

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод центробежного насоса для добычи нефти

УДК 62-83:622.276.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4Б1	Акатьев Юрий Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Глазырин А.С.	д. т. н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Глазырин А.С.	д. т. н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к. э. н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Ивашутенко А.С.	к.т.н., доцент		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), УК-5 *(ОК-6)), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5 *(ОК-6), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5*(ОК-6), УК-7 *(ОК-8), УК-8 *(ОК-9), ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-6 *(ОК-7), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
По профилям подготовки		
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-1 *(ОК-1, ОК-2), УК-2 *(ОК-3, ОК-4), УК-3 *(ОК-5), УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ОПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P8	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2 *(ОК-3, ОК-4), ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P9	Уметь проектировать <i>электроэнергетические системы и их компоненты.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2*(ОК-3, ОК-4), ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

		<i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-4, ОПК-5, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8 ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>

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 Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) Ивашутенко А.С.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-5Г4Б1	Акатьеву Юрию Владимировичу

Тема работы:

Электропривод центробежного насоса для добычи нефти	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является электропривод центробежного насоса для добычи нефти с параметрами - Номинальная мощность 32 кВт; - Номинальное фазное напряжение 577 В; - Синхронная частота вращения 3000 об/мин.
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	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 без преобразователя частоты. 5. Составление функциональной схемы частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением. 6. 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	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кандидат экономических наук Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазырин Александр Савельевич	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б1	Акатьев Юрий Владимирович		

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Введение	10
	Техническая характеристика электропривода центробежного насоса	20
	Выбор систем управления и способов регулирования электропривода	10
	Разработка и исследование моделей электропривода со скалярным управлением	20
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	20
	Социальная ответственность	20
		100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазырин А.С.	д.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 123 с., 48 рисунков, 18 таблиц, 32 источника.

Ключевые слова: электропривод центробежного насоса, скалярное управление, установка электроцентробежного насоса, асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, преобразователь частоты, регулирование давления.

Объектом исследования является электропривод центробежного насоса для добычи нефти.

Цель работы – Разработка частотно-регулируемого электропривода центробежного насоса для добычи нефти.

В результате исследования был разработан частотно-регулируемый электропривод центробежного насоса 6.0 УЭЦН 5 – 30 – 2400.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: полностью соответствующие заданию.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 на листах белой бумаги формата А4 с помощью программных средств Matlab, Mathcad, CorelDraw.

Введение

В настоящее время большая часть разрабатываемых месторождений нефти в России имеет, как правило, низкие пластовые давления вследствие истощенности месторождений из-за многолетней эксплуатации нефтяных пластов, а также большую глубину залегания последних, превышающую во многих случаях 3500 м требующую использования установок механизированной добычи нефти. Погружные электротехнологические установки электроцентробежных насосов (УЭЦН) реализуют один из основных способов механизированной добычи нефти из глубинных, обводненных, наклонных, а также высокодебитных скважин. Благодаря отсутствию длинной движущейся механической связи (штанги) между электроприводом и насосом УЭЦН имеют значительно большую мощность, чем штанговые установки, что дает возможность поддерживать большие объемы добычи нефти на больших глубинах.

Парк УЭЦН начал стремительно развиваться в нефтедобывающей отрасли с 1999 года в связи с переходом на интенсивную добычу нефти, вызванную увеличением глубины спуска УЭЦН, большим содержанием свободного газа и механических примесей в откачиваемой пластовой жидкости, отложением солей на элементах погружного оборудования. В настоящее время УЭЦН имеют наибольший удельный вес по территориальному и корпоративному признакам среди установок насосной эксплуатации скважин. Они обеспечивают свыше 70 % извлекаемой на поверхность нефти в России и более 90 % нефти в Западной Сибири и на Крайнем Севере. По существующим прогнозам в среднесрочной перспективе за УЭЦН остается преимущественная роль.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЗАДАНИЕ	4
Реферат	7
Введение	8
Обозначения и сокращения	12
1 УЭЦН. Назначение, устройство, принцип действия, технические и эксплуатационные характеристики	13
1.1 Назначение	13
1.2 Устройство УЭЦН	15
1.2.1 Технические данные	15
1.2.2 Описание работы	16
1.2.3 Скважинные центробежные насосы (ЭЦН)	19
1.2.4 Система энергообеспечения УЭЦН	20
1.2.5 Приемный модуль и газосепаратор	22
1.2.6 Погружной электродвигатель	24
1.2.7 Гидрозащита электродвигателя	26
1.2.8 Обратный и сливной клапаны	29
1.2.9 Насосно-компрессорные трубы НКТ	30
1.2.10 Оборудование устья скважины для эксплуатации УЭЦН	31
1.2.11 Станция управления, трансформатор	33
1.3 Требования к электроприводу для обеспечения бесперебойной работы установки	35
2. Методика по периодической краткосрочной эксплуатации скважины.	36
2.1. Назначение , цели и задачи.	36
2.2 Применение методики «ПКЭС»	37
3 Расчет и выбор УЭЦН, погружного двигателя и определение параметров его Т-образной схемы замещения	38
3.1 Методика подбора УЭЦН к скважине	38

3.1.1 Выбор насосной установки по величине планируемого дебита и напора	39
3.1.2 Методика подбора ПЭД и гидрозащиты	40
3.1.3 Методика подбора кабельной линии	44
3.2 Определение параметров Т образной схемы замещения погружного электродвигателя ПЭДН 32 – 117	45
3.3 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя	51
3.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя	52
3.4.1 Расчет естественной механической характеристики	52
3.4.2 Расчет естественной электромеханической характеристики	54
3.4.3 Механическая характеристика насоса	55
4. Обзор систем управления и способов регулирования электропривода	57
4.1 Системы управления электроприводом	57
4.2 Выбор закона частотного регулирования	59
4.3. Методика подбора наземного оборудования	59
4.3.1. Подбор ТМПН	59
4.3.2. Подбор станции управления	61
5. Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании	63
5.1 Механические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_{12}=\text{const}$	64
6. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением	65
6.1 Функциональная схема системы скалярного частотного управления	69
6.2 Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением	75
6.2.1. Прямой пуск электропривода без преобразователя частоты.	75

6.2.2. Прямой частотный пуск электропривода с преобразователем частоты, но без задатчика интенсивности	77
6.2.3. Прямой частотный пуск электропривода с преобразователем частоты и задатчиком интенсивности.	78
6.2.4. Имитационное исследование электропривода насоса для различных заданий частоты.	80
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	83
7.1 SWOT-анализ технического проекта электропривода центробежного насоса	83
7.2 Организация работ технического проекта	86
7.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования	86
7.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП	88
7.2.3 Порядок составления этапов подготовки производства и распределение исполнителей	89
7.2.4. Разработка графика проведения технического проекта	90
7.3. Расчёт затрат на осуществление технического проекта	92
7.3.1. Расчет защита материальных затрат пожары технического проекта	92
7.3.2 Полная определены заработная плата определяем исполнителей темы	93
7.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	95
7.3.4. Накладные расходы	95
7.3.5. Формирование сметы затрат технического проекта	95
7.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта	96

Обозначения и сокращения

- АД – асинхронный двигатель;
- АИН – автономный инвертор напряжения;
- ГД – гидрозащита;
- ГЖС – газо-жидкостная смесь;
- ЗИС - задатчик интенсивности скорости;
- ЗП – заработная плата;
- НИР – научно-исследовательская работа;
- НКТ – насосно-компрессорные трубы;
- КПД – коэффициент полезного действия;
- ЛЭТСАР – лента силиконовая самослипающаяся;
- ОК – обсадная колонна;
- ПЧ – преобразователь частоты;
- ПЧН – преобразователь «частота-напряжение»;
- ПЭД – погружной электродвигатель;
- СУЭП – системы управления электроприводом;
- ТМПН – трансформатор маслонаполненный с естественной циркуляцией масла для скважинных нефтяных насосов;
- УЭЦН – установка электроцентробежного насоса;
- ФНУ - формирователь напряжений управления;
- ЭД – электродвигатель;
- ЭЦН – электроцентробежный насос;
- ШИМ – широтно-импульсная модуляция

1 УЭЦН. Назначение, устройство, принцип действия, технические и эксплуатационные характеристики

1.1 Назначение

Установки погружных электроприводных центробежных насосов (далее установки), предназначенные для откачки пластовой жидкости из нефтяных скважин. Отдельные исполнения установок могут быть поставлены в качестве подпорных насосов, а также насосов для закачки жидкости (смесь промышленной йодобромной воды) в подпакерное пространство для поднятия (поддержания) давления пластовой жидкости (систем ППД).[1]

В зависимости от комплектации в состав установки могут входить: погружной электродвигатель, протектор (гидрозащита), секции насоса, модуль входной (модуль насосный), клапан спускной, клапан обратный шаровый, шламоуловитель, шламоотделитель, кабельные удлинители, кабельная линия.

Двигатели погружные асинхронные служат в качестве привода электроприводных погружных центробежных насосов. Двигатель состоит из сборочных единиц: одного (односекционный двигатель), двух (двухсекционный двигатель) или трех (трёхсекционный двигатель) электродвигателей и протектора (гидрозащиты).

Протектор (гидрозащита) предназначен для предохранения внутренней полости электродвигателя от попадания пластовой жидкости, для компенсации изменения объема масла, а также для передачи крутящего момента от вала электродвигателя к валу насоса (модуля насосного, модуля входного).

Модуль входной предназначен для подвода пластовой жидкости на вход насоса.

Модуль насосный используется при высоком содержании газа перед входом в насос, и выполняет в зависимости от типа функцию входного

модуля с одновременным разделением газожидкостной смеси на две фракции или разделением и (или) диспергированием газожидкостной смеси.

Клапан спускной (сбивной) типа КС предназначен для удаления жидкости из колонны НКТ при ремонте скважины.

Клапан обратный герметичный шаровый типа КОШ предназначен для пропуска рабочей жидкости (бурового раствора, воды, пластовой жидкости) в одном направлении. Он обеспечивает перекрытие канала при падении давления со стороны подачи рабочей жидкости в процессе технологических операций, автоматически предотвращает обратный поток жидкости и удерживает жидкость в колонне НКТ после остановки насоса.

Шламоуловитель предназначен для защиты обратного клапана и насоса от загрязнений, которые могут находиться внутри НКТ и осаждаться в процессе монтажа и эксплуатации насоса. Предусмотрены два варианта применения шламоуловителя:

- установка непосредственно над обратным клапаном типа КОШ с опорой на верхний торец специального патрубка. При этом ограничителем подъема шламоуловителя является нижний торец НКТ, вворачиваемой в муфту клапана;

- установка в любом месте колонны НКТ с опорой на верхний торец ниже располагаемой НКТ. В этом случае в муфту выше располагаемой НКТ обязательно должен быть ввернут клапан спускной типа КС обеспечивающий слив жидкости из участка колонны НКТ, расположенного выше шламоуловителя.

1.2 Устройство УЭЦН

1.2.1 Технические данные

Устройство и параметры насосов (номинальная подача, напор, потребляемая мощность, К.П.Д., рекомендуемая рабочая часть характеристики, габаритные размеры, масса), устройство и параметры электродвигателей (номинальная мощность, напряжение, ток, К.П.Д, $\cos\phi$, скольжение, габаритные размеры, масса), приведены в технических условиях завода – изготовителя, в паспортах завода - изготовителя (протоколах испытаний). Приложение 7.[1]

Устройство, работа и сведения, необходимые для правильной эксплуатации комплектных устройств, трансформаторов, станций управления и кабельных линий изложены в эксплуатационной документации, поступающей с этими изделиями потребителю.

Питание электродвигателей осуществляется от сети переменного тока частотой 50 Гц. Напряжение питания в зависимости от типоразмера погружной установки может быть от 380В до 3900В. При использовании регулятора частоты допускается работа установки при частоте питающего напряжения ПЭД от 40Гц до 70Гц.[1]

1.2.2 Описание работы

В погружной установки (рис.1.1) для добычи нефти представлены электродвигатель 1 с протектором (гидрозащитой), насос 2 с модулем насосным (модулем входным, КОШ, КС, шламоуловителем), кабельная линия 3, наземное электрооборудование 4.

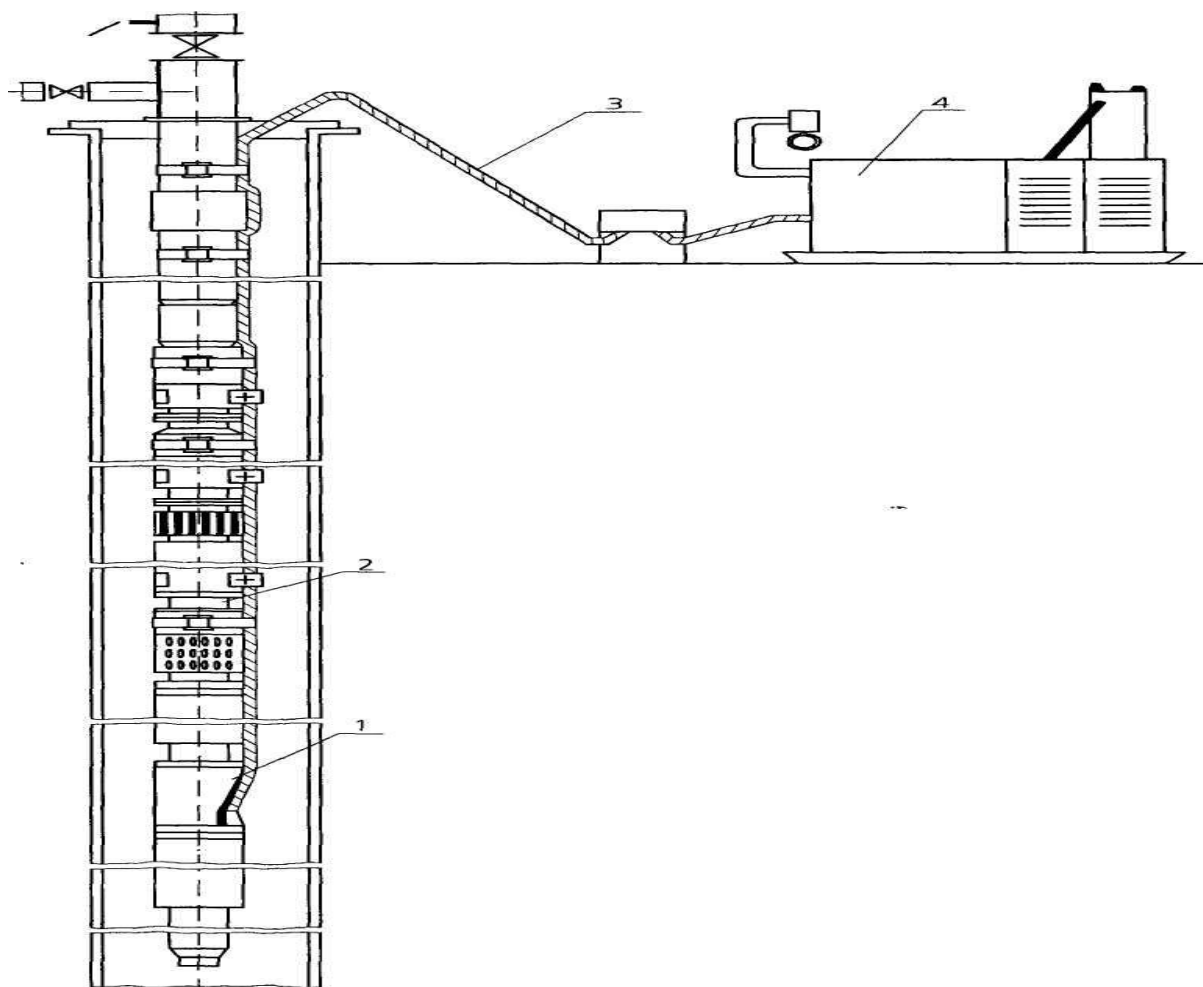


Рис.1.1

Насос приводится в действие электродвигателем и обеспечивает подачу пластовой жидкости из скважины по насосно-компрессорным трубам на поверхность в трубопровод.

Кабельная линия обеспечивает подвод электроэнергии к электродвигателю. Соединяется с электродвигателем при помощи муфты

кабельного ввода. Кабель крепится к протектору (гидрозащите), насосу и насосно-компрессорным трубам металлическими поясами, входящими в комплект поставки насоса, или кабельными протекторами, подобранными в зависимости от диаметра НКТ, габаритных размеров кабеля и внутреннего диаметра обсадной колонны.

Наземное электрооборудование- станция управления с трансформатором преобразует напряжение промышленной сети до величины, обеспечивающей оптимальное напряжение на входе в электродвигатель с учетом потерь напряжения в кабеле, обеспечивает управление работой погружной установки и ее защиту при аномальных режимах.

Клеммная коробка (выносной пункт подключения кабеля) 10 предназначена для разрыва кабеля. Газ в скважине попадает под оплетку кабеля и для того, чтобы он не попал в станцию управления (это может привести к взрыву), кабель разрезают в этом пункте и «выпускают» из него газ.

