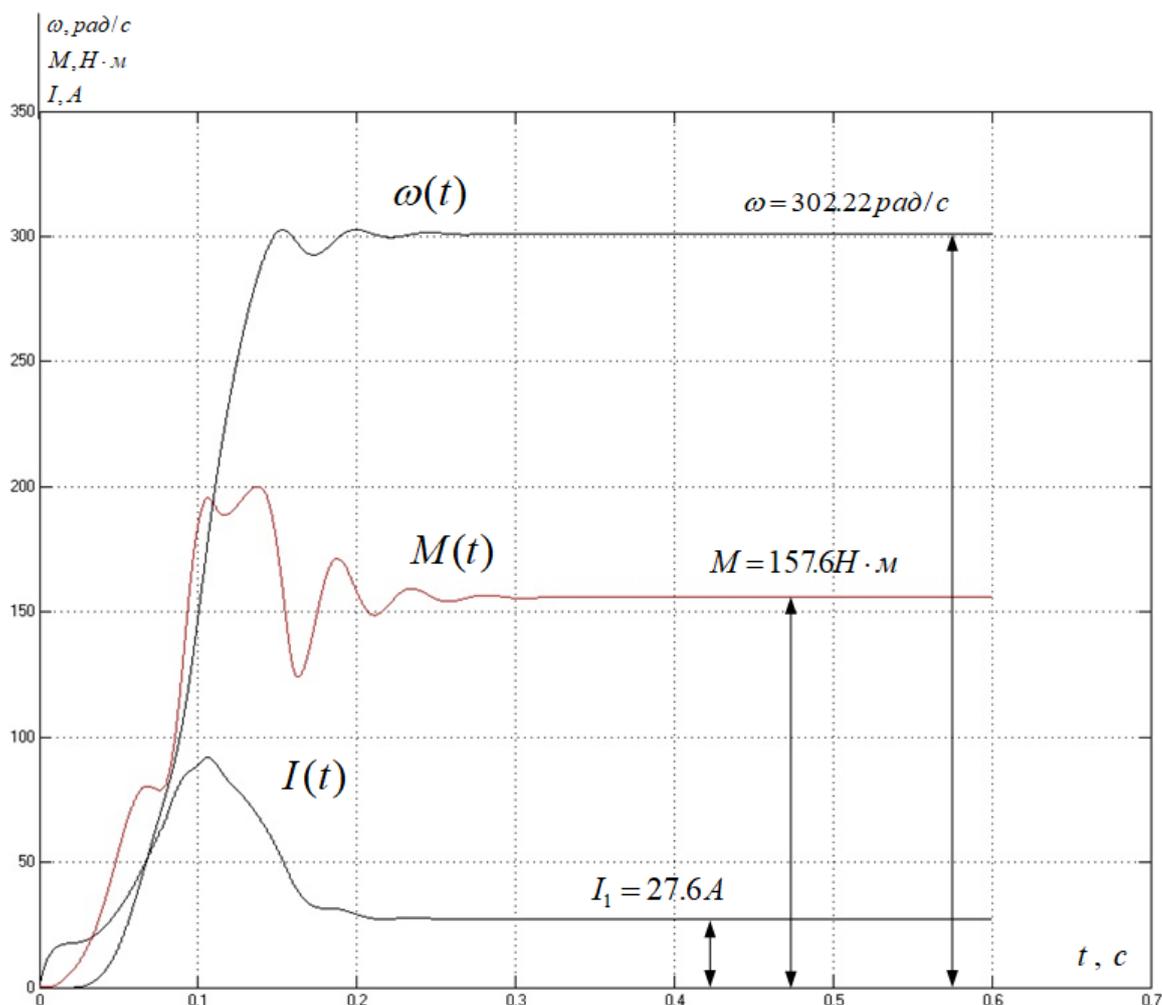


Рисунок 6.12 – Имитация пуска с ПЧ и с задатчиком интенсивности

6.2.4. Имитационное исследование электропривода насоса для различных заданий частоты

В процессе имитационных исследований рассмотрим следующие режимы работы системы электропривод – насос:

- пуск электропривода на минимальную рабочую скорость;
- пуск электропривода с минимальной рабочей скорости на максимальную;
- торможение электропривода с максимальной скорости до минимальной;
- останов электропривода.

В качестве примера рассмотрена отработка электроприводом насоса следующего цикла:

- 1) пуск на минимальную частоту $f_{и.мин} = 10$ Гц;
- 2) работа на минимальной частоте;
- 3) переход на минимальную рабочую частоту ($f_{и} = 35$ Гц);
- 4) работа на минимальной рабочей частоте;
- 5) переход на номинальную рабочую частоту насоса ($f_{р.макс} = 50$ Гц);
- 6) работа на номинальной частоте;
- 7) торможение до минимальной рабочей скорости ($f_{и} = 35$ Гц);
- 8) работа на минимальной рабочей скорости;
- 9) переход на минимальную частоту $f_{и.мин} = 10$ Гц;
- 10) работа на минимальной частоте;
- 11) останов электропривода.

Временные характеристики отработки электроприводом насоса с законом регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройкой вольт-частотной характеристики в соответствии с таблицей 6.1 приведены на рисунке 6.13.