Установки ЭЦН в России разработаны для скважин с обсадными колоннами 127, 140, 146 и 168 мм (номинальный диаметр ОК). Каждая установка имеет свой шифр, например, УЭЦН5А-500-800, в котором приняты следующие обозначения: цифра (цифра и буква) после УЭЦН обозначает наименьший допустимый диаметр ОК, в которую он может быть спущен. Цифра «4» соответствует диаметру 112 мм, «5» – 122 мм, «5А» – 130 мм, «6» – 144 мм, «6А» – 148 мм (для насосов предприятия «АЛНАС» несколько другие группы: 4 – 112 мм, 5 – 123,7 мм, 5А – 130 мм, 6 – 148,3 мм и 8 – 205,7 мм).

Второе число шифра обозначает номинальную подачу насоса (в $\text{м}^3/\text{сут}$) и третье – напор (в м). Значения подачи и напора даны для работы на воде. [2]

Насосы для добычи нефти производства «БРПО», предназначены для откачки пластовой жидкости (смеси нефти, попутной воды и газа) из нефтяных скважин, водоподъема из скважин.

Структура условного наименования насосов:

XX ЭЦН XX-XXX-XXXX			
			Исполнение:
			1- базовое с осевой опорой вала в насосе;
			2- износостойкое исполнение с осевой опорой вала в насосе;
			3- коррозионностойкое базовое с осевой опорой вала в насосе;
			4- коррозионно-износостойкое исполнение с осевой опорой вала в насосе;
			5- базовое без осевой опоры вала в насосе;
			6- износостойкое исполнение без осевой опоры вала в насосе;
			7- коррозионностойкое базовое без осевой опоры вала в насосе;
			8- коррозионно-износостойкое исполнение без осевой опоры вала в насосе.
			Тип сборки ступеней:
			0- плавающая
			1- пакетная
			2- компрессионная
			Габарит насоса (5 или 5А);
			Номинальная подача м ³ /сутки ;
			— Напор при номинальной подаче, м.

Пример записи электроцентробежного насоса 5 габарита с номинальной подачей 30 м³/сутки, напором 2550 м, в износостойком исполнении без осевой опоры вала в насосе, тип сборки ступеней-плавающий:[3]

6.0ЭЦН 5-30-2550 ТУ 3665-004-61228042-2010

1.2.3 Скважинные центробежные насосы (ЭЦН)

Центробежный насос – динамический насос, в котором движение жидкости происходит за счет центробежной силы.



Рис 1.2 Принцип действия ЭЦН.

Погружные центробежные насосы применяются для подъема пластовой жидкости. В России они производятся 5, 5А и 6 габарита для скважин соответственно с 127 и 152,4 миллиметровой эксплуатационной колонной. Производительность насосов (подача) от 10 до 2000 м³ в сутки, напор – до 3000 м

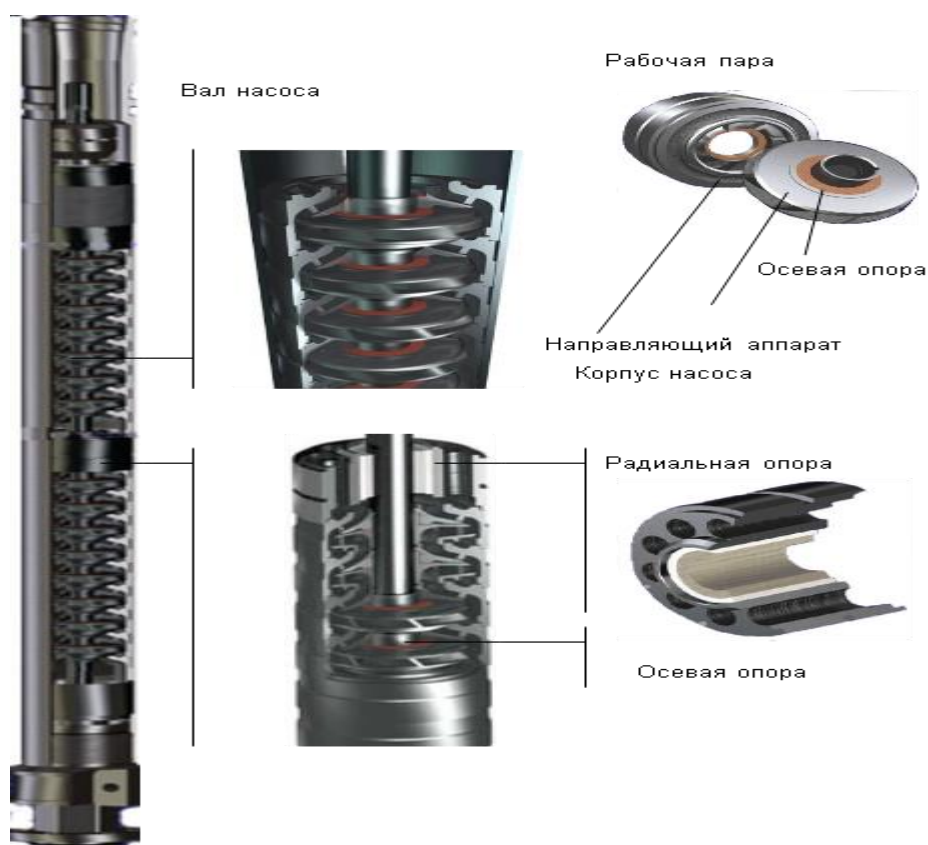


Рис 1.3 Устройство ЭЦН

1.2.4 Система энергообеспечения УЭЦН

Для обеспечения электроэнергией погружного электродвигателя, приводящего в действие насос, применяется система энергообеспечения, которая включает в себя: трансформатор, станцию управления, кабельную линию, муфта кабельного ввода

Трансформатор служит для повышения напряжения до величины рабочего напряжения ПЭД с учётом потерь в кабеле.

Станция управления предназначена для пуска и остановки насоса, контроля за работой установки, а также для защиты от аварийных режимов.

Для предотвращения прохода газа по кабелю в помещение станции управления в состав установки входит специальная соединительная вентиляционная (клеммная) коробка. Газ, проникший по кабелю, выходит наружу через трубку отвода газа.

Для подачи переменного тока к погружному электродвигателю служит кабельная линия, состоящая из основного питающего кабеля (круглого или

плоского) и плоского кабеля-удлинителя с муфтой кабельного ввода. Соединение основного кабеля с кабелем-удлинителем обеспечивается неразъемной соединительной сросткой. Для крепления кабеля к телу трубы применяются крепежные пояса (клямсы)



Рис 1.4 Система энергоснабжения.

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

Соединение основного кабеля с удлинителем производится неразъемной соединительной муфтой (сросткой). С помощью сростки также могут быть соединены участки основного кабеля для получения необходимой длины.

В зависимости от температуры и агрессивности откачиваемой среды выпускаются кабели с различной степенью изоляции. Современные кабели способны работать при температуре до 140 °С.



Рис 1.5. Состав кабеля

1.2.5 Приемный модуль и газосепаратор

Пластовая жидкость через приемный модуль попадает в насос. Свободный газ до 25 -27% существенного влияния на работу насоса не оказывает. Однако при больших значениях необходимо устанавливать газосепаратор или газодиспергатор, который разбивает включения газа на более мелкие. Диспергаторы применяются в скважинах с повышенной обводненностью, для использования полезной работы газа в НКТ.

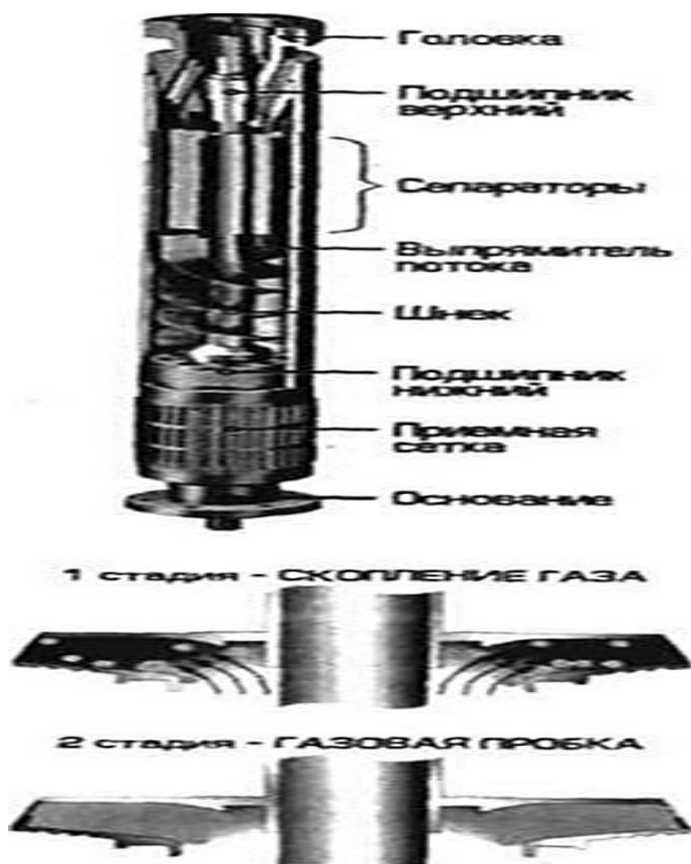


Рис 1.6.устройство газосепаратора

Принцип работы газосепаратора.

При работе газосепаратора поступающая через приемную сетку газожидкостная смесь подается шнеком в сепарационную камеру, где под действием центробежных сил происходит разделение жидкости и газа: более тяжелая жидкость отбрасывается к стенке, а более легкий газ отжимается к центру и располагается вокруг вала. Дегазированная жидкость по каналам головки направляется в насос, а отделившийся газ - в затрубное пространство скважины.

Диспергатор состоит из трубного корпуса, головки, основания с приемной сеткой, аппаратов-рассекателей и вала с расположенными на нем деталями. В головке размещаются лопаточный рассекатель и разделитель, имеющий четыре канала. В основании находится полость с каналами для приёма газожидкостной смеси, которая закрытая приемной сеткой. На валу размещены шнек и колеса. Диспергаторы выпускаются с осевой опорой вала и без осевой опоры вала, с передачей осевых усилий на пята протектора гидрозащиты.

При работе диспергатора поступающая через приёмную сетку газожидкостная смесь подаётся шнеком в диспергирующее устройство (несколько колес, вращающихся внутри аппаратов-рассекателей), в котором повышается степень однородности и измельченности газовых включений и осуществляется превращение её в однородную суспензию, которая с помощью лопаточного рассекателя по каналам разделителя направляется в нижнюю секцию насоса. В скважинах с особо высоким газовым фактором, где применение ни газосепаратора, ни диспергатора не обеспечивает стабильной работы ЭЦН, применяется газосепаратор диспергатор.

Газосепаратор-диспергатор одновременно работает как газосепаратор, разделяя газожидкостную смесь на две фазы: газовую и жидкостную, и удаляя часть газа в затрубное пространство, а с оставшейся газожидкостной

смесью как диспергатор, перерабатывая ее в однородную суспензию и подавая на вход насоса.

1.2.6 Погружной электродвигатель

Погружные асинхронные двигатели (ПЭД) в зависимости от мощности изготавливаются одно- и двухсекционными. Для различных типоразмеров питание электродвигателя осуществляется напряжением от 380 В. Рабочая частота переменного тока составляет 50 Гц. При использовании регулятора частоты допускается работа двигателя при частоте тока от 40 до 70 Гц. В состав погружного электродвигателя (ПЭД) входят: двигатель и гидрозащита.

Погружной электродвигатель (ПЭД) – трёхфазный, асинхронный с короткозамкнутым ротором, маслозаполненный и герметичный. Электроэнергия на двигатель подается через специальный бронированный кабель

Принцип работы ПЭД

Работа асинхронного электродвигателя основана на том, что при подаче переменного трехфазного тока на протяжную обмотку статора возникает магнитное поле, под воздействием которого, ротор начинает вращаться вокруг своей оси.

Электродвигатели выполнены в стальном корпусе из бесшовной, холодно-нотянутой, особо высокой точности трубы для корпусов ПЭД и ЭЦН [5].

Наружный диаметр, трубы, зависит от внутреннего диаметра обсадной колонны и определяет габарит ПЭД. Обычно применяются трубы диаметром, мм, 81, 96, 103, 117, 123, 130, 145, 185. Соответственно этому диаметру ПЭД имеют 81, 96, 103, 117, 123, 130, 145, 185 габариты.

Наиболее распространенные в эксплуатации являются 103 и 117 габариты. В последнее время осваиваются более мощные двигатели 145 и 185 габаритов.

Электродвигатели предназначены для продолжительного режима работы S1 от сети переменного тока частотой 50 Гц. При частоте тока 50 Гц синхронная частота вращения вала ПЭД равна 3000 об/мин. При использовании регулятора частоты допускается работа ПЭД при частоте тока от 40 до 60 Гц.

Магнитопровод статора ПЭД. Состоит из активных пакетов (рис. 1.7), набранных из отдельных листов отожженной электротехнической стали Э12 или Э13 и из немагнитных пакетов, отштампованных из латуни или из немагнитной нержавеющей стали.

Обмотка статора ПЭД. В пазах статора уложена впротяжку трехфазная обмотка (рис. 1.7) из специального обмоточного провода с пленочной полиимидо-фторопластовой изоляцией, например провода ППИ-У, ПЭУ-200, ПФО, выпускаемого в России и СНГ.



Рис 1.7. Элементы статора и ротора

Ротор ПЭД. Внутри статора размещается ротор, представляет собой набор отдельных пакетов (рис. 1.7), имеющих каждый самостоятельную короткозамкнутую медную обмотку (беличье колесо). Пакеты ротора шихтуются из отштампованных листов с пазами из электротехнической стали марок Э12, 2212 или 2215. [6]

1.2.7 Гидрозащита электродвигателя

Располагается между электродвигателем и насосом. Отделяет электродвигатель, заполненный маслом от насоса заполненного пластовой жидкостью и при этом передает вращение от двигателя к насосу.

Гидрозащита предназначена для работы в составе погружной центробежной установки для откачки пластовой жидкости из нефтяных скважин.

Гидрозащита предохраняет внутреннюю полость электродвигателя от попадания пластовой жидкости, а также компенсирует температурные изменения объема масла.

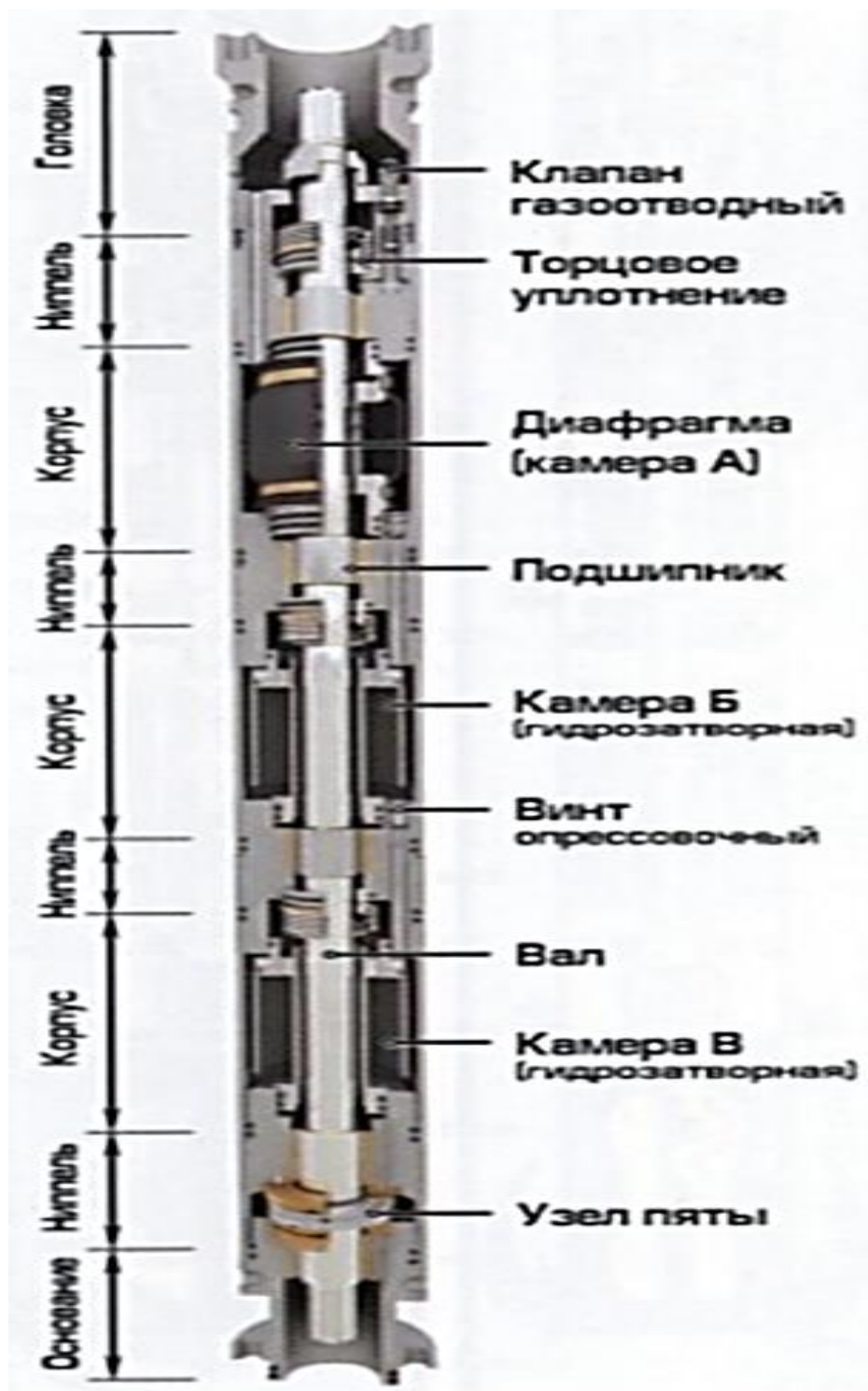


Рис 1.8 Гидрозащита

Гидрозащита состоит из последовательно соединенных между собой посредством резьбы: головки, ниппелей с корпусами и основания. Внутри гидрозащиты размещается вал, который вращается в нескольких подшипниках, установленных в ниппелях. Осевая нагрузка на вал через пята, зафиксированную на валу двумя плоскими стопорными кольцами,

воспринимается верхним и нижним подпятниками. На обоих концах вала имеются шлицы для соединения с валами насоса и электродвигателя при монтаже на скважине.