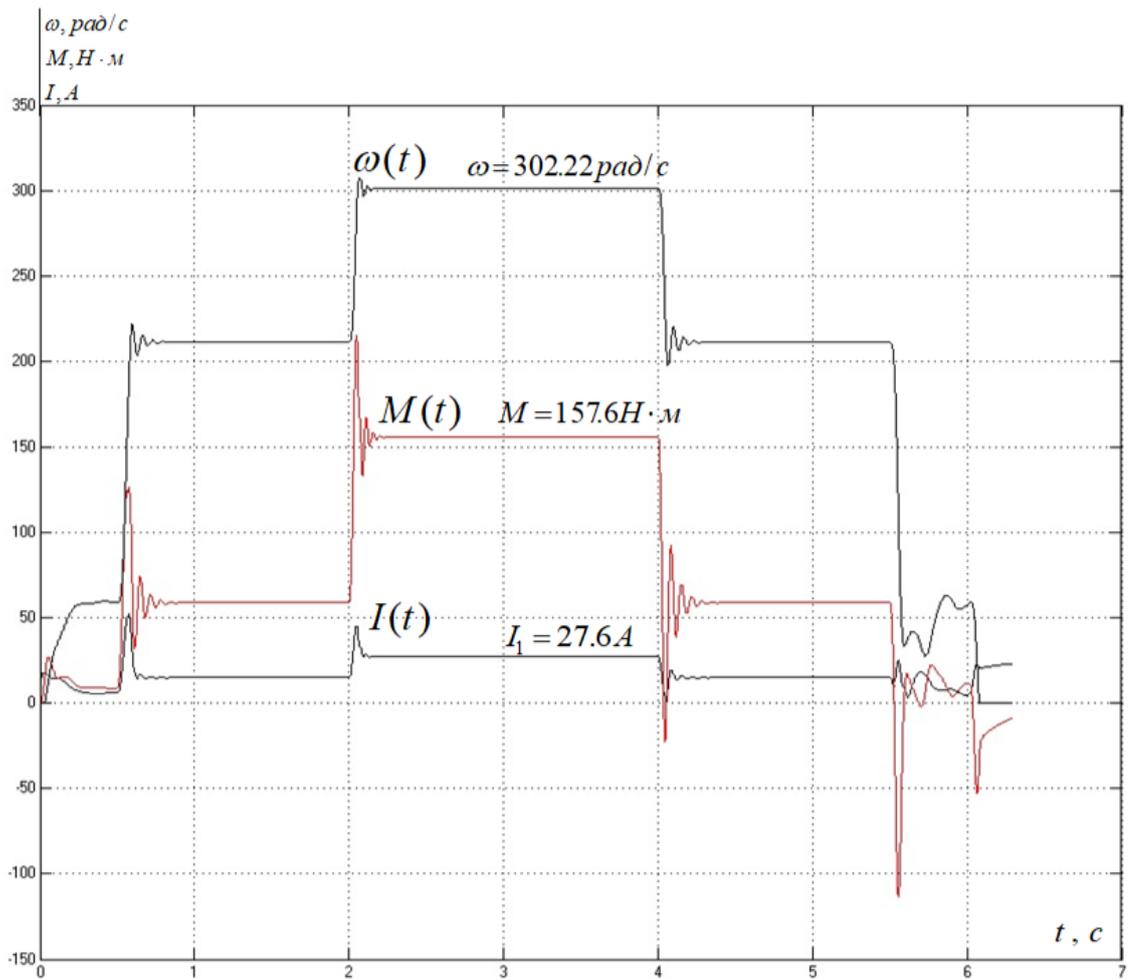


Рисунок 6.13 – Имитационное исследование для различных заданий частоты

По характеристике можно сказать, что броски тока и момента при переходе с одной частоты на другую не столь велики, как при прямом пуске электропривода, а, значит, частотное регулирование обеспечивает более плавный выход на режим номинальной работы.

Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени задатчика скорости.

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа работ по проектированию колебательной мельницы
- Планирование технико-конструкторских работ
- Определение ресурсосберегающей эффективности проекта.

SWOT-анализ технического проекта

SWOT-анализ представляет собой метод анализа планирования производственной или научной деятельности, разделяющий факторы или явления на следующие категории: strengths (сильные стороны), weaknesses (слабые стороны), opportunities (возможности) и threats (угрозы), и состоящий из нескольких этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Матрица SWOT представлена в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Матрица SWOT

	Сильные стороны: С1 Высокая надежность продукции С2 Квалифицированный персонал С3 Принципиальна новая конструкция С4 Качественные материалы С5 Качество обработки	Слабые стороны: Сл1 Продукция не испытана в работе Сл2 Консерватизм потребителей Сл3 Организация систем продаж Сл4 Аварийные ситуации Сл5 Дорогое оборудования
Возможности: В1 Новый вид продукции В2 Уменьшение себестоимости путем внедрения новых технологий В3 Рост рынка В4 Региональные продажи В5 Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы.	В1С1С2С3С4С5 В2С1С3С5 В3С1 В4С1 В5С4	В1Сл1Сл3 В3Сл3Сл4 В4Сл3Сл4 В5Сл1
Угрозы: У1 Конкурентная активность У2 Экономическая угроза У3 Внешние угрозы (налоги, контроль) У4 Отсутствие спроса на новые технологии У5 Сбой в работе с поставщиками	У1С1С3 У2С4 У3С4 У4С3С4	У1Сл2Сл3 У2Сл2Сл3Сл5 У4Сл2Сл3 У5Сл5

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации (таблицы 7.2,7.3).

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Таблица 7.2 - Интерактивная матрица возможностей

	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности	В1	+	+	+	+	+
	В2	+	-	+	-	+
	В3	+	-	-	-	-
	В4	+	-	-	-	-
	В5	-	-	-	+	-
	Слабые стороны проекта					
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	

Окончание таблицы 7.2.

B1	+	-	+	-	-
B2	-	-	-	-	-
B3	-	-	+	+	-
B4	-	-	+	+	-
B5	+	-	-	-	-

Таблица 7.3 - Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	+	-	-
	У2	-	-	-	+	-
	У3	-	-	-	+	-
	У4	-	-	+	+	-
	У5	-	-	-	-	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	+	+	-	-
	У2	-	+	+	-	+
	У3	-	-	-	-	-
	У4	-	+	+	-	-
	У5	-	-	-	-	+

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 7.2 и 7.3, показывает, что самая сильная сторона проекта — это надежность продукции, она является основой для пребывания на рынках продаж. Высокое качество выпускаемой продукции позволяет предприятию быть конкурентно способным как на внутреннем рынке, так и в странах дальнего и ближнего зарубежья. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

При разработке технического проекта инженер нацелен на проектирование с возможно большим внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего на качество и востребованность спроектированного устройства, что немало важно для потребителей. Но и не отменяем тот случай, когда какая-либо одна из слабых сторон окажется наиболее сильным фактором, негативно влияющим на работу устройства, чем все вместе взятые сильные стороны.

Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень

этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 7.4:

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

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Ознакомление с технической документацией- изучение источников технической документации;

№ 4 – Расчет технологической части- расчет технологической части электропривода погружного насоса;

№ 5 – Выполнение графиков, схем- выполнение графиков, схем для технологической части и расчетной части двигателя;

№ 6 – Проверка выполненных расчетов- проверка расчетов технологической части;

№ 7 – Разработка раздела «Финансовый менеджмент»;

№ 8 – Разработка раздела «Социальная ответственность» - выполнение SWOT- анализа , планирование работ по реализации технического проект, составление сметы затрат;

№ 9 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 10 - Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником;

№ 11 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией;

№ 12 – Защита технического проекта.

Таблица 7.4 - Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Обзор научной и технической литературы	Студент-дипломник
Теоретические и расчетные исследования	3	Написание литературного обзора	Студент-дипломник
	4	Расчет технологической части	Студент-дипломник
	5	Выполнение графиков, схем	Студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	6	Проверка выполненных расчетов	Студент-дипломник, Научный руководитель
Разработка технической и экономической документации	7	Разработка раздела «Финансовый менеджмент»	Студент-дипломник
	8	Разработка раздела «Социальная ответственность»	Студент-дипломник
	9	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник
Сдача выпускной квалификационной работы	10	Проверка ВКР	Научный руководитель
	11	Подготовка к защите ВКР	Студент-дипломник, Научный руководитель
	12	Защита ВКР	Студент-дипломник

Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях на основе ряда вероятностных оценок, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов, и рассчитывается следующим образом:

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

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

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

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

Рассчитанные значения трудоемкости и продолжительности работы для выбранных исполнителей приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 - Календарная продолжительность работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел.-дн.						Длительность работ в рабочих днях	
		t_{min}		t_{max}		$t_{ожи}$			
		НР	СД	НР	СД	НР	СД	НР	СД
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-	1	-
2	Обзор научной и технической литературы	-	5	-	13	-	8	-	12
3	Написание литературного обзора	-	1	-	3	-	1,8	-	7
4	Расчет технологической части	-	5	-	8	-	6	-	6
5	Выполнение графиков, схем	-	2	-	5	-	3	-	7
6	Проверка выполненных расчетов	1	1	1	1	1	1	1	3
7	Разработка раздела «Финансовый менеджмент»	-	9	-	12	-	10	-	10
8	Разработка раздела «Социальная ответственность»	-	9	-	12	-	10	-	10
9	Составление пояснительной записки	-	10	-	14	-	11,6	-	14
10	Проверка ВКР	-	1	-	3	-	1,8	-	2
11	Подготовка к защите ВКР	2	2	5	5	3,2	3,2	3	3
12	Защита ВКР	-	1	-	1	-	1	-	1
	Итого								75

Разработка графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы выше строим план-график проведения работ (таблица 7.6).

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает порядка 9 декад. Продолжительность выполнения технического проекта составит 75 дней.

Таблица 7.6 – Календарный план-график разработки технического проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Март	Апрель			Май			Июнь		
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	1	—									
2	Обзор научной и технической литературы	Студент	12	—									
3	Написание литературного обзора	Студент	7		—								
4	Расчет технологической части	Студент	6			—							
5	Выполнение графиков, схем	Студент	7			—							
6	Проверка выполненных расчетов	Студент, Научный руководитель	3				—						
			1				—						
7	Разработка раздела «Финансовый менеджмент»	Студент	10					—					
8	Разработка раздела «Социальная ответственность»	Студент	10						—				
9	Составление пояснительной записки	Студент	14							—			
10	Проверка ВКР	Научный руководитель	2								—		
11	Подготовка к защите ВКР	Студент, Научный руководитель	3										—
			3										—
12	Защита ВКР	Студент	1										—

— Студент-дипломник

— Научный руководитель

Составление сметы технического проекта

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

1. Материальные затраты технического проекта;
2. Полная заработная плата исполнителей;
3. Отчисления во внебюджетные фонды;
4. Накладные расходы.

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются, так как необходимые материалы для технического проекта включены в накладные расходы.

Расчет полной заработной платы исполнителей

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как

$$З_{\text{полн}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}},$$

где $З_{\text{осн}}$ - основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ - дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата — это базовая часть зарплаты сотрудников, представляющая собой вознаграждение за труд в фиксированной форме. При этом существует 2 формы такого вознаграждения:

Оклад — ежемесячная фиксированная сумма. Эту форму можно назвать гарантированным минимумом, который полагается каждому добросовестному сотруднику. При этом важно понимать, что заработок не всегда равен установленному окладу: он может быть выше, если к окладу добавляются платежи стимулирующего или компенсационного характера.

Тарифная ставка — это плата за выполненную в оговоренный срок норму (п. 9 методических рекомендаций, утв. приказом Минтруда от 30.09.2013 № 504):

- времени, т. е. количества потраченных на выполнение работы часов (минут, суток и т. п.);
- численности, т. е. затрат усилий определенного количества работников на выполнение работы;
- обслуживания, т. е. числа объектов, которые сотрудник обслуживает в рабочее время.

Основная заработная плата исполнителя рассчитывается, исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле :

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}},$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.;

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

раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 6.7.

Таблица 7.7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$Z_{\text{р.к.}}$, руб.	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	33664	10110	43774	1683	31	52170
Студент-дипломник	12200	2880	15860	610	73	44530
<i>Итого</i>						<i>96700</i>

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{доп}}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 7.8.

Таблица 7.8 - Расчет полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн. руб.}}$	$Z_{\text{доп. руб.}}$	$Z_{\text{полн. руб.}}$
Научный руководитель	0,15	52170	7825	60000
Студент-дипломник	0,12	44530	5343	50000
<i>Итого</i>		96700	13168	110000

Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{полн}},$$

где $k_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 110000 = 33220 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от общей суммы затрат.

Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 7.9.