Гидрозащита имеет три, последовательно расположенные, камеры.

Камера А, образована резиновой диафрагмой, закреплённой при помощи хомутов на опоре с отверстиями. Верхний и нижний концы опоры имеют посадочные бурты с резиновыми кольцами для герметизации соединения опоры с ниппелями. Камера А защищена от проникновения пластовой жидкости по валу торцовым уплотнением.

Камеры Б и В одинаковые по устройству, каждая из них представляет собой гидрозатворную камеру, образованную корпусом и опорой с трубой. Принцип действия гидрозатворной камеры следующий. При порыве диафрагмы, пластовая жидкость заполняет камеру А и далее через отверстия в опоре диафрагмы, вдоль вала проникает к верхней камере Б. Перед тем, как попасть в нижнюю камеру В, жидкость должна полностью вытеснить масло из верхней камеры Б, пройдя по лабиринту: через полость между внутренней стенкой корпуса и внешней стенкой трубы в полость между трубой и опорой, через отверстие в верхней части опоры в полость между валом и опорой.

От проникновения пластовой жидкости по валу, камеры Б и В защищены торцовыми уплотнениями. Внутренние полости камер гидрозащиты заполняются маслом при монтаже двигателя. Это масло служит запасом для компенсации его естественного расхода через верхнее торцовое уплотнение, герметизирующее вращающийся вал.

Для удаления газов, скопившихся в процессе работы двигателя, в верхнем ниппеле расположена система сброса в виде клапанов, которые позволяют осуществлять также регулирование давления при температурных расширениях масла. Опрессовочные винты предназначены для герметизации

камер Б и В при испытании их и торцовых уплотнений на герметичность при сборке гидрозащиты. После сборки и испытаний винты откручиваются.

Основание гидрозащиты имеет фланец для соединения с электродвигателем и посадочный бурт с резиновыми кольцами для герметизации этого соединения. На торце головки имеются шпильки для соединения с насосом.

1.2.8 Обратный и сливной клапаны

Спускной (сбивной, сливной) клапан предназначен для слива жидкости из лифта (колонны насосно-компрессорных труб) при подъеме насоса из скважины.

Обратный клапан предназначен для предотвращения обратного вращения рабочих колес насоса под воздействием выравнивания столба жидкости в НКТ и затрубном пространстве при остановках насоса и облегчения повторного запуска насоса

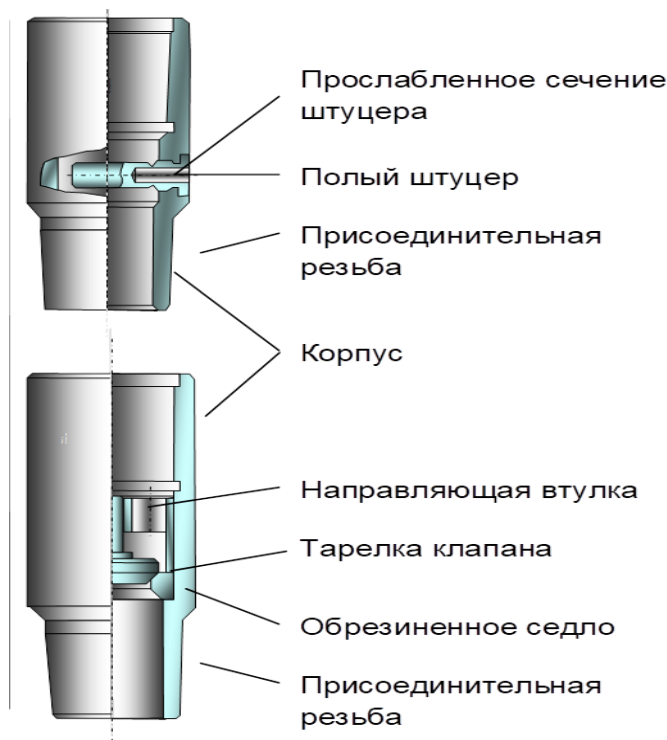


Рис 1.9. Спускной и обратный клапан

1.2.9 Насосно-компрессорные трубы НКТ

Для обеспечения подъема пластовой жидкости и газа на поверхность при эксплуатации скважин УЭЦН применяются насосно-компрессорные трубы. Как правило, на промыслах России используются трубы диаметром 60, 73, 89 мм (соответственно 2", 2,5" и 3"). Трубы последовательно соединяются на резьбе, составляя колонну НКТ (лифт).

Условное обозначение труб включает: тип трубы (кроме гладких труб), условный диаметр трубы, толщину стенки, группу прочности, например: НКТ 73 – 5.5 Д

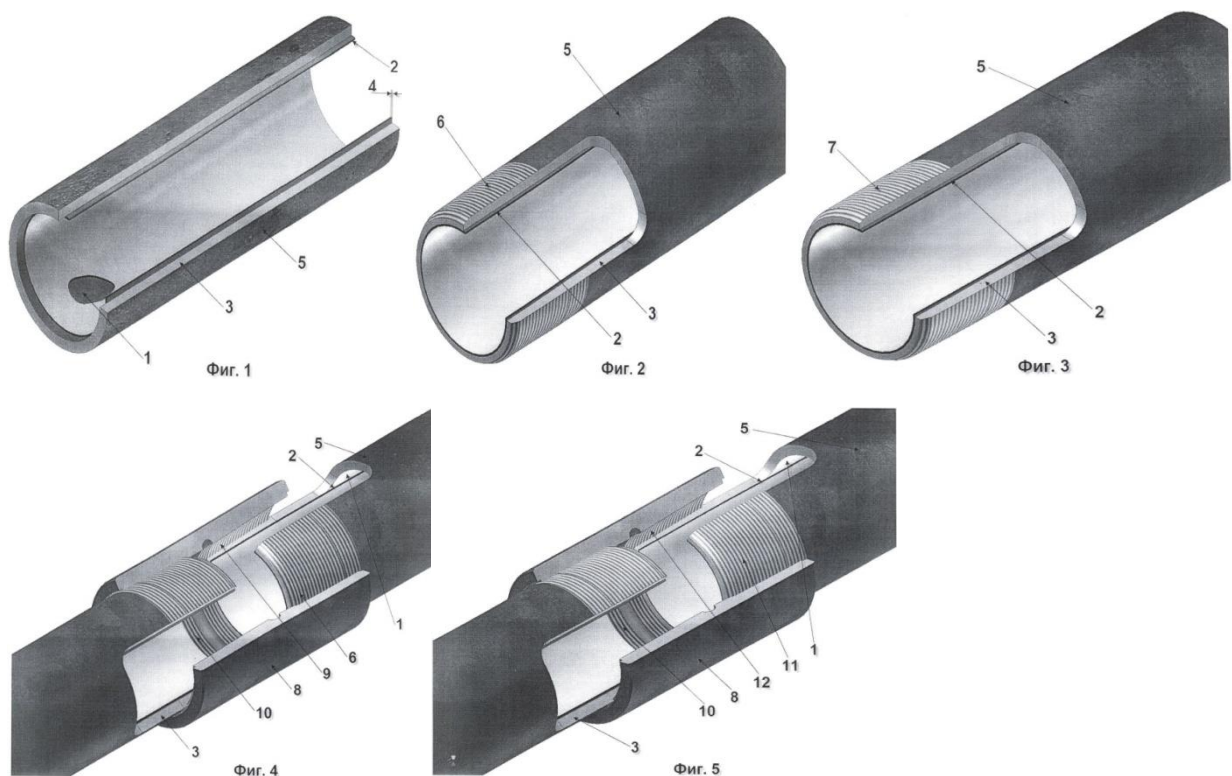


Рис 1.10

На рисунке 1.10 показано: фиг.1 - насосно-компрессорная труба (НКТ) с внутренним полимерным покрытием; фиг.2 - НКТ с внутренним покрытием без покрытия резьбы; фиг.3 - НКТ с внутренним покрытием и покрытием резьбы; фиг.4 - Соединение НКТ-муфта-НКТ с внутренним полимерным покрытием без защиты резьбы (на средний нерабочий участок резьбы муфты нанесено полимерное покрытие, а рабочая часть резьбы без покрытия). фиг.5

- соединение НКТ-муфта-НКТ с внутренним полимерным покрытием с защитой резьбы (на всю внутреннюю поверхность муфты нанесено полимерное покрытие).

При этом под номерами позиций указано следующее:

1 - внутренняя стальная поверхность НКТ; 2 - внутреннее полимерное покрытие; 3 - стенка НКТ; 4 - толщина внутреннего полимерного покрытия; 5 - наружная поверхность НКТ; 6 - резьба НКТ без покрытия; 7 - полимерное покрытие резьбы НКТ; 8 - муфта НКТ; 9 - внутренняя резьба НКТ без полимерного покрытия; 10 - полимерное покрытие среднего участка резьбы муфты НКТ; 11 - полимерное покрытие резьбы НКТ; 12 - полимерное покрытие рабочей части резьбы муфты НКТ.

1.2.10 Оборудование устья скважины для эксплуатации УЭЦН

Устье скважин для эксплуатации установками ЭЦН оборудуется либо стандартной фонтанной арматурой со специальной планшайбой для пропуска и герметизации кабельной линии (типа АФК1Э), либо специальным оборудованием.

Так многие российские фирмы выпускают оборудование устья скважин типа ОУЭН (рис. 1.11).

Крестовик 1, соединенный с обсадной колонной, имеет разъемный конус 2, на котором подвешиваются НКТ. Над конусом расположено резиновое уплотнение 3, герметизирующее место вывода труб и кабеля 4. Уплотнение поджимается разъемным фланцем 5. Затрубное пространство скважины соединяется с выкидом из НКТ через колено 6 и обратный клапан 7. Крестовик 1 имеет специальное отверстие для применения эхолота или других приборов для установления динамического уровня. Все основные узлы оборудования устья унифицированы с узлами фонтанной арматуры и устья штанговых скважинных насосных установок, что существенно

упрощает комплектацию оборудования устья и его эксплуатацию. Рабочее давление, на которое рассчитано оборудование устья, составляет 14 и 21 МПа, диаметр условного прохода запорных органов - 65 мм. Выпускаются модификации оборудования для умеренного (исполнение У) и холодного климата (ХЛ).

Наиболее распространенным способом уплотнения кабелей в устьевой арматуре скважин является их заделка с помощью резиновых сальниковых уплотнителей (шайб).

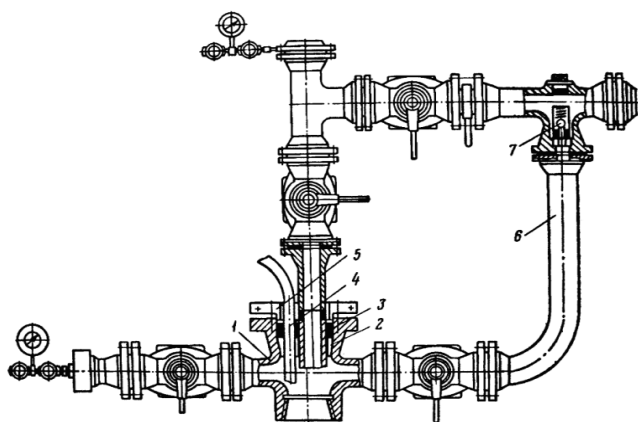


Рисунок 1.11 – Схема оборудования устья скважины при эксплуатации ее ЭЦН: 1 – крестовина, 2 – разъемный вкладыш, 3 – уплотнение, 4 – кабель, 5 – разъемный фланец, 6 – труба, 7 – обратный клапан

Уплотнение российских кабелей производится по изоляции токопроводящих жил, уплотнение кабелей иностранных фирм - по оболочкам жил или по общим шланговым оболочкам (в зависимости от конструкций кабелей). Данный способ трудоемок и не исключает деформацию изоляции и оболочек жил кабелей

1.2.11 Станция управления, трансформатор

Станция управления предназначена для управления работой (пуск/остановка) и защиты УЭЦН. Она оснащена необходимыми контрольно-измерительными системами, автоматами, всевозможными реле (максимальные, минимальные, промежуточные, реле времени). При возникновении нештатных ситуаций срабатывают соответствующие системы защиты, и установка отключается.

Достоинством станций управления является простой интуитивно понятный интерфейс, широкая номенклатура вариантов исполнения, высокая надежность, использование гибких алгоритмов управления.

Станция управления выполнена в металлическом ящике. Может устанавливаться на открытом воздухе, но часто размещается в специальной будке.



Рисунок 1.12 – Станции управления «ЭЛЕКТОН»

Станции управления ЭЛЕКТОН (ЗАО «Электон») предназначены для ручного, автоматического и дистанционного управления и защиты насосных установок, оснащенных асинхронными или вентильными двигателями номинальной мощностью до 1100 кВА.

Трансформатор повышает напряжение, чтобы двигатель на вводе в обмотку имел заданное номинальное напряжение. Как указывалось выше, рабочее напряжение двигателей составляет 470-2300 В. Кроме того, нужно учитывать снижения напряжения в длинном кабеле.

Трансформатор состоит из магнитопровода, обмоток высокого и низкого напряжений (ВН и НН соответственно), бака, крышки с вводами и расширителя с воздухоосушителем, а также переключателей (рис.1.13)

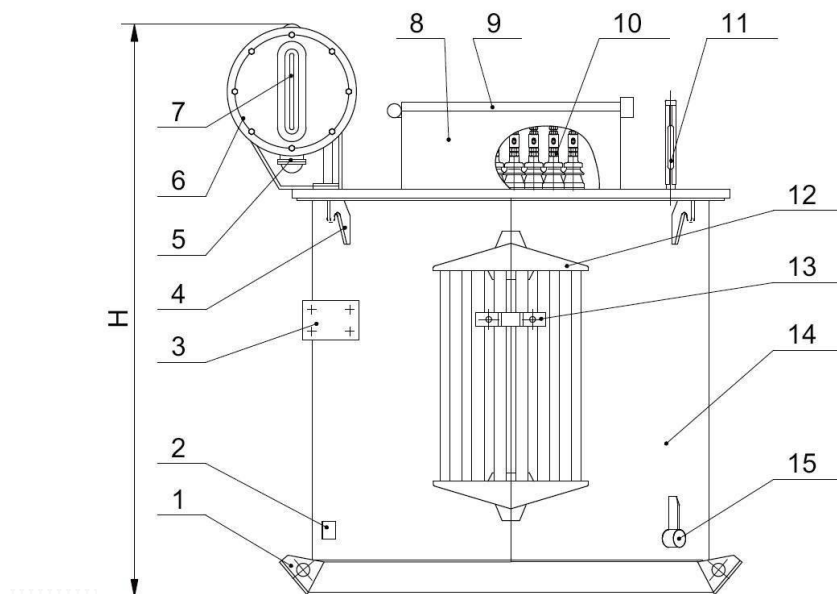


Рисунок 1.13 – Общий вид трансформаторов ТМПН: 1 – салазки; 2 – заземление; 3 – табличка; 4 – крюк для подъема трансформатора; 5 – воздухоосушитель; 6 – маслорасширитель; 7 – маслоуказатель; 8 – короб; 9 – крышка короба; 10 – вводы; 11 – термометр; 12 – радиатор; 13 – скоба; 14 – бак; 15 – пробка сливная

Трансформаторы выполняются с естественным масляным охлаждением (циркуляция масла - безнасосная). Они предназначены для установки на открытом воздухе. На высокой стороне обмоток трансформатора имеется 5-10 ответвлений (отпайки), обеспечивающих подачу оптимального напряжения на электродвигатель. (Например, у одного из трансформаторов мощностью 100 кВ*А отпайки даны на напряжения 1170, 1108, 1045, 983 и 920 В). Масло, заполняющее трансформатор, имеет пробивное напряжение 40 кВ.

В шифре трансформатора приняты следующие обозначения:

ТМПН 100/3-73ХЛ1 – трансформатор трехфазный (Т); маслонаполненный с естественной циркуляцией масла (М); ПН – для скважинных нефтяных насосов; 100 – номинальная мощность трансформатора, кВ*А; 3 – класс напряжения обмотки высокой стороны; 73 – год выпуска; ХЛ – климатическое исполнение (для районов с холодным климатом, при умеренном климате – У); 1 – категория размещения (для работы на открытом воздухе).

1.3 Требования к электроприводу для обеспечения бесперебойной работы установки

Электропривод установки должен удовлетворять следующим техническим требованиям и условиям эксплуатации.

Установка работает на подъем ГЖС в двух технологических режимах:

- регулирование производительности при нормальных условиях в пределах зоны регулирования параметров установки;
- поддержание производительности при необходимом напоре в условиях изменения пластовой температуры на уровне приемной сетки в пределах 87°C-97°C.

Режим работы – повторно-кратковременный.

Станция управления и трансформатор устанавливаются на открытой площадке температурой окружающего воздуха от -40°C до 45°C и относительной влажностью не более 80% .

Сеть трёхфазная: $380 \pm 10\%$ В, 50 ± 1 Гц.

Станция управления должна обладать необходимыми техническими возможностями для реализации реверсивной работы ПЭД, без дополнительных коммутационных узлов.

2. Методика по периодической краткосрочной эксплуатации скважины.

2.1. Назначение , цели и задачи.

Данная методика предназначена, для установления единого порядка, при проведении работ по реализации программы - перевод малодебитного фонда на эксплуатацию по технологии “ПКЭС”.

Эксплуатация ЭЦН на скважинах с низким геологическим потенциалом имеют ряд недостатков, которые без применения новых технологий, преодолеть затруднительно.

Технология “Периодической Кратковременной Эксплуатации Скважины” представляет собой нечто среднее между непрерывной эксплуатацией и эксплуатацией на программе. Основой технологии “Периодической Кратковременной Эксплуатации Скважины” является режим работы. Режим работы происходит на программе (работа - накопление), отличие от стандартной программы состоит в том, что время работы составляет от 3 до 10 мин, время накопления до 30 мин. За столь короткий период накопления, в зимний период, устьевая арматура не успевает замерзнуть. Уровень жидкости в затрубном пространстве изменяется не значительно (примерно 10 - 30 метров), соответственно депрессия, действующая на пласт, становится относительно постоянной и вследствие чего мы наблюдаем стабильный приток, и освоение скважины проходит более качественно.

Так же следует отметить, что фактическое время работы оборудования составляет всего $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{5}$ от общего периода эксплуатации. С учетом данного факта износ ЭПО, уменьшается кратно.

За счет увеличения диаметра проходных отверстий в РО, технология ПКЭС, хорошо себя зарекомендовала на низкодебитном фонде, осложненном мех.примесями.

Основной целью является, повышение эффективности механизированной добычи на производственных объектах, при помощи реализации программы по переводу малодебитного фонда на эксплуатацию по технологии «ПКЭС».

Задачи, решаемые при реализации программы по переводу малодебитного фонда ЭЦН на эксплуатацию по технологии “ПКЭС”:

- Увеличение наработки на отказ;
- Снижение энергопотребления;
- Более качественное освоение скважин.

2.2 Применение методики «ПКЭС»

Переводу скважин в эксплуатацию по технологии ПКЭС подлежат:

- Малодебитный фонд ЭЦН работающий на программе, фонд ЧРФ с низким притоком;
- Фонд УЭЦН работающий в левой зоне напорно – дебитной характеристики с низким КПД, при соотношении приток – производительность $< 50\%$;
- Целенаправленный перевод скважин в эксплуатацию ПКЭС при ТКРС;

Критерии для перевода УЭЦН на эксплуатацию по технологии ПКЭС:

- Пониженное КПД УЭЦН, в результате чего имеем повышенное потребление электроэнергии;
- дополнительный нагрев рабочих органов ЭЦН как следствие повышенное солеотложение, коррозия, оплавление кабельного удличителя и т.д.
- отсутствие притока необходимого для охлаждения ПЭД
- отсутствие возможности ограничить подачу ЭЦН с помощью применения устьевого штуцера.
- в зимний период, длительные простои при восстановлении уровня жидкости в скважине, сопровождаются замерзанием устьевой арматуры при работе, по программе, рассчитанной на долгосрочный режим работы;

Ограничения по переводу на технологию ПКЭС:

- низкие пластовые давления, не обеспечивающие восстановление статического уровня в период накопления;
- скважины, где требуется непрерывный поток жидкости, к данному типу скважин относятся скважины с высоковязкой нефтью;

Продолжительность работы по технологии ПКЭС должна быть в диапазоне от 3 до 10 минут. Время накопления должно составлять до 30 минут.

При переводе скважины ПКЭС предварительно производятся подготовительные работы включающие в себя:

- проверку работоспособности обратного клапана;
- работоспособность плавного пуска;
- замер дебита жидкости;
- расчет притока из пласта;
- замер энергопотребления (при условии СУ со встроенным счетчиком электроэнергии); [7]

3 Расчет и выбор УЭЦН, погружного двигателя и определение параметров его Т-образной схемы замещения

3.1 Методика подбора УЭЦН к скважине

Одно из важнейших условий эффективного использования УЭЦН - это правильный подбор УЭЦН к скважине, то есть выбор для каждой конкретной скважины таких взаимообусловленных типоразмеров насоса, электродвигателя с гидрозащитой, кабеля, трансформатора, подъемных труб, и такой глубины спуска насоса в скважину, которые обеспечат освоение скважины и технологическую норму отбора жидкости (номинального дебита) из нее в установившемся режиме работы системы скважина - УЭЦН при наименьших затратах.

При подборе типоразмера насоса должны обязательно учитываться объемный коэффициент нефти и газосодержание на приеме насоса.

Указанные факторы приводят к существенным отличиям в объемах газожидкостной смеси на приеме насоса и дебите жидкости на поверхности.

Количество ступеней в насосе подбирается исходя из условия подъема жидкости на поверхность с учетом давления на буфере, в затрубном пространстве и на приеме насоса, также учитывается газлифтный эффект в НКТ и вредное влияние свободного газа на работу насоса. При подборе типоразмера и количества ступеней в насосе нужно учитывать, что на напорную характеристику УЭЦН значительно влияет вязкость перекачиваемой жидкости. Также выбирается необходимая глубина спуска, по ловильной головке насоса, зависящая от инклинометрии, длины и диаметра установки. По результатам подбора могут даваться рекомендации по дополнительной комплектации установки и скорости спуска/подъема в некоторых интервалах глубин скважины.

3.1.1 Выбор насосной установки по величине планируемого дебита и напора

Ограничением при подборе скважин кандидатов является низкие пластовые давления, не обеспечивающие восстановление статического уровня в период накопления.

Данная технология не применима на скважинах где требуется непрерывный поток жидкости, к данному типу скважин относятся скважины с высоковязкой нефтью. Если исключить вышеперечисленные критерии, то подходят все скважины с притоком от 5 м³/сут до 30 м³/сут.

Скважина кандидат: приток-8 м³/сут, глубина спуска-2400 м.,

Выбор насосной установки производится с учетом необходимого дебита, напора, габарита, по каталожным данным приведенным в Приложении 1

Для применения периодической кратковременной эксплуатации скважины, подбираем центробежный насос 6.0 ЭЦН 5 – 30 - 2400 ее параметры занесем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры выбранной установки 60ЭЦН5-30-2400

QoB м ³ /сут	30
Количество секций	3
Длина секций м	5+5+6
Количество ступеней	502
Напор м	2400
Мощность кВт	18,42

Из таблицы видно, что выбранная установка полностью соответствует техническим требованиям

3.1.2 Методика подбора ПЭД и гидрозащиты

В общем случае по максимальной потребляемой мощности насоса, диаметру эксплуатационной колонны, температуре пластовой жидкости подбирается двигатель необходимого исполнения, мощности и габарита.

В случае если предполагается работа установки при 60Гц, то двигатель подбирается с учетом роста потребляемой мощности насоса. Потребляемая мощность насоса при увеличении частоты растет в кубической зависимости, а мощность двигателя - в линейной.

Например: при 50Гц насос потребляет 18,42 кВт, если предполагается работа только при 50Гц подбирается двигатель 28 кВт.

При предположении работы насоса при 60Гц будут следующие результаты: если при 50Гц насос потребляет 18,42 кВт то при 60Гц:

При подборе двигателя так же учитывается потребляемая мощность гидрозащиты и газосепаратора, принимаем потребляемую мощность гидрозащиты и газосепаратора при частоте 50Гц, $P_{г1} = 2,5 \text{ кВт}$

Находим потребляемую мощность насоса при 60Гц:

$$P_{\text{нас2}} = \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^3 P_{\text{нас1}} = \left(\frac{60}{50}\right)^3 18,42 = 31,82 \text{ кВт} \quad (3.1)$$

Далее находим потребляемую мощность гидрозащиты и газосепаратора:

$$P_{г2} = \left(\frac{F_2}{F_1}\right) P_{г1} = \left(\frac{60}{50}\right) 2,5 = 3 \text{ кВт} \quad (3.2)$$

Потребляемая мощность установки:

$$P_{\text{нас2}} = P_{г2} + P_{\text{нас2}} = 3 + 31,82 = 34,82 \text{ кВт} \quad (3.3)$$

Из каталожных данных ,приведенных в Приложении 2, выбираем погружной двигатель ПЭДН – 32 - 117

Таблица 3.2 – Параметры выбранного погружного электродвигателя ПЭДН – 32 - 117

Тип электродвигателя	ПЭДН 32 - 117
Номинальная мощность, кВт	32
Номинальное напряжение, В	1000
Номинальный ток, А	26
КПД, %	84
Cos φ, о.е.	0,83
Скольжение, %	3,8
Миним. диаметр скважин, мм	123,7
Скорость охлаж. жидкости не менее, м/с	0,06
Кол-во секций	1
Установочная длина, мм	3725

Окончание таблицы 3.2

Масса, кг	245
Синхронная частота вращения, об/мин	3000
Мах. темп. охл. жид- кости, °С	120
Мах. темп. обмотки двигателя, °С	170

В случае, когда известны все характеристики пласта, скважины, свойства жидкости глушения, согласована комплектация УЭЦН (наличие/отсутствие обратного клапана, станции управления с частотно-регулируемым приводом), выяснена потребляемая мощность насоса для данных условий, возможен более корректный подбор ПЭДа.

Следует выбирать ПЭД по максимальной потребляемой мощности насоса в его рабочем диапазоне, с учетом следующих факторов.

Факторы, влияющие на повышение потребляемой насосом мощности:

- высокая вязкость ГЖС;
- высокая плотность перекачиваемой среды (жидкость глушения, ГЖС);
- отложение мех примесей в насосе без изменения подачи;
- увеличение частоты;
- увеличение обводнённости в продукции скважины;
- увеличение подачи насоса.

Факторы, влияющие на снижение потребляемой насосом мощности:

- содержание свободного газа в продукции скважины;
- низкая плотность перекачиваемой среды;
- снижение подачи насоса;
- снижение частоты;

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

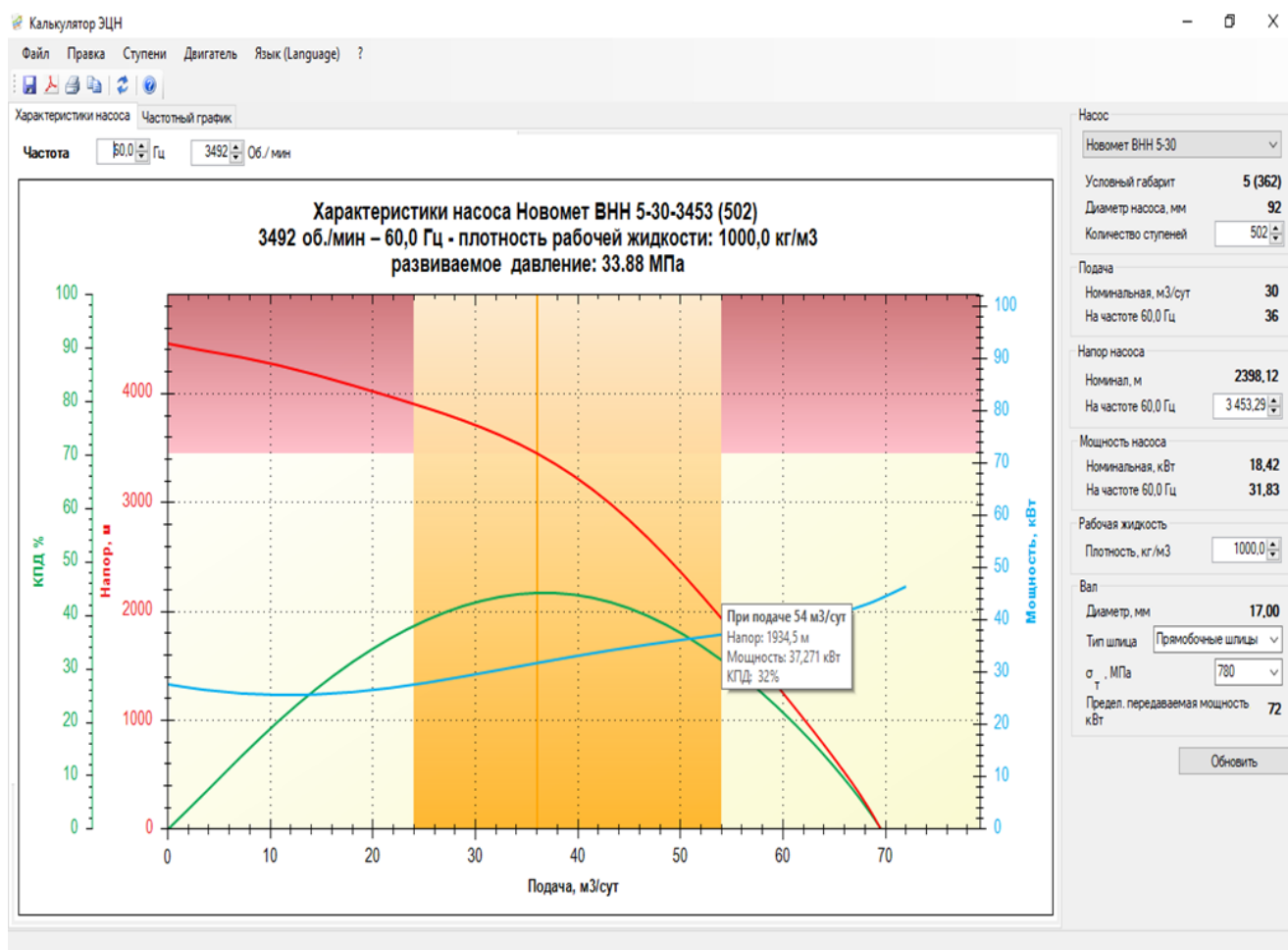


Рисунок 3.1 – Внешний вид программы Novomet ESP Calculator

Из рисунка 3.2 видно, что при подаче $54 \text{ м}^3/\text{сут.}$ и при частоте 60 Гц, максимальная потребляемая мощность насоса составляет 37,271 кВт. Учитывая, что передаваемая мощность двигателя изменяется прямо пропорционально изменению частоты и мощность двигателя составит 38,4 кВт, это подтверждает правильность выбора ПЭДН 32 - 117