Таблица 7.9 - Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
Материальные затраты ТП	11,7	6,3
Затраты на оплату труда	110,0	59,8
Отчисления во внебюджетные фонды	33,2	17,9
Накладные расходы	30,1	16,0
<i>Итого</i>	<i>185,0</i>	<i>100,0</i>

Исходя из сметы затрат, на технический проект требуется 185 тыс. рублей. Продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 75 раб. дней для студента. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 185 тыс. руб., из которых основная часть (59,8 %) приходится на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Оценку характеристик проекта проводится на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Стойкость - одно из свойств полимера, характеризующее возможность изменения его характеристик при воздействии внешних факторов.

2. Безотказность — это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

3. Негорючесть — это комплексная характеристика материала или конструкции кабельного изделия противостоять возгоранию и распространению процесса горения.

4. Экономия - низкий уровень цен на используемые в конструкции материалы.

5. Экологичность — это свойство, характеризующее безопасное влияние на окружающую среду при обработке или переработке материала.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 7.10.

Таблица 7.10 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Стойкость	0,25	5
2. Безотказность	0,25	5
3. Негорючесть	0,17	4
4. Экономия	0,14	4
5. Экологичность	0,19	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,17 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,19 = 4,73$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующий вывод:

- в результате проведения SWOT- анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение 42 производительности, безопасности и экономичности технического производства.

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

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

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,7 по 5- балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства электропривода погружного насоса путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при производстве.

8 Социальная ответственность

Введение

В процессе трудовой деятельности, каждый вовлечённый человек подвергается воздействию целого комплекса производственных факторов, которые способны влиять на здоровье человека. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называется условиями труда.

Реальные условия труда характеризуются различными вредными и опасными факторами. При этом, между опасными и вредными факторами не существует чёткой границы, каждый фактор может рано или поздно привести к потере здоровья.

Тема моей выпускной квалификационной работы погружные электродвигатели. Применяются они в установке электроцентробежного насоса для добычи нефти. Погружные двигатели являются приводом электроцентробежных насосов, преобразующим электрическую энергию, которая подаётся по силовому трёхжильному кабелю сверху в зону подвески установки, в механическую энергию вращения насосов. В работе изучаются особенности работы двигателя в осложнённых условиях. А также рассматриваются опасные и вредные факторы при работе ПЭД.

8.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения

8.1.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства

Целями трудового законодательства являются установление государственных гарантий трудовых прав и свобод граждан, создание благоприятных условий труда, защита прав и интересов работников и работодателей.

Согласно статье 212 ТК РФ работодатель должен обеспечить безопасных условий и охраны труда.

Для работников, условия труда на рабочих местах которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда

устанавливается сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю [ТК РФ Статья 92].

На работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами, которые устанавливаются в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации [ТК РФ Статья 221].

Санитарно-бытовое обслуживание и медицинское обеспечение работников в соответствии с требованиями охраны труда возлагается на работодателя. В этих целях работодателем по установленным нормам оборудуются санитарно-бытовые помещения, помещения для приема пищи, помещения для оказания медицинской помощи, комнаты для отдыха в рабочее время и психологической разгрузки; организуются посты для оказания первой помощи, укомплектованные аптечками для оказания первой помощи; устанавливаются аппараты (устройства) для обеспечения работников горячих цехов и участков газированной соленой водой и другое [ТК РФ Статья 223].

Т.к. работа на нефтяных скважинах в частых случаях предусматривает работу вахтовым методом, то лицам, выполняющим работы вахтовым методом, за каждый календарный день пребывания в местах производства работ в период вахты, а также за фактические дни нахождения в пути от места нахождения работодателя (пункта сбора) до места выполнения работы и обратно выплачивается взамен суточных надбавка за вахтовый метод работы [ТК РФ Статья 302].

Дополнительные гарантии и компенсации лицам, работающим в условиях Крайнего Севера и приравненных к ним местностям, могут устанавливаться законами и иными нормативными правовыми актами

субъектов Российской Федерации, нормативными правовыми актами органов местного самоуправления, коллективными договорами, соглашениями, локальными нормативными актами исходя из финансовых возможностей соответствующих субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и работодателей [ТК РФ Статья 313].

Размер районного коэффициента и порядок его применения для расчета заработной платы работников организаций, расположенных в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, устанавливаются Правительством Российской Федерации [ТК РФ Статья 316].

Кроме установленных законодательством ежегодных основного оплачиваемого отпуска и дополнительных оплачиваемых отпусков, предоставляемых на общих основаниях, лицам, работающим в районах Крайнего Севера, предоставляются дополнительные оплачиваемые отпуска продолжительностью 24 календарных дня, а лицам, работающим в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера, - 16 календарных дней [ТК РФ Статья 321]. [11]

8.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основные эргономические требования:

- Конструкция производственного оборудования должна обеспечивать выполнение трудовых операций в оптимальных зонах моторного поля рук и ног в зависимости от требуемой точности и частоты действий. При проектировании оборудования следует обеспечить возможность чередования рабочих поз «стоя» - «сидя».
- Средства отображения информации должны быть размещены в зонах информационного поля с учетом частоты и значимости поступающей информации, типа средств отображения информации, точности и скорости слежения и считывания.

- Органы управления следует размещать на оборудовании с учетом их функционального назначения, частоты применения, последовательности использования функциональной связи с соответствующими средствами отображения информации (СанПиН 2.2.2. 540-96).
- Все движущиеся и вращающиеся элементы оборудования должны быть надежно ограждены, иметь блокировки для исключения травматизма. Возможную опасность следует обозначить сигнальными цветами и знаками безопасности.
- Цветовое решение оборудования должно соответствовать требованиям эргономики и технической эстетики. -Расстояния между оборудованием должны обеспечить безопасное передвижение работающих и транспортных средств.
- Для привлечения внимания сигнал следует модулировать (прерывистые трели, биения - 1 -2 ударов в секунду). Звуковые сигнализаторы рекомендуется комбинировать с визуальными. Например, звуковой сигнал включается при возникновении неполадок в оборудовании, а световой сигнал информирует о месте, где они произошли.

8.2. Производственная безопасность

8.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования

Эксплуатация любого оборудования сопряжена с опасными и вредными производственными факторами, воздействие которых на персонал приводит к заболеваниям и травмам.