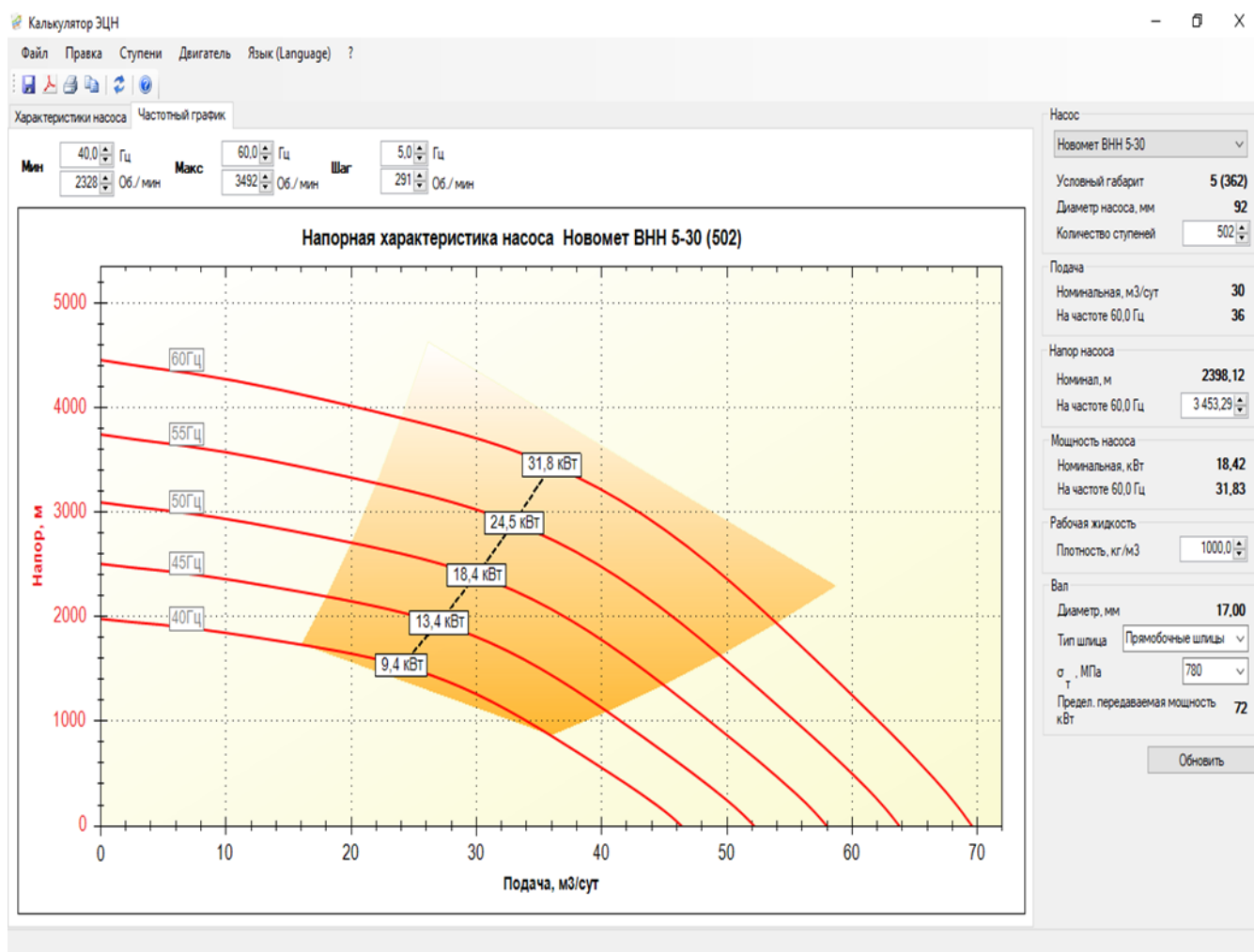


Рисунок 3.2 – Частотный график программы Novomet ESP Calculator

На рисунке 3.2 показан частотный график, из которого можно убедиться в правильности выбора электропривода центробежного насоса, из графика видно что при 60Гц номинальная потребляемая мощность насоса 31,8 кВт, что подтверждает выбор ПЭДН32-117.

3.1.3 Методика подбора кабельной линии

При выборе кабеля следует определить:

- 1) площадь сечения жилы кабеля;
- 2) тип кабеля;
- 3) длину кабеля.

Выбор площади сечения жилы и типа кабеля обуславливается совместным влиянием факторов: допустимых токовых нагрузок и температуры скважинной среды, параметров флюида и пространственных ограничений в кольце между НКТ и обсадной трубой.

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

Длина удлинителя подбирается таким образом, чтобы сросток удлинителя с основным кабелем находился минимум на 2-3 м выше ловильной головки насоса, а также по допустимым токовым нагрузкам и температуре скважинной среды.

Удлинитель или термостойкая вставка подбирается по температуре скважинной жидкости, проходящей по НКТ и допустимым токовым нагрузкам (рис. 3.3).

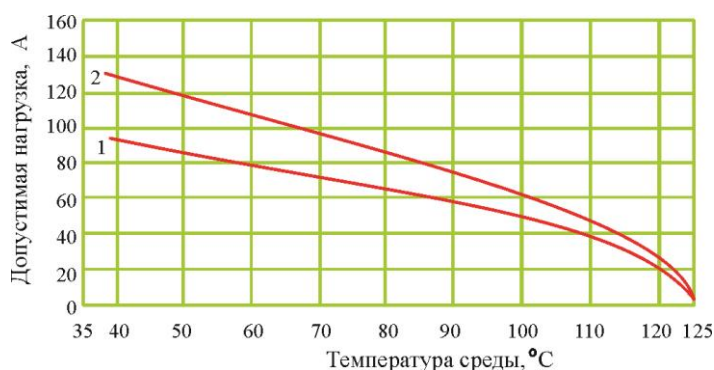


Рисунок 3.3 – Зависимость допустимых токовых нагрузок кабеля КРБПТ от температуры скважинной среды (смеси жидкости и газа).

Цифрами обозначены сечения кабеля, мм²: 1 - 10, 2 – 16

3.2 Определение параметров Т образной схемы замещения погружного электродвигателя ПЭДН 32 – 117

Технические данные погружного электродвигателя ПЭДН32–117 необходимые для определения параметров Т образной схемы замещения, приведены в Таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Технические данные электродвигателя ПЭДН32 – 117:

Напряжение двигателя фазное, В $U_{1фн}$	577
Синхронная частота вращения, об/мин n_0	3000
Мощность двигателя, кВт Рдвн	32
Скольжение при номинальной нагрузке, % s_n	3,8
КПД при номинальной нагрузке, % η_n	84,0
$\cos\phi$ при номинальной нагрузке $\cos\phi_n$	0,83
Кратность максимального момента m_k	2,2
Кратность пускового момента $m_{п}$	1,0
Кратность минимального момента m_{mn}	0,9
Кратность пускового тока $k_{идв}$	7,0
Число пар полюсов Z_p	1
Момент инерции двигателя, кг · м ² $J_{дв}$	2,63

Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на Рис. 3.4.[8], [17]

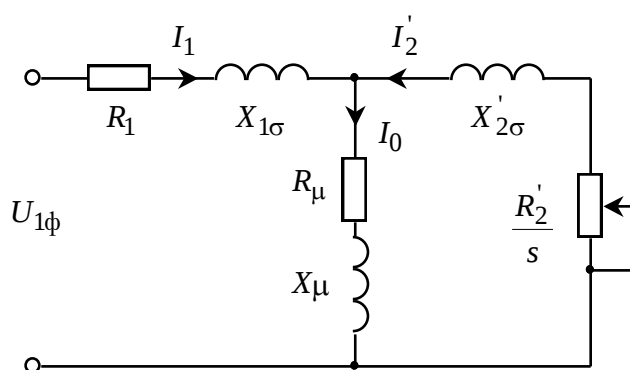


Рисунок 3.4 – Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке схемы замещения имеются следующие параметры:

- $U_{1ф}$ – фазное напряжение подводимое к обмотке статора двигателя;
- I_1 – ток обмотки статора;
- R_1 – активное сопротивление обмотки статора;
- $X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

- I_2' – приведенный ток обмотки ротора к обмотке статора;
- R_2' – приведенное активное сопротивление цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;
- $X_{2\sigma}'$ – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;
- I_0 – ток холостого хода (намагничивания);
- X_m – индуктивное сопротивление контура намагничивания.

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие данной схеме:

$$\bar{U}_{1\Phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0 \quad (3.4)$$

$$\bar{E}_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2' + R_2' \cdot \bar{I}_2' / s = 0 \quad (3.5)$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 = 0 \quad (3.6)$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений изображена на рисунке 3.5.

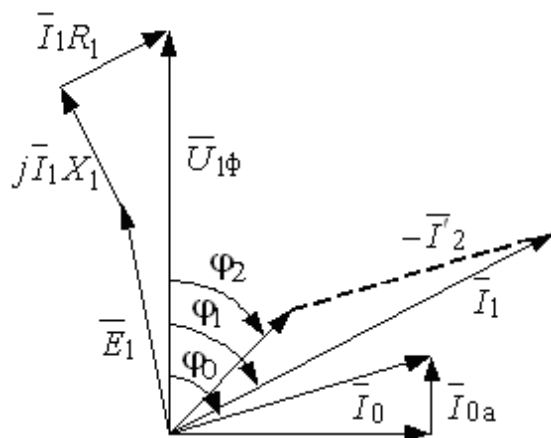


Рисунок 3.5 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Определим дополнительные параметры асинхронного двигателя по каталожным данным.

Синхронная угловая частота вращения двигателя, рад/с

$$\omega_0 = \frac{\pi \times n_0}{30} = \frac{3,14 \times 3000}{30} \quad \omega_0 = 314,159 \quad (3.7)$$

Номинальная частота вращения двигателя, об/мин

$$n_H = (1 - s_n) \times n_0 = \left(1 - \frac{3,8}{100}\right) \times 3000 ; \quad n_H = 2886 \quad (3.8)$$

Номинальная частота вращения двигателя, рад/с

$$\omega_H = (1 - s_n) \times \omega_0 = \left(1 - \frac{3,8}{100}\right) \times 314,159; \quad \omega_H = 302,221 \quad (3.9)$$

Номинальный ток двигателя, А

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \times U_{1H} \times \cos \varphi \times \eta_H} = \frac{P_{двн} \times 1000}{3 \times U_{1фн} \times \cos \varphi_H \times \frac{\eta_H}{100}}; \quad I_{1H} = 26,515 \quad (3.10)$$

Номинальный момент двигателя, Н · м

$$M_H = M_{двн} = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{P_{двн} \times 1000}{\omega_H}; \quad M_H = 105,882 \quad (3.11)$$

Коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p_z = 0,75$

КПД двигателя при частичной загрузке, принимаем $\eta_z = 0,84 + \Delta\eta_z = 0,875$

Коэффициент мощности при частичной загрузке, принимаем

$$\cos \varphi_z = 0,83 + \Delta \cos \varphi_z = 0,758 \quad (3.12)$$

Ток статора двигателя при частичной загрузке, А

$$I_{11} = \frac{p_z \times P_H}{3 \times U_{1H} \times \cos \varphi_z \times \eta_z} = \frac{p_z \times P_{двн} \times 1000}{3 \times U_{1фн} \times \cos \varphi_z \times \eta_z}; \quad I_{11} = 20,89 \quad (3.13)$$

Параметры схемы замещения определяем по методике, предложенной в [9].

Определяем предварительное значение тока холостого хода асинхронного двигателя по выражению:

Ток холостого хода двигателя, А

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[\frac{p_Z \times I_{1H} \times \left(1 - \frac{S_H}{100}\right)}{1 - p_Z \times \frac{S_H}{100}} \right]^2}{1 - \left[\frac{p_Z \times \left(1 - \frac{S_H}{100}\right)}{1 - p_Z \times \frac{S_H}{100}} \right]^2}}; \quad I_0 = 10,427$$

(3.14)

β – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статор и ротора, значение которого находится в диапазоне 0,6-2,5.

Для двигателей с малым номинальным значением скольжения следует выбирать $\beta \geq 1$, а для двигателей с повышенным скольжением $\beta \leq 1$

Принимаем $\beta = 2,5$.

$$\text{Расчетный коэффициент } c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \times k_{i_{дв}} \times I_{1H}}; \quad c_1 = 1,028 \quad (3.15)$$

Критическое скольжение

$$S_k = \frac{S_H}{100} \times \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 \times \left[1 - 2 \times \frac{S_H}{100} \times \beta \times (m_k - 1)\right]}}{1 - 2 \times \frac{S_H}{100} \times \beta \times (m_k - 1)}; \quad S_k = 0,2 \quad (3.16)$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора в номинальном режиме, Ом

$$R_{2пр} = \frac{3 \times U_{1\Phi H}^2 \times \left(1 - \frac{S_H}{100}\right)}{2 \times m_K \times P_{двн} \times 1000 \times c_1^2 \times \left(\beta + \frac{1}{S_k}\right)}; \quad R_{2пр} = 0,87$$

(3.17)

Активное сопротивление обмотки статора, Ом

$$R_1 = c_1 \times R_{2пр} \times \beta; \quad R_1 = 2,237$$

(3.18)

Коэффициент, характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведенного активного сопротивления ротора

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{S_k}\right)^2 - \beta^2}; \quad \gamma = 4,23 \quad (3.19)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме, Ом

$$X_{\text{кн}} = \gamma \times c_1 \times R_{2\text{пр}}; \quad X_{\text{кн}} = 3,788 \quad (3.20)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме, Ом

$$X_{1\sigma} = 0,42 \times X_{\text{кн}}; \quad X_{1\sigma} = 1,591 \quad (3.21)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме, Гн

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \times \pi \times f_{1\text{н}}}; \quad L_{1\sigma} = 5,06 \times 10^{-3} \quad (3.22)$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме, Ом

$$X_{2\sigma\text{пр}} = 0,58 \times \frac{X_{\text{кн}}}{c_1}; \quad X_{2\sigma\text{пр}} = 2,137 \quad (3.23)$$

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

$$L_{2\sigma\text{пр}} = \frac{X_{2\sigma\text{пр}}}{2 \times \pi \times f_{1\text{н}}}; \quad L_{2\sigma\text{пр}} = 0,007 \quad (3.24)$$

ЭДС цепи намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора (главным полем), в номинальном режиме, В

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\text{фн}} \times \cos \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{н}} \times R_1)^2 + (U_{1\text{фн}} \times \sin \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{н}} \times X_{1\sigma})^2} \quad (3.25)$$

$$E_1 = 504,224$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания, Ом

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0}; \quad X_{\mu} = 48,356 \quad (3.26)$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, Гн

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \times \pi \times f_{1H}}; \quad L_{\mu} = 0,154 \quad (3.27)$$

Полученные расчётные параметры Т-образной схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Параметры схемы замещения электродвигателя ПЭДН32-117

R_1 , Ом	$X_{1\delta}$, Ом	$L_{1\delta}$, Гн	X_{μ} , Ом	L_{μ} , Гн	R_2' , Ом	$X_{2\delta}'$, Ом	$L_{2\delta}'$, Гн	X_{KH} , Ом
2,237	1,591	$5,06 \times 10^{-3}$	48,356	0,154	0,87	2,137	0,007	3,788

3.3 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

Номинальный электромагнитный момент двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя

$$M_{\text{ЭМН1}} = \frac{3 \times U_{1\text{фн}}^2 \times R_{2\text{пр}}}{\omega_0 \times \frac{S_H}{100} \times \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_{2\text{пр}}}{\frac{S_H}{100}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \times R_{2\text{пр}}}{\frac{S_H}{100} \times X_{\mu}} \right)^2 \right]} \quad (3.28)$$

$$M_{\text{ЭМН}} = M_{\text{ЭМН1}}$$

$$\Psi_{2HZ} = \sqrt{2} \times I_0 \times L_{\mu}; \quad \Psi_{2HZ} = 2,27 \quad (3.29)$$

$$M_{\text{ЭМН2}} = \frac{3}{2} \times Z_p \times \frac{L_{\mu}}{L_{\mu} + L_{2\sigma\text{пр}}} \times \Psi_{2HZ} \times \sqrt{2} \times \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} \quad (3.30)$$

Проверяемые условия

$$M_{\text{ДВН}} < M_{\text{ЭМН1}} \leq 1.1 \times M_{\text{ДВН}}; \quad M_{\text{ЭМН1}} \approx M_{\text{ЭМН2}} \quad (3.31)$$

$$M_{\text{ДВН}} = 105,882 \quad M_{\text{ЭМН1}} = 112,414 \quad 1.1 M_{\text{ДВН}} = 116,47 \quad M_{\text{ЭМН2}} = 112,472$$

$$\Delta_M = (M_{\text{эмн1}} - M_{\text{эмн2}}); \Delta_M = 0,058 \quad (3.32)$$

По результатам расчета эти условия выполняются, что говорит об адекватности расчетных параметров двигателя.

3.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя

Расчет естественных характеристик проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [8].

3.4.1 Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика $\omega(M)$ асинхронного электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{\text{и}}=f_{1\text{н}}=50$ Гц по выражению

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} \quad (3.33)$$

Задаемся скольжением в пределах $s = 0.01, 0.02, \dots, 0.5$ и рассчитываем по программе *Mathcad* естественную механическую характеристику $\omega(M)$ (рис. 3.7).

Производим расчет номинального значения электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.н}}$:

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

$$= \frac{3 \cdot 577^2 \cdot 0,87}{314,159 \cdot 0,038 \cdot \left[3,788^2 + \left(2,237 + \frac{0,87}{0,038} \right)^2 + \left(\frac{2,237 \cdot 0,87}{0,038 \cdot 48,356} \right)^2 \right]} = 112,415 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

критического скольжения:

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2}{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0,87 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{2,237}{48,356} \right)^2}{2,237^2 + 3,788^2}} = 0,2$$

электромагнитного критического момента:

$$M_{\text{эм.н}}(s_k) = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2}{\omega_0 \cdot 2 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{X_\mu} \right)^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 577^2}{314,1159 \cdot 2 \cdot \left[2,237 + \sqrt{(2,237^2 + 3,788^2) \cdot \left(1 + \frac{2,237}{48,356} \right)^2} \right]} = 232,358 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

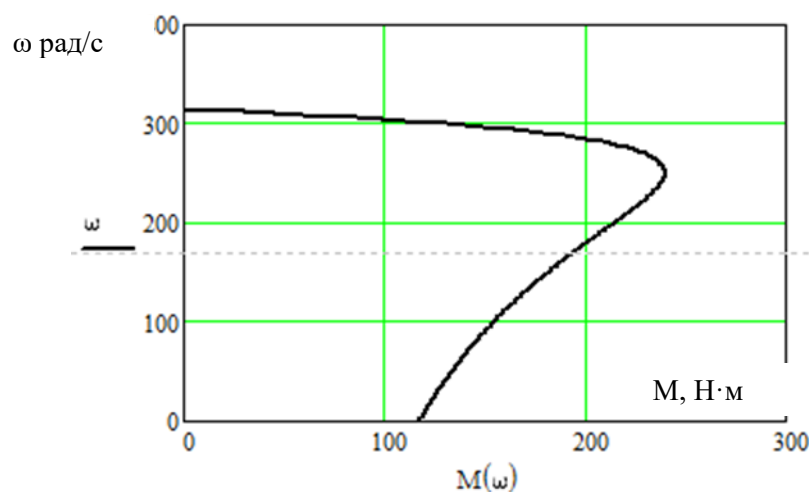


Рисунок 3.6 – Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

$$n_H = 2886 \frac{\text{об}}{\text{мин}} ; \omega_H = \frac{\pi \times n_H}{30} ; \omega_H = 302,068 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} ; M_H = 105,936$$

$$M(\omega) = 112,415.$$

3.4.2 Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя рассчитывается для значения частоты по выражению:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(\omega) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot 0,673}, \quad (3.34)$$

где

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

– значение приведенного тока ротора от скольжения.

По результатам расчета строим естественные электромеханические характеристики тока статора, приведенные на рисунке 3.7.

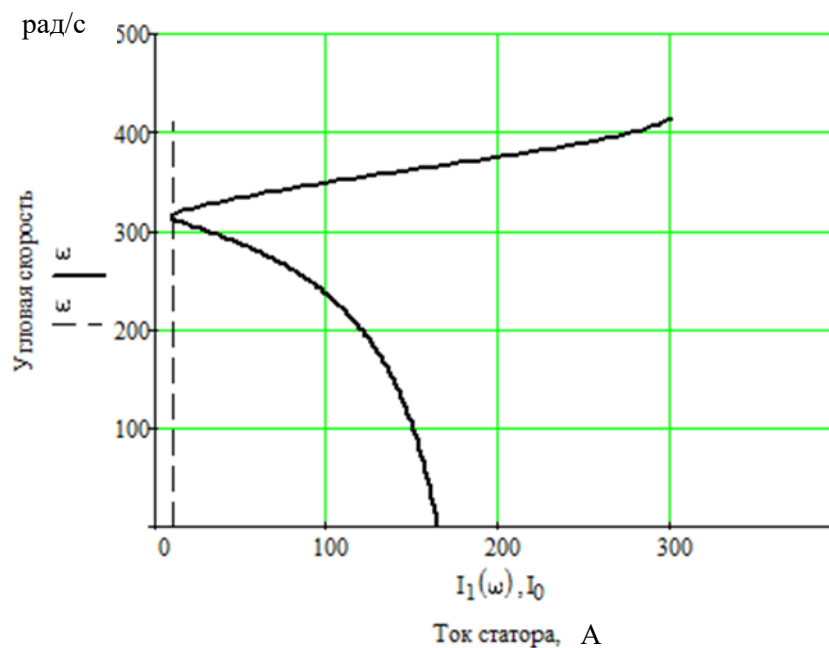


Рисунок 3.7 – Естественные электромеханические характеристики асинхронного электродвигателя

Оценка достоверности расчетных характеристик двигателя

В результате расчета естественных характеристик двигателя получены следующие параметры для их характерных точек:

$$s_H = 3,8\%; \quad s_K = 19,8\%; \quad I_{1H} = 26,515 \text{ A}; \quad I_{1\text{макс}} = 164,242 \text{ A};$$

$$I_{1\text{макс}}/I_{1\text{н}} = 6,194;$$

$$M_{\text{эм.н}} = 112,415 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{\text{эм.макс}} = 232,358 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{эм.макс}}/M_{\text{эм.н}} = 2,1;$$

Справочные и расчетные параметры двигателя:

$$s_{\text{н}} = 3,8\%; \quad s_{\text{к}} = 20\%; \quad I_{\text{дв.н}} = 26 \text{ А}; \quad I_{\text{дв.макс}}/I_{\text{дв.н}} = 7;$$

$$M_{\text{дв.н}} = 106 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_{\text{дв.макс}}/M_{\text{дв.н}} = 2,2.$$

Из сравнения параметров расчетных характеристик со справочными параметрами двигателя следует, что совпадение расчетных и справочных параметров обеспечивается только на рабочих участках расчетных характеристик (при изменении скольжения от $s = 0$ до $s = s_{\text{к}}$). Это дает возможность использовать упрощенную методику расчета характеристик частотно-регулируемого асинхронного электропривода в режимах плавного изменения частоты, когда работа двигателя всё время происходит на рабочих участках механических характеристик.

3.4.3 Механическая характеристика насоса

Механическая характеристика двигателя рассчитана для номинального электромагнитного момента. Полная нагрузка на валу электродвигателя должна учитывать собственный момент трения двигателя. Момент от сил трения на валу электродвигателя можно принять постоянным и равным

$$\Delta M_{\text{с дв}} = M_{\text{эм н}} - M_{\text{дв н}} = 112,415 - 105,882 = 6,533 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для механизма с насосным типом нагрузки изменяется статический момент сопротивления на валу двигателя $M_{\text{с}}(\omega)$ в зависимости от скорости вращения двигателя в соответствии с выражением [17]

$$M_c(\omega) = \Delta M_{с\text{ дв}} + (M_{с.\text{макс}} - \Delta M_{с\text{ дв}}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right)^3 =$$

$$= 6,533 + (112,415 - 6,533) \cdot \left(\frac{\omega}{302,221} \right)^3,$$

где $M_{с.\text{макс}} = M_{эм\text{ н}} = 112,415$ Нм - момент нагрузки при скорости вращения $\omega_{\text{дв.н}} = 302,221$ рад/с, равный номинальному электромагнитному моменту двигателя.

Механические характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя, соответствующих механическим характеристикам насоса, приведены на рисунке 3.8.

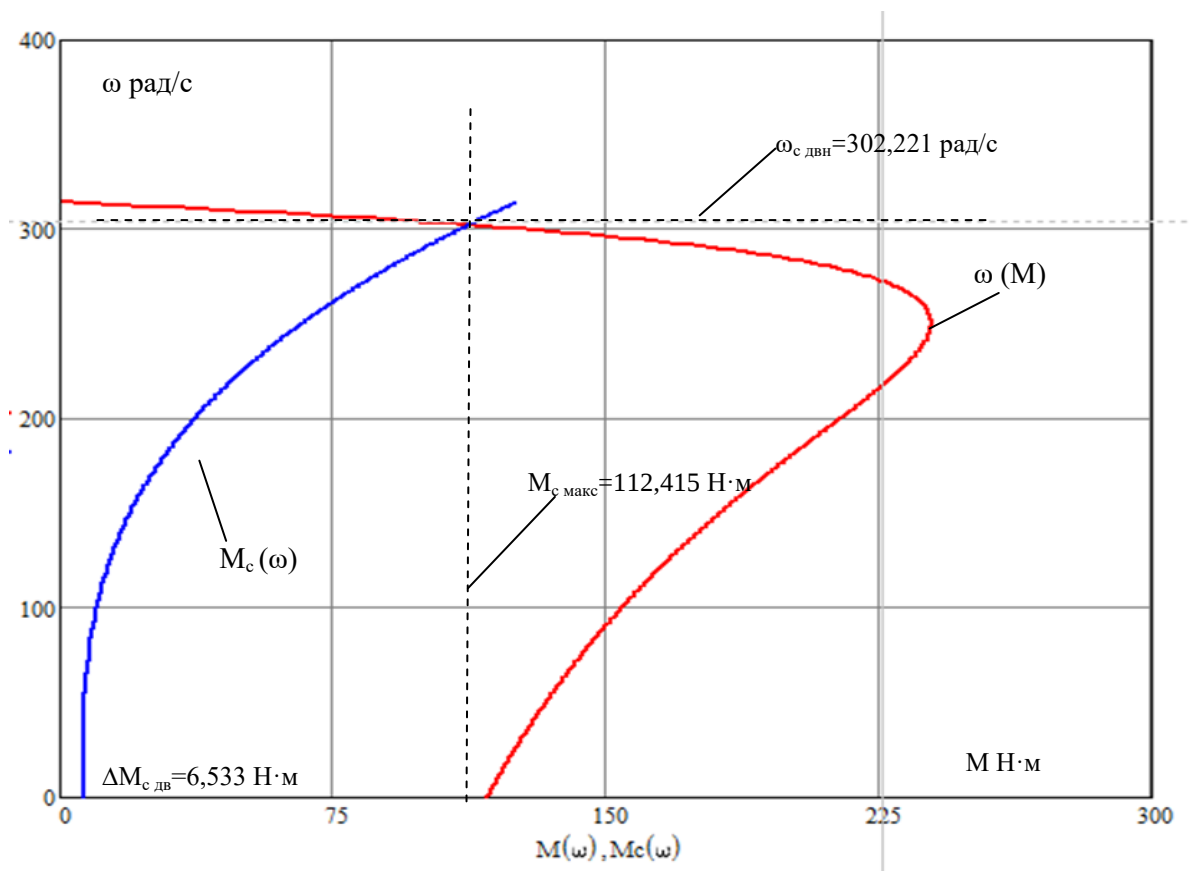


Рисунок 3.8 – Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ и характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$

Анализ характеристик приведённых на рисунке 3.8 показывает, что электродвигатель ПЭДН32 - 117 обеспечивает требуемое значение максимальной скорости насоса 60 ЭЦН 5 - 30 - 2400, $\omega_{\text{дв.н}} = 302,221$ рад/с,

длительную работу при максимальном моменте нагрузки и более чем двукратную перегрузку по моменту.

4. Обзор систем управления и способов регулирования электропривода

4.1 Системы управления электроприводом

Значительное число передовых компаний мира сегодня производят регулируемые автоматизированные электроприводы (АЭП) комплектно с микропроцессорными средствами автоматизации с различно программируемыми системами, предназначенными для большого диапазона его реализации [10]. Поэтому актуальность проектирования АЭП насосного агрегата, выполненного в общепромышленном исполнении заключается в решении задачи выбора системы управления электроприводом (СУЭП) для максимального повышения эффективности работы и производительности технологического оборудования [11].

Исходя из требований к СУЭП, при проектировании предлагаются к рассмотрению две схемы управления: схема векторного регулирования и схема скалярного управления электроприводом насосной установки, выполненными по системе преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (ПЧ-АД) [12].

Выбор способа и принципа управления производится на основании требований к регулированию скорости и показателям качества регулирования: диапазону регулирования, плавности, точности поддержания заданной скорости. Обязательно учитываются динамические показатели качества процесса регулирования: быстродействие, перерегулирование и др. Кроме того, при выборе системы управления электроприводом обязательен учет характера нагрузки, создаваемой рабочим механизмом. Частотное

управление электродвигателями осуществляется двумя основными способами.

Скалярный принцип частотного управления является наиболее распространенным в электроприводе. Ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД. Управление осуществляется по функциональной характеристике, связывающей напряжение и частоту статора электродвигателя (U/f - характеристике), с применением модуля IR-компенсации для поддержания постоянства потокосцепления статора в соответствии с этой характеристикой. В статических режимах позволяет добиться за счет обратных связей желаемых свойств электропривода. Применяется для электроприводов, в которых отсутствуют высокие требования к динамике [17].

Векторный принцип управления базируется на принудительной взаимной ориентации векторов потокосцеплений и токов АД в полярной или декартовой системах координат в соответствии с заданным законом регулирования. За счет регулирования модулей переменных и углов между их векторами обеспечивается управление АД как в статике, так и в динамике, обеспечивая тем самым заметное улучшение качества переходных процессов. Именно этот факт является определяющим при выборе системы с векторным управлением и находит применение в электроприводах со средней и высокой динамикой. Приводы таких механизмов как насосы занимают промежуточное положение между высокодинамичными, динамичными и низкодинамичными.

Поскольку скалярное управление позволило получить искусственные механические характеристики с требуемой жесткостью и учитывая преимущества этого вида управления, можно сделать вывод, что данный

способ управления может быть применён при проектировании СУЭП по системе ПЧ-АД насосной установки [12].

Также наличие задатчика интенсивности скорости (ЗИС) позволяет управлять скоростью переходных режимов электродвигателя, то есть изменять задаваемую скорость не скачкообразно, а постепенно увеличивая ее величину до некоторого значения, с остановом повышения скорости и выходом на установившейся режим при данном задании.

4.2 Выбор закона частотного регулирования

С учетом того, что диапазон регулирования скорости насосов невелик и механизмы такого класса не требуют обеспечения высокой кратности пускового и максимального моментов, в качестве законов регулирования U_1/f_1 могут быть приняты законы $U_1/f_1 = \text{const}$ и $U_1/f_1^2 = \text{const}$ [17].

Последний является более сложным в реализации, но за счет дополнительного снижения напряжения позволяет уменьшить потребляемую из сети энергию. Для повышения пускового момента на малых скоростях до требуемых значений должна быть предусмотрена возможность настройки вольт-частотной характеристики. Определяя параметры вольт-частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования.

4.3. Методика подбора наземного оборудования

4.3.1. Подбор ТМПН

По номинальной мощности выбранного двигателя вычисляется необходимая мощность трансформатора серии ТМПН.

Минимально допустимая мощность ТМПН рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{тмпн}} = N_{\text{ном}} \times 1,6 = 64 \text{ кВа},$$

где $P_{\text{тмпн}}$ - мощность трансформатора, кВа

$N_{\text{ном}}$ – номинальная мощность двигателя, кВт

1,6 – постоянный коэффициент пересчета

Выбираем ТМПН из таблицы в приложении 3 ТМПН 100/3 - 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:

$$U_{\text{отп.тмпн}} = \frac{F}{50} \times U_{\text{ном}} + \Delta U,$$

где:

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение ПЭД (из паспорта ПЭД), В.

ΔU – потери напряжения в кабеле, которые зависят от длины кабеля, температуры пластовой жидкости номинального тока ПЭД.

F – предполагаемая рабочая частота питающего напряжения Гц.

Значения потерь напряжения на 1000 метров кабельной линии приведены в приложении 4.

При определении потерь напряжения (ΔU) необходимо соответствующее значение из таблицы привести к общей длине кабеля:

$$\Delta U = \frac{\text{значение из табл.} \times L_{\text{каб.общ}}}{1000} = \frac{57 \times 2400}{1000} = 136,8 \text{ В,}$$

где:

$L_{\text{каб. общ}}$ – общая длина кабеля.

Тогда напряжение ступени при 60Гц:

$$U_{\text{отп.тмпн}} = \frac{60}{50} \times 1000 + 136,8 = 1336,8 \text{ В.}$$

Выбранный трансформатор ТМПН 100/3 - УХЛ 1 подходит для дальнейшей работы, выбираем ближайшую, подходящую ступень регулировки из таблицы в приложении 3: $U_{\text{отп.тмпн100}} = 1338 \text{ В.}$

4.3.2. Подбор 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, предполагается работа установки отличной от 50 Гц поэтому подбирается станция управления с частотным преобразователем.

Для ПЭДН32 из приложения 5 выбираем СУ с частотным регулированием «Электон-05» 400 приведённую на рисунке 4.1.

Описание станции управления серии «ЭЛЕКТОН-05-400»

Станция управления «Электон-05-400» предназначена для регулирования частоты вращения, оптимизации работы и защиты серийно выпускаемых электродвигателей.



Рисунок 4.1 – Станции управления ПЭД производства ЗАО «Электон»

Область применения — погружные асинхронные или вентильные электродвигатели для добычи нефти, асинхронные электродвигатели общепромышленного исполнения, применяемые для водозаборов и водоснабжения, приводов винтовых насосов.