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов,

вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. В связи с чем необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать в процессе эксплуатации погружных электродвигателей в составе УЭЦН.

Результаты проведенного анализа представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Опасные и вредные факторы при эксплуатации объекта исследования

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы			Нормативные документы
	Разраб.	Прозв.	Экспл.	
Отклонение показателей микроклимата в помещении	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [2].
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [3].
Поражение электрическим током		+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [4].
Повышенный уровень вибрации на рабочем месте		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [5]
Повышенный уровень шума на рабочем месте	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [6]
Опасность при работе с движущимися частями оборудования		+	+	ГОСТ 12.2.003-91 [7]
Электробезопасность повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+	+	ГОСТ 12.1.038-82 [8]
Электрические поля промышленной частоты		+	+	ГОСТ 12.1.002-84 [9]
Повышенная загазованность			+	ГОСТ 12.1.007- 76 [10]

8.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте работника

Повышенный уровень шума на рабочем месте

В производственных условиях источниками шума являются: работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты, электрические машины, компрессоры, кузнечнопрессовое, подъемно-транспортное, вспомогательное оборудование (вентиляционные, насосные установки, кондиционеры) и т.д

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

Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Шум способен увеличивать содержание в крови таких гормонов стресса, как кортизол, адреналин и норадреналин - даже во время сна. Чем дольше эти гормоны присутствуют в кровеносной системе, тем выше вероятность, что они приведут к опасным для жизни физиологическим проблемам. [22]

Для защиты от шума по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89; [21]

Специальными средствами индивидуальной защиты являются наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении шума на рабочих местах.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука и звукового давления на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 8.2. [16]

Таблица 8.2 – Допустимые уровни шума

Помещения, рабочие места	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения для размещения шумного оборудования	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Повышенный уровень вибрации на рабочем месте

Источниками вибрации являются механизмы, машины, механизированный инструмент. Вибрации могут быть непреднамеренными (например, из-за плохой балансировки и центровки вращающихся частей машин и оборудования, пульсирующего движения жидкости и т.д.), а также специально используемыми в технологических процессах.

При действии на организм общей вибрации страдает в первую очередь нервная система и анализаторы: вестибулярный, зрительный, тактильный. Вибрация является специфическим раздражителем для вестибулярного анализатора, причем линейные ускорения – для отолитового аппарата, расположенного в мешочках преддверия, а угловые ускорения – для полукружных каналов внутреннего уха.

Допустимые уровни вибрации в производственных помещениях предприятий представлены в таблице 8.3. [15]

Таблица 8.3 – Допустимые уровни вибраций

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До 3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27

Окончание таблицы 8.3.

0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120

Для того, чтобы снизить влияние вибрирующих машин и другого оборудования на организм человека применяют нижеперечисленные меры и средства:

- применение виброизоляции виброизолирующих машин относительно основания;
- использование дистанционного управления в технологических процессах;
- использование автоматики в технологических процессах, где работают вибрирующие материалы.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания чётких или сомнительных сигналов.

Освещение должно обеспечивать выполнение работы без напряжения зрения. Применяют два вида освещения: естественное и искусственное. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы.

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Нормируемый показатель искусственного по п.191 составляет 150 лк. [13]

Повышенный уровень электромагнитного излучения

Источниками электромагнитного излучения служит работа различных электрических механизмов и приборов. Например:

- ЛЭП;
- установки для преобразования напряжения электрической сети (трансформаторы);
- подъёмное оборудование;
- устройства с ЭЛТ дисплеем (компьютеры);
- инженерные системы, обеспечивающие подачу электричества к различным объектам (кабельные линии, розетки, электросчётчики) и т.д.

Высокой чувствительностью к воздействиям электромагнитного излучения обладает сердечно-сосудистая система, нервная система.

Излучения способны вызвать:

- нервные расстройства;
- нарушение сна;
- значительное ухудшение зрительной активности;
- ослабление иммунной системы, различные нарушения жизнеобразующих процессов;
- расстройства сердечно-сосудистой системы.

В соответствии с ГОСТ 12.1.002-84 - для персонала, обслуживающего электроустановки и находящиеся в зоне создаваемого ими ЭМП устанавливаются предельно допустимые уровни напряженности электрического поля частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в ЭМП. [19]

Если напряженность электрического поля на рабочих местах превышает 5 кВ/м, работы должны производиться в экранирующих комплектах. Экранирующая одежда является защитным устройством, защищающий персонал от всех видов воздействия электрического поля.

Электробезопасность

В процессе эксплуатации электрооборудования персонал производит определенную работу в различных помещениях, которые согласно ГОСТ 12.1.030-81 классифицируются по степени опасности поражения людей электрическим током как помещения с повышенной опасностью. [25]

Требования, предъявляемые к таким помещениям следующие:

- все электрооборудование должно быть заземлено, для чего в этих помещениях должен быть смонтирован заземляющий контур;
- работу на электрооборудовании должны осуществлять специально обученный персонал с отметкой об этом в удостоверении.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением до 1000 В являются:

- диэлектрические перчатки;
- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками;
- указатели напряжения.

Дополнительными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением до 1000 В являются:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрический коврик;
- изолирующая подставка;
- изолирующие колпаки, покрытия и накладки;
- штанги для выравнивания и переноса потенциала;
- изолирующие стеклопластиковые (диэлектрические) стремянки и приставные лестницы.

Повышенная загазованность воздуха рабочей среды

Куст скважин характеризуется наличием пожаро - взрывоопасных веществ и ядовитых газов: природный газ, метанол, газовый конденсат. В

процессе производственных операций оператор может подвергаться воздействию этих газов, а также паров нефти, источником которых являются нарушения герметичности фланцевых соединений, механической прочности фонтанной арматуры, вследствие коррозии или износа регулирующих и предохранительных клапанов.

Основными путями проникновения в организм токсических веществ из воздуха являются дыхательный пути. При заглатывании вдыхаемых паров, газов и пыли они проникают в пищеварительный тракт. Некоторые ядовитые вещества, хорошо растворяющиеся, а жирах могут проникать в организм через кожу.