Основные характеристики станции управления «Электон-05» 400 приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные характеристики СУ «Электон-05» 400

Номинальный ток первичной силовой цепи, А	400
Номинальная мощность преобразователя (при 380 В), кВА	250
Номинальное напряжение питания, В	380 (50±1Гц)
Диапазон отклонения питающего напряжения от номинального значения, %	-50...+25
Температурный диапазон, °С	-60...+40
Диапазон изменения частоты, Гц	3,5...70±1%
Габаритные размеры, мм	1890x925x758
Масса, кг	380

5. Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании

Вольт-частотная характеристика преобразователя при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, рассчитанная по выражению [13]

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 \quad \text{приведена на рисунке 5.1}$$

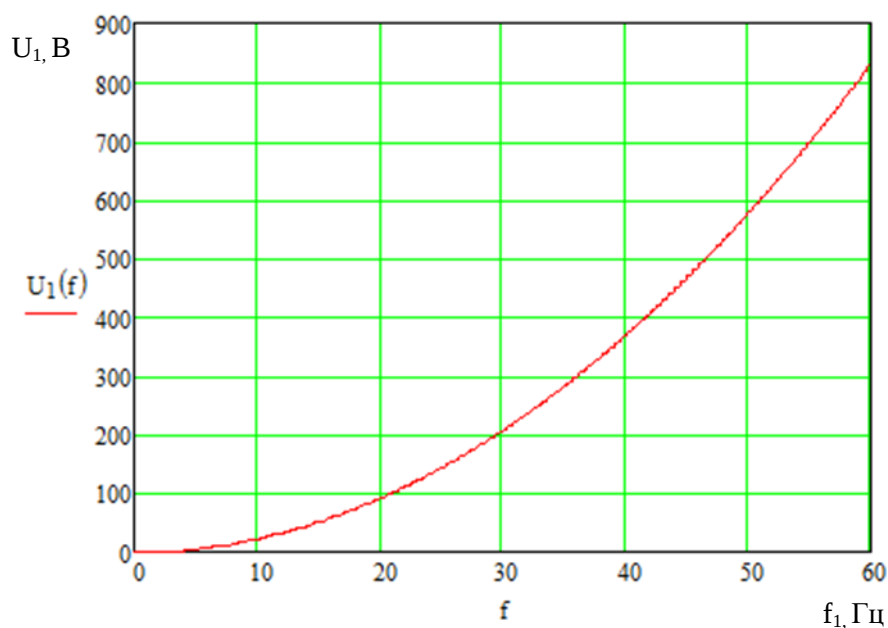


Рисунок 5.1 – Вольт-частотная характеристика преобразователя: 1 – при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$;

Максимальную частоту инвертора, соответствующую номинальному режиму работы насоса определяем из условия обеспечения номинальной рабочей скорости двигателя. Принимаем максимальное значение частоты инвертора $f_{\text{и макс}} = f_{1\text{н}} = 50$ Гц. Для запуска двигателя, отталкиваясь от диапазона частотного регулирования скорости, частоту $f_{\text{и мин}} = 10$ Гц принимаем за минимальную частоту инвертора.

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

Механические характеристики $\omega(M)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора: $f_{1н1}=50$ Гц; $f_{1н2}=35$ Гц; $f_{1н3}=20$ Гц; $f_{1н4}=10$ Гц рассчитываются с помощью программы *Mathcad* по выражениям:

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

где:

$$U_1(f_1) = U_{1фн} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2;$$

$$\omega(s, f_1) = 314,16 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1-s).$$

По результатам расчета на рисунке 4.2 построено семейство механических характеристик $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

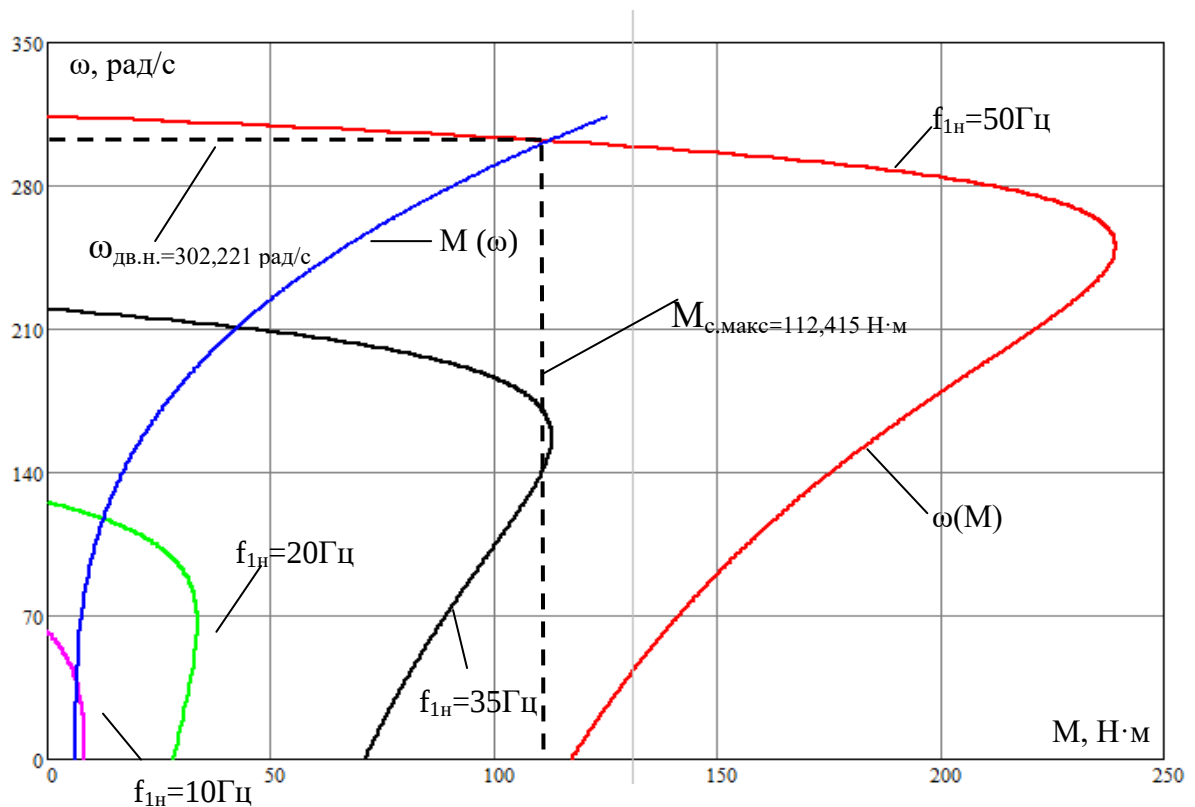


Рис. 5.2- Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь

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

$$\Delta M_{с.дв} = 6,533 \text{ Н} \cdot \text{м} ; M_{с.макс} = M_{дв.н} = 112,415 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Рассмотрение приведенных на рисунке 5.2 механических характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ пуск электропривода с начальной частотой инвертора $f_{и.мин} = 10 \text{ Гц}$ происходит без каких-либо затруднений, и присутствует запас по моменту.

6. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;

- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя [11].

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат. В приложении 6 приведена структурная схема силового канала непрерывной линеаризованной системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат [14]. Входными координатами структурной схемы являются составляющие напряжения управления преобразователя $U_{yn,\alpha}$ и $U_{yn,\beta}$, а выходной величиной – угловая скорость двигателя ω . Структурная схема (рисунок 5.1) характеризуется следующими промежуточными координатами:

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

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

Математическое описание силового канала системы преобразователь частоты - асинхронный электродвигатель (ПЧ-АД), в неподвижной системе координат α, β , ориентированной по вектору потокосцепления ротора.

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

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β и реактивной нагрузкой приведена на рисунке 5.1. Входными величинами на структурной схеме рисунок 5.1 являются напряжения переменного тока – фазные напряжения статорных обмоток двухфазного АД:

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

Параметры звеньев структурной схемы двигателя.

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_\mu = 0,005 + 0,154 = 0,159 \text{ Гн}$$

– ротора

$$L_2 = L_{2\delta}' + L_\mu = 0,007 + 0,154 = 0,161 \text{ Гн}$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,154^2}{0,159 \cdot 0,161} = 0,072$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 2,237 + 0,87 \cdot \frac{0,154^2}{0,161^2} = 3,036 \text{ Ом}$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0,072 \cdot 0,159}{3,036} = 0,0038 \text{ с} \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,161}{0,87} = 0,185 \text{ с}$$

В пакете Simulink системы Matlab разработана имитационная модель силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат [15].

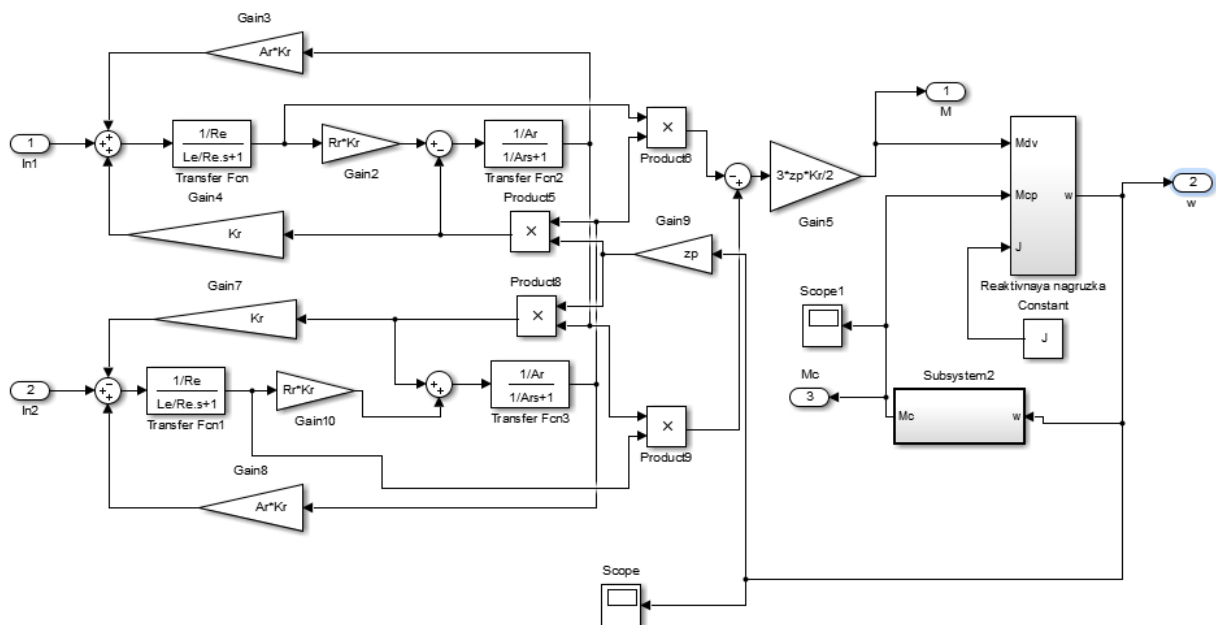


Рисунок 6.2 – Имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД

В библиотеке SimPowerSystem пакета Simulink системы MatLab имеется готовая модель АД. Имитационная модель прямого пуска АД на ее основе приведена на рисунке 6.3.

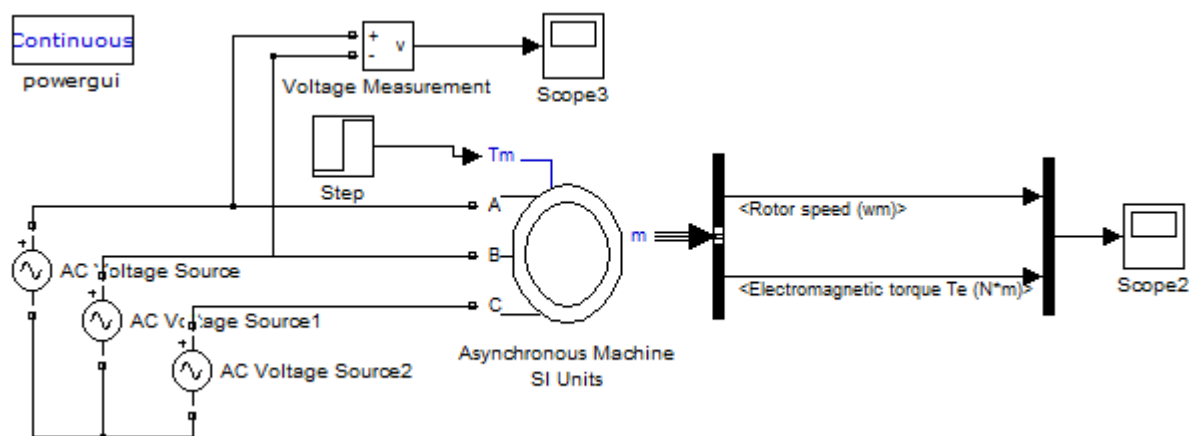


Рисунок 6.3 - Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

Рассматривая переходные процессы, имитационной модели силового канала системы ПЧ – АД собранной в Simulink на основании системы уравнений, и имитационной модели с использованием готовой модели асинхронного двигателя, видно, что переходные процессы в обоих случаях протекают идентично. Поэтому при разработке модели системы скалярного частотного управления достаточно использовать готовую модель АД из библиотеки SimPowerSystem, пакета Simulink, системы MatLab.

6.1 Функциональная схема системы скалярного частотного управления

В приводах длительного режима работы с постоянной скоростью, диапазоном регулирования скорости не больше 1:10 и без особых требований к динамике целесообразно применение простейших структур и законов частотного управления [16].

В простейшем случае частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением реализуется по разомкнутой структуре.

Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением, выполненная по разомкнутой

структуре для двухфазного АД в неподвижной системе координат α, β приведена на рисунке 6.5 [10]. На функциональной схеме символом * обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

ω - фактическое значение угловой скорости вращения двигателя;

ЗИС - задатчик интенсивности скорости с линейной характеристикой;

ФНУ 1 - формирователь напряжений управления двухфазным АД, который формирует два напряжения переменного тока U_α^* и U_β^* при применении структурной схемы АД в неподвижной системе координат статора α, β

ФНУ 2 (на рисунке изображен как «2/3») - преобразователь напряжений управления двухфазным двигателем в напряжения управления трехфазным двигателем.

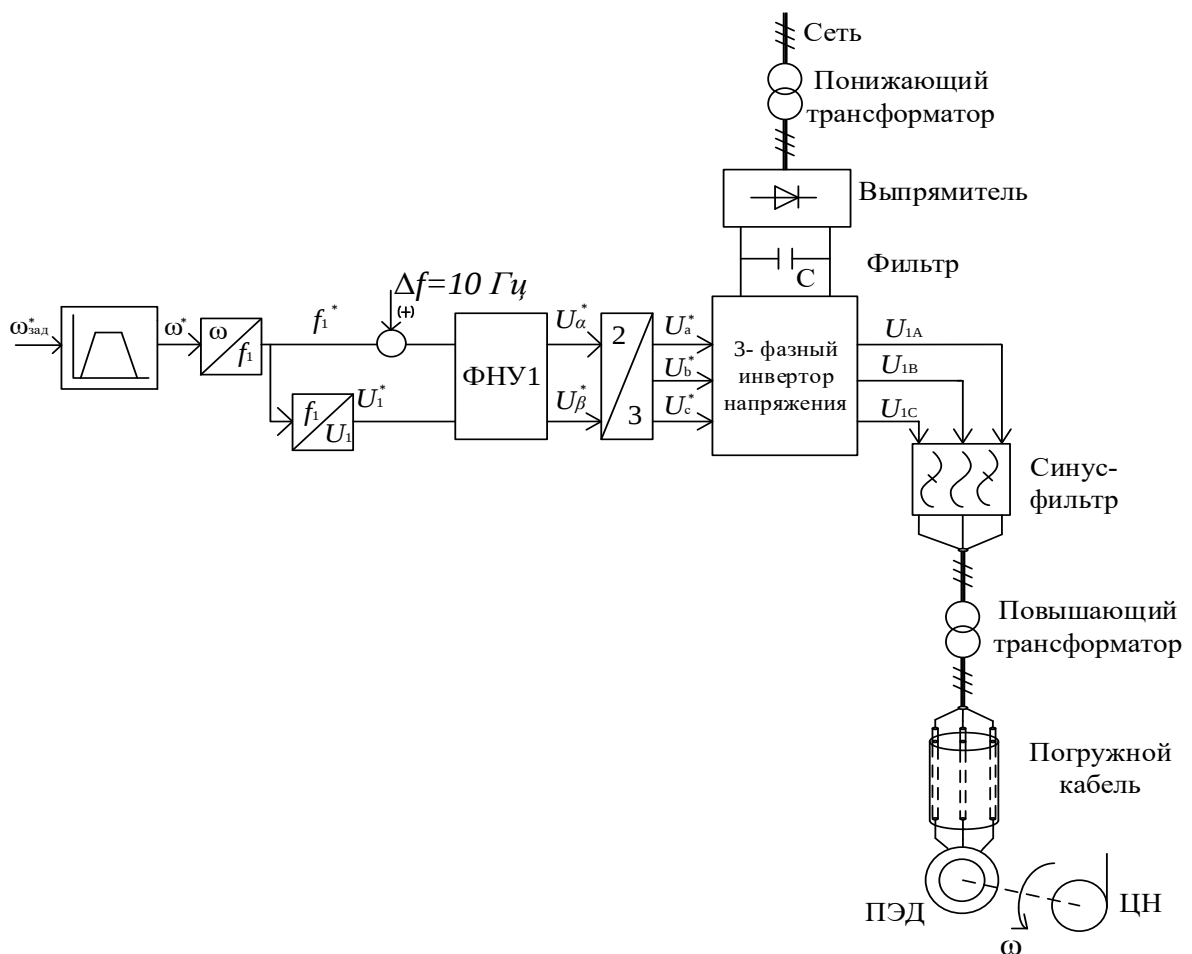


Рисунок 6.5 – Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

В разомкнутой системе электропривода со скалярным управлением при уменьшении частоты максимальный момент двигателя уменьшается.