Яды, проникающие в организм через дыхательные пути, оказывают наиболее сильное действие, т.к. они непосредственно поступают в кровь.

Предельно допустимые концентрации веществ согласно ГОСТ 12.1.007-76: азота диоксид – 2 мг/м^3 , бензол – 10 мг/м^3 , углерода оксид – 20 мг/м^3 . Обязательно должны быть предусмотрены средства индивидуальной защиты: респираторы противогазного типа и противогазы со специальными нейтрализующими данный газ насадками, очки закрытого типа, перчатки, рукавицы, спецобувь, изолирующие костюмы, мази и пасты. [20]

Пожароопасность

Опасными факторами пожара, воздействующими на людей и материальные ценности, помимо открытого пламени, повышенной температуры, являются также токсические продукты горения и термического разложения и их вторичные проявления: осколки, движущиеся части разрушившихся аппаратов, электрический ток, взрыв.

Пожарная профилактика на производстве достигается правильным проектированием, эксплуатации и обеспечением средствами пожаротушения. Противопожарные мероприятия технологической части проекта выполняются в соответствии со следующими нормативными документами:

- СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;
- СНиП 31-03-2001 «Производственные помещения»;

- ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования»;
- НПБ 105–03 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной опасности».

Пожарный инвентарь:

- 1) мотопомпы;
- 2) огнетушители (ОП – 50, ОХП – 10, ОХ 13П – 10, ОПШ –10, углекислотные);
- 3) пеногенератор (ГПС – 200, ГПС – 600);
- 4) рукава с гайками и без гаек;
- 5) запас воды;
- 6) пожарные щиты;
- 7) ящики с песком;
- 8) кошма, вёдра, лопаты.

При проведении работ по борьбе с гидратами к скважине запрещается использовать агрегаты и автоцистерны, не оборудованные искрогасителями на выхлопных трубах, пользоваться открытым огнём на расстоянии 25 м от устья скважины. При обвязке техники и технологических трубопроводов запрещается пользоваться инструментом, при работе с которым может возникнуть искра.

8.3. Обоснование мероприятий по защите работника от действия опасных и вредных факторов

В данном подразделе рассмотрим решения, обеспечивающие снижения влияния опасных и вредных факторов на работающих.

По степени опасности поражения электрическим током можно сказать следующие требования, предъявляемые к таким помещениям:

- все электрооборудование должно быть заземлено;
- работу с электрооборудованием должны осуществлять специально обученный персонал с отметкой об этом в удостоверении.

Основные электрозащитные средства:

- диэлектрические перчатки;
- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками;
- указатели напряжения.

Только в этом случае можно снизить уровень воздействия опасного фактора.

8.4. Экологическая безопасность

Анализ влияния объекта на окружающую среду

Основной проблемой погружного электродвигателя будет рассматриваться в установке ЭЦН загрязнение воздуха различными веществами, которые поднимаются при бурении скважин, а также при работе самой установки.

Загрязняющие воздух вещества на объектах бурения, добычи, подготовки и транспорта нефти поступают в атмосферу в виде организованных и неорганизованных выбросов. Источниками организованных выбросов являются факельные установки для сжигания попутного нефтяного газа, печи подогрева нефти, котельные, ДЭС, ГПЭС, системы вентиляции производственных помещений, двигатели внутреннего сгорания.

Вероятность неорганизованных выбросов в окружающую среду повышается впервые после нескольких лет работы сооружений, вследствие некачественного выполнения строительных, сварочных работ и заводских дефектов оборудования, затем вероятность аварийных выбросов несколько снижается и вновь возрастает по мере старения оборудования.

Вещества, выбрасываемые в атмосферу при добыче нефти, относятся к 1 - 4 классу опасности.

Сернистый ангидрит (SO_2) оказывает общее токсическое воздействие, нарушает углеводный и белковый обмены. Газ относится к 3 классу опасности, ПДК 10 мг/м^3 .

Оксид азота NO - бесцветный газ, быстро окисляется до NO_2 - двуокиси азота. NO – кровяной яд, оказывает прямое действие на центральную нервную систему. Относится ко 2 классу опасности, ПДК рабочей зоны 5 мг/м^3 , населенных мест $0,085 \text{ мг/м}^3$.

Двуокись азота NO_2 вызывает раздражающее действие на легкие. Относится ко 2 классу опасности, ПДК населенных мест – $0,085 \text{ мг/м}^3$.

Углеводороды (легкая фракция нефти) вызывают острые и хронические отравления при концентрации $0,005 - 0,010 \text{ мг/м}^3$. Относится к 4 классу опасности, ПДК населенных пунктов для бензина – $5,0 \text{ мг/м}^3$. [24]

Для минимизации негативного воздействия выбросов загрязняющих веществ на атмосферный воздух должны проводиться следующие мероприятия:

- полная герметизация всего технологического оборудования;
- контроль швов сварных соединений трубопроводов;
- защита оборудования от коррозии;
- оснащение предохранительными клапанами всей аппаратуры, в которой может возникнуть давление, превышающее расчетное;
- сброс газа с предохранительных и дыхательных клапанов на факел или на свечу рассеивания;
- откачка нефти и продуктов переработки при аварийной ситуации в дренажные емкости;
- испытание оборудования и трубопроводов на прочность и герметичность после монтажа;
- утилизация попутного нефтяного газа на нужды промысла.

При бурении и эксплуатации нефтяных скважин, сборе, подготовке и транспорте нефти основными загрязнителями водоемов являются нефть,

отработанные буровые растворы, буровой шлам, сточные воды, содержащие механические примеси, органические соединения, химические реагенты, поверхностно- активные вещества и минеральные соли.

Нефть, как загрязнитель водной среды, характеризуется сложным составом, включающим широкий спектр углеводородных соединений, каждое из которых может рассматриваться как самостоятельный токсикант. Влияние нефти выражается в образовании на поверхности воды, нефтяной пленки, отложении на дно водоемов тяжелых фракций, появлении в воде керосинового запаха. Вода образует с нефтью стойкие эмульсии, которые сохраняются в течении длительного времени. Полное ее разрушение происходит под действием биохимических процессов окисления, которые при низких температурах (характерных для данного района), протекают крайне медленно.

Мероприятия по рациональному использованию и охране природных вод включают:

- размещение объектов с учетом водоохраных зон;
- ограничения, предусмотренные для водоохраных зон;
- полную герметизацию оборудования и трубопроводов;
- минимизацию потребления свежей воды и контроль за ее расходом;
- создание гидроизоляционного слоя и обваловывающей дамбы по периметру кустовых площадок эксплуатационных скважин;
- применение сорбентов для борьбы с возможными разливами нефти на земную поверхность.

8.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

На месторождении могут возникнуть различные чрезвычайные ситуации.

К возможным ЧС можно отнести:

- а) Природного характера: паводковые наводнения; лесные и торфяные пожары; ураганы, метели и снежные заносы.

б) Техногенного характера: прекращение подачи электроэнергии; пожар на объекте; нарушение герметичности аппаратов и трубопроводов, пропуск сальников насосов, арматуры, что приводит к загазованности, утечки нефтепродуктов, возможности отравления продуктами горения, пожару, взрыву.

Наиболее типичной ЧС является пропуск газа и нефти по обвязке фонтанной арматуры на устье скважины, из-за нарушения герметичности.

Возможные причины аварии: механические повреждения, коррозия, износ, утоньшение стенок оборудования, трубопроводов, некачественные сварные соединения, заводские дефекты.

Для предотвращения и быстрой ликвидации аварий, которые могут возникнуть на объектах нефтедобычи составляются планы по ликвидации возможных аварий (ПЛВА). ПЛВА составляются в соответствии с Правилами безопасности в нефтяной и газовой промышленности. [23]

Выводы по разделу

В разделе социальная ответственность изучено рабочее место инженера на предмет возникновения вредных и опасных факторов. Описано действие факторов на организм человека, рассмотрены средства коллективной и индивидуальной защиты от данных факторов. На основании рассмотренных факторов, были приняты решения по защите и снижению влияния вредных и опасных факторов, меры, обеспечивающие снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрены вопросы защиты окружающей среды, в частности, влияние на атмосферу и гидросферу.

Также были рассмотрены возможные и наиболее вероятная ЧС – пропуск газа и нефти.

Основной задачей организации труда в области организации рабочих мест является достижение рационального сочетания компоновки рабочего

места, обеспечивающего высокую производительность и благоприятные условия труда.

Список использованной литературы

1. Удут Л. С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учебное пособие. Ч.8. Асинхронный частотно регулируемый электропривод / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. – 2-е изд., перераб. И доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 648 с.
2. Чернышёв А.Ю. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышёв, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышёв; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.
3. Бочарников В. Ф. Погружные скважинные центробежные насосы с электроприводом: учебное. пособие. — Тюмень; Издательство «Вектор Бук», 2003. – 336 с.
4. Ланграф С.В. Асинхронный электропривод: методическое пособие. – Томск, 2003. 48 с.
5. Программная среда Novomet ESP calculator // НОВОМЕТ- калькулятор ЭЦН URL: <http://www.novomet.ru/rus/products/software/esp-calculator>.
6. Каталог продукции: Станции управления серии «Электон-05» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elekton.ru/elekton05.shtml> свободный. – Загл. с экрана.
7. Кабель для питания погружных насосов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/kpbbp/> свободный. – Загл. с экрана.
8. Погружной электродвигатель (ПЭД) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rengm.ru/rengm/pogruzhnoj-jelektrodvigatel-pjed.html> свободный. – Загл. с экрана.
9. Погружные электродвигатели SUBMERSIBLE MOTOR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://almaz-rdgn.narod.ru/Catalogue/2_motor_web.pdf свободный. – Загл. с экрана.
10. Конструкция и технические характеристики модулей УЭЦН. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://oilloot.ru/84-oborudovanie-truby-materialy-dlya-nefti-i-gaza/125-konstruktsiya-i-tekhicheskie-kharakteristiki-modulej-uetsn>, свободный – Загл. с экрана.
11. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
12. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

13. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
14. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
15. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы.
16. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы
17. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
18. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
19. ГОСТ 12.1.002-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах
20. ГОСТ 12.1.007- 76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
21. ГОСТ 12.4.011 – 89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
22. Влияние шума на организм человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14048> свободный. – Загл. с экрана.
23. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности». Серия 08. Выпуск 19. — М.: Закрытое акционерное

общество «Научнотехнический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. - 288 с.

24. ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.

25. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность.

Приложения

Приложение 1. Технические характеристики трансформаторов серии

ТМПН

Продолжение таблицы

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ·А	Схема и группа соединения обмоток	Кол-во ступеней регулировки	Номинальное напряжение ВН, В	Напряжение, В (ток, А) ступеней регулирования	Потери, Вт		Напряженье к.з., %, не более	Размеры, мм					Масса, кг	
						х.х.	к.з.		L	B	H	A	A ₁	масла	полная
ТМПН-160/3-УХЛ1	160	У _n /У-0	10	1090	1136(81,3)-1090(84,8)-1045(84,8)-1007(84,8)-965(84,8)-927(84,8)-885(84,8)-847(84,8)-802(84,8)-756(84,8)	440	2650	5,5	1250	825	1550	550	550	245	840
					1690(54,7)-1646(56,1)-1602(57,7)-1558(59,3)-1514(61)-1470(62,8)-1426(64,8)-1382(66,8)-1338(69)-1294(71,4)-1250(73,9)-1206(73,9)-1162(73,9)-1118(73,9)-1074(73,9)-1030(73,9)-986(73,9)-942(73,9)-898(73,9)-854(73,9)-810(73,9)-766(73,9)-722(73,9)-678(73,9)-634(73,9)										
					2136(43,3)-2077(44,5)-2018(45,8)-1959(47,2)-1900(48,6)-1841(48,6)-1782(48,6)-1723(48,6)-1664(48,6)-1605(48,6)-1546(48,6)-1487(48,6)-1428(48,6)-1369(48,6)-1310(48,6)-1251(48,6)-1192(48,6)-1133(48,6)-1074(48,6)-1015(48,6)-956(48,6)-897(48,6)-838(48,6)-779(48,6)-720(48,6)										
ТМПН-250/3-УХЛ1	250	У _n /У-0	25	2247	2408(38,4)-2362(39,1)-2316(39,9)-2270(40,7)-2224(41,5)-2178(42,4)-2132(43,3)-2086(44,3)-2040(45,3)-1994(46,6)-1948(47,4)-1902(48,6)-1856(48,6)-1810(48,6)-1764(48,6)-1718(48,6)-1672(48,6)-1626(48,6)-1580(48,6)-1534(48,6)-1488(48,6)-1442(48,6)-1396(48,6)-1350(48,6)-1304(48,6)	650	3700	7,0	1470	1090	1600	550	550	302	1010
					2200(42,0)-2125(43,5)-2050(45,0)-1975(45,0)-1900(45,0)										
					2947(49)-2897(49,8)-2847(50,7)-2797(51,6)-2747(52,5)-2697(53,5)-2647(54,5)-2597(55,6)-2547(56,7)-2497(57,8)-2447(59)-2397(60,2)-2347(61,5)-2297(62,8)-2247(64,2)-2197(64,2)-2147(64,2)-2097(64,2)-2047(64,2)-1997(64,2)-1947(64,2)-1897(64,2)-1847(64,2)-1797(64,2)-1747(64,2)										

Трансформаторы масляные для питания погружных электронасосов добычи нефти

Приложение 2. Потери напряжения на 1000 м кабельной линии

Потери напряжения в кабеле с медными жилами сечением 3х16 мм., В (на 1000 метров)				Потери напряжения в кабеле с медными жилами сечением 3х21 мм., В (на 1000 метров)				Потери напряжения в кабеле с медными жилами сечением 3х25 мм., В (на 1000 метров)				Потери напряжения в кабеле с медными жилами сечением 3х33 мм., В (на 1000 метров)			
Ином пэд. А	Пластовая температура, °С			Ином пэд. А	Пластовая температура, °С			Ином пэд. А	Пластовая температура, °С			Ином пэд. А	Пластовая температура, °С		
	40-60	70-90	> 100		40-60	70-90	> 100		40-60	70-90	>100		40-60	70-90	> 100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4,6	28	32	35	14,6	21	24	27	14,6	18	20	23	14,6	13	16	17
18	34	39	44	18	26	30	33	18	22	25	28	18	17	19	21
21	40	46	51	21	31	35	39	21	26	29	33	21	19	22	25
22	42	48	53	22	32	37	41	22	27	31	34	22	20	23	26
24	46	53	58	24	35	40	45	24	29	34	37	24	22	26	28
25	48	55	61	25	37	42	46	25	31	35	39	25	23	27	29
26	50	57	63	26	38	43	48	26	32	36	40	26	24	28	31
27	51	59	66	27	39	45	50	27	33	38	42	27	25	29	32
28	53	61	68	28	41	47	52	28	34	39	44	28	26	30	33
29	55	64	70	29	42	48	54	29	35	41	45	29	27	31	34
30	57	66	73	30	44	50	56	30	37	42	47	30	28	32	35
32	61	70	78	32	47	53	59	32	39	45	50	32	29	34	38
33	63	72	80	33	48	55	61	33	40	46	51	33	30	35	39
34	65	74	83	34	50	57	63	34	42	47	53	34	31	36	40
35	67	77	85	35	51	58	65	35	43	49	54	35	32	37	41
36	69	79	87	36	53	60	67	36	44	50	56	36	33	38	42
37	70	81	90	37	54	62	69	37	45	52	58	37	34	39	43
38	72	83	92	38	55	63	71	38	46	53	59	38	35	40	45
39	74	85	95	39	57	65	72	39	48	54	61	39	36	41	46
40	76	88	97	40	58	67	74	40	49	56	62	40	37	43	47
41	78	90	100	41	60	68	76	41	50	57	64	41	38	44	48
42	80	92	102	42	61	70	78	42	51	59	65	42	39	45	49
43	82	94	104	43	63	72	80	43	53	60	67	43	40	46	51
44	84	96	107	44	64	73	82	44	54	61	68	44	41	47	52
47	90	103	114	47	69	78	87	47	57	66	73	47	43	50	55
48	91	105	117	48	70	80	89	48	59	67	75	48	44	51	56
49	93	107	119	49	72	82	91	49	60	68	76	49	45	52	58
51	97	112	124	51	74	85	95	51	62	71	79	51	47	54	60
53	101	116	129	53	77	88	98	53	65	74	82	53	49	56	62
55	105	120	134	55	80	92	102	55	67	77	86	55	51	58	65
56	107	123	136	56	82	93	104	56	68	78	87	56	52	60	66
57	109	125	138	57	83	95	106	57	70	80	89	57	52	61	67
58	110	127	141	58	85	97	108	58	71	81	90	58	53	62	68
59	112	129	143	59	86	98	110	59	72	82	92	59	54	63	69
60	114	131	146	60	88	100	111	60	73	84	93	60	55	64	70
61	116	134	148	61	89	102	113	61	75	85	95	61	56	65	72

Приложение 3. Подбор СУ с частотным регулированием в зависимости от номинальной мощности ПЭД

Модель СУ с частотным регулированием «Электрон-05»	Полная выходная мощность СУ, кВА.	Номинальная мощность подключаемого двигателя общепромышленного исполнения, кВт	Номинальная мощность подключаемого ПЭД при 50 Гц, кВт.	Номинальная мощность подключаемого ПЭД при 70 Гц, кВт.
32	20	до 15	-	-
63	40	до 30	-	-
160	100	до 75	до 32	-
250	160	до 110	до 70	до 25
400	260	до 200	до 125	до 45
630	410	до 315	до 180	до 63
800	520	до 400	до 250	до 90
1000	650	до 500	до 320	до 110
1200	780	до 625	до 400	до 140
1800	1150	до 800	до 500	до 180