Причина этого – возрастание влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения. При законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, как было показано выше, с целью обеспечения пускового момента на малых скоростях в преобразователе должна быть предусмотрена функция корректировки (повышение начального значения напряжения) вольт-частотной характеристики в области малых частот выходного напряжения инвертора. Либо, как показано в [18], можно применить так называемую IR - компенсацию (повышение фазного напряжения инвертора на величину падения напряжения на обмотке статора $I_1 \cdot R_1$) в области малых частот.

Для ограничения момента двигателя в пуско-тормозных режимах электропривода механизмов, у которых по технологии невозможны механические перегрузки (к таким механизмам можно отнести привод насосов), достаточно применения задатчика интенсивности с линейной характеристикой, который устанавливается на входе электропривода в канале задания скорости.

Задатчик интенсивности формирует кривую и темп разгона двигателя. Сигналом задания скорости является задающее напряжение U_z . Ему соответствует задающая частота f_z . Блок “преобразователь частоты-напряжение” ПЧН формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя, чем и устанавливается принятый закон частотного регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$. Блок ПКП – блок прямого координатного преобразователя формирует трехфазную систему управляющих напряжений для управления автономным

инвертором напряжения (АИН) преобразователя частоты. Система силовых трехфазных напряжений U_{1A}, U_{1B}, U_{1C} с выхода ПЧ затем подается на АД.

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 6.6, составим имитационную модель привода в среде Simulink системы MatLab.

Имитационные модели входящих в нее блоков представлены на рисунках 6.7 -6.12.

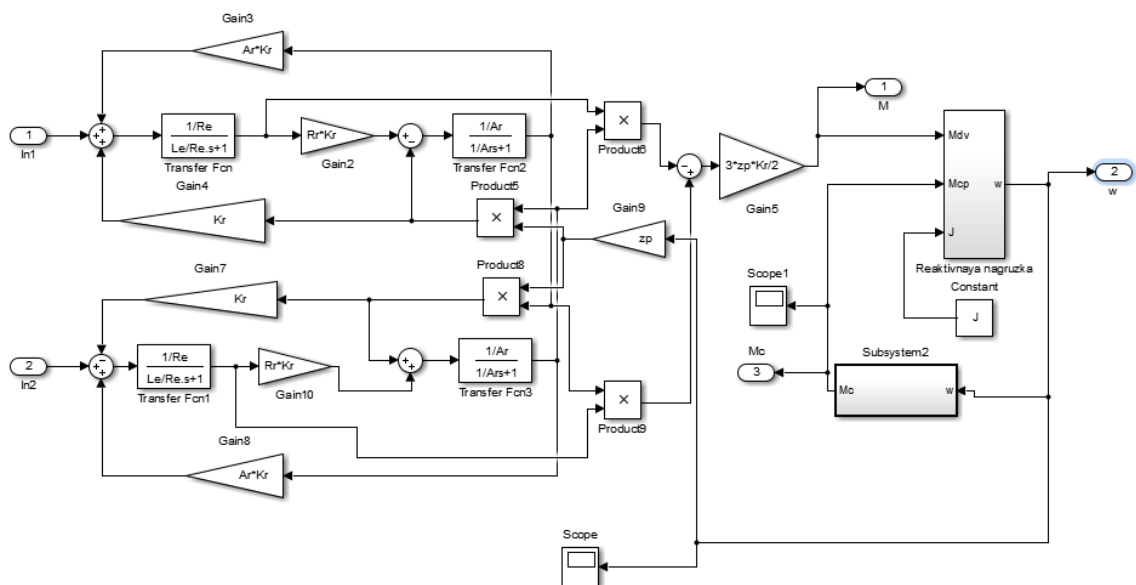


Рисунок 6.9 - Имитационная модель АД в неподвижной системе координат α, β

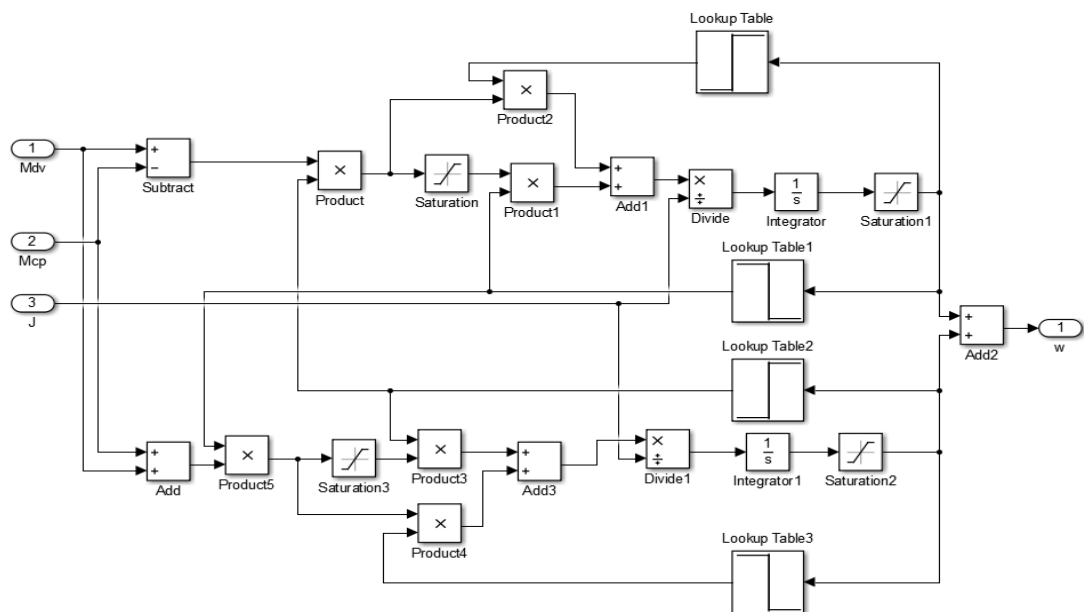


Рисунок 6.10. – Имитационная модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

Имитационная модель, представляющая насосную нагрузку представлена на рисунке 6.11

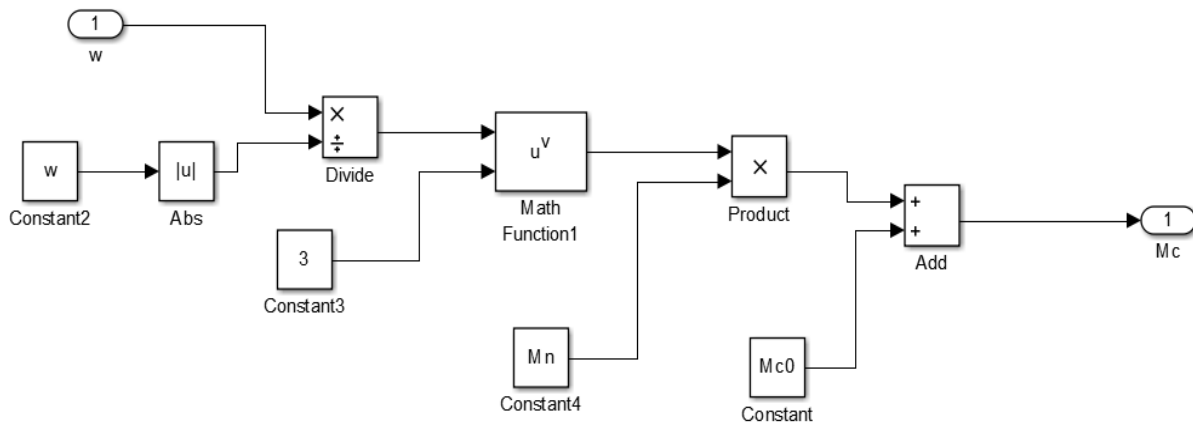


Рисунок 6.11 – Имитационная модель насосной нагрузки

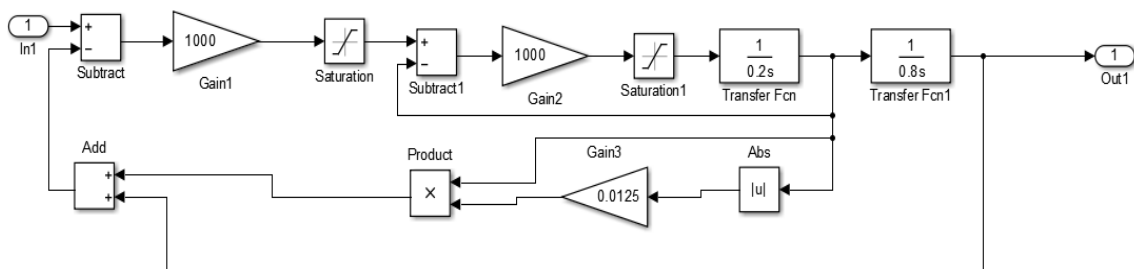


Рисунок 6.12 – Имитационная модель задатчика интенсивности с линейной выходной характеристикой

На рисунке 6.13 представлены математически рассчитанная и аппроксимированная ломаными линиями кривая зависимости $U_1/f_1^2 = \text{const}$.

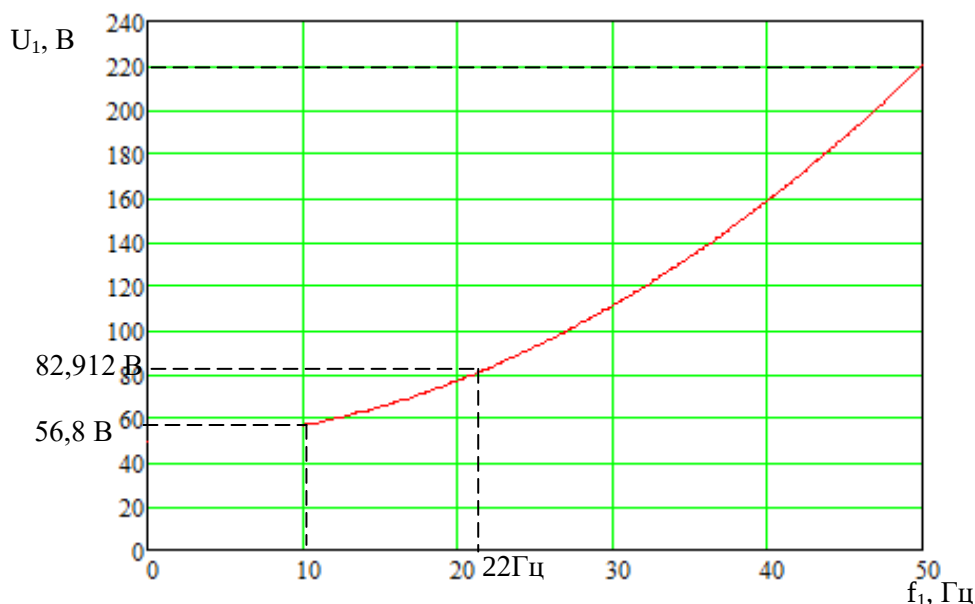


Рисунок 6.13 - Кривая зависимости $U_1(f_1)$

Кривая задается в блоке ПЧН тремя точками и представлена в таблице 6.1.

$$U_{1j}(f_{1j}) = U_{\text{п}} + (U_1 - U_{\text{п}}) \cdot \left(\frac{f_{1j}}{f_1}\right)^2,$$

$$U_{11}(f_{11}) = 50 + (220 - 50) \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^2 = 220 \text{ В},$$

$$U_{12}(f_{12}) = 50 + (220 - 50) \cdot \left(\frac{22}{50}\right)^2 = 82,912 \text{ В},$$

$$U_{13}(f_{13}) = 50 + (220 - 50) \cdot \left(\frac{10}{50}\right)^2 = 56,8 \text{ В},$$

Таблица 6.1 – Параметры вольт-частотной характеристики преобразователя

f_1 , Гц	10	22	50
U_1 , В	56,8	82,912	220

Имитацию квантования по времени фазных напряжений на выходе автономного инвертора напряжения преобразователя частоты (рис. 6.10),

происходящее в процессе его широко-импульсной модуляции (ШИМ) производится с помощью стандартных блоков библиотеки *Simulink:PulseGenerator* и *EnabledSubsystem* [15].

Период квантования по времени напряжения инвертора ПЧ принимаем равным величине постоянной времени запаздывания при ШИМ

$$T_3 = \frac{1}{f_{in}} = \frac{1}{10000} = 0,0001 \text{ с},$$

где $f_{in} = 10000$ - несущая частота инвертора.

6.2 Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением

Сравним три способа пуска погружного электродвигателя и выявим какой способ наиболее благоприятен для УЭЦН

Сравнивать будем:

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

6.2.1. Прямой пуск электропривода без преобразователя частоты.

Промоделируем прямой пуск электродвигателя и покажем полученные переходные режимы.

Моделирование в программной среде Matlab Simulink пуска без преобразователя частоты представлено на рисунке 6.14

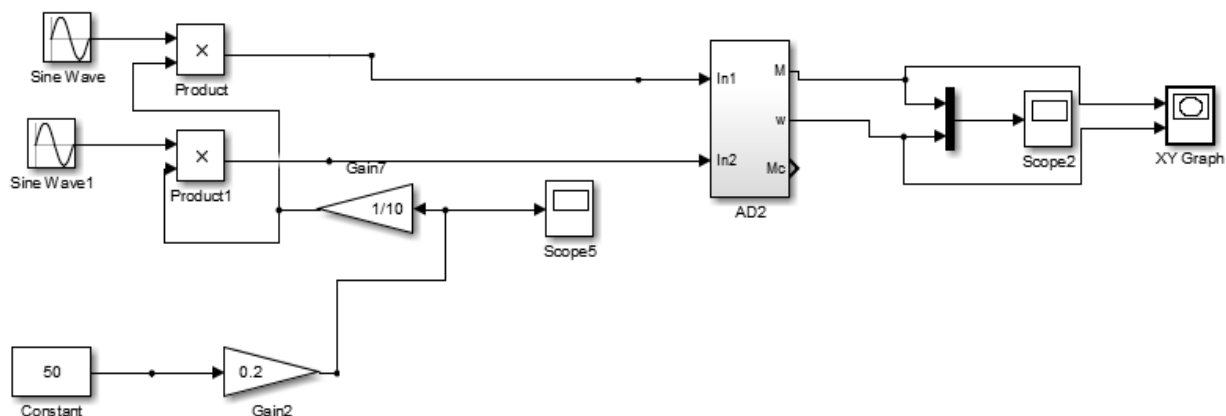


Рисунок 6.14 – Имитационная модель прямого пуска ЭЦН без преобразователя частоты

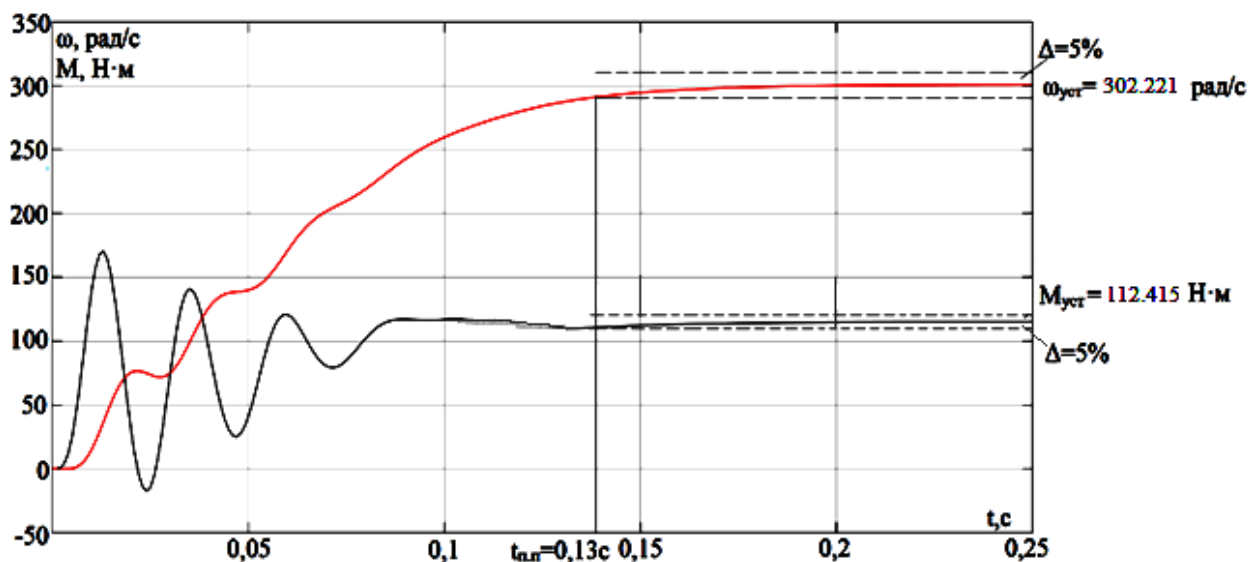


Рисунок 6.15– График переходных режимов $\omega(t)$, $M(t)$ в статике.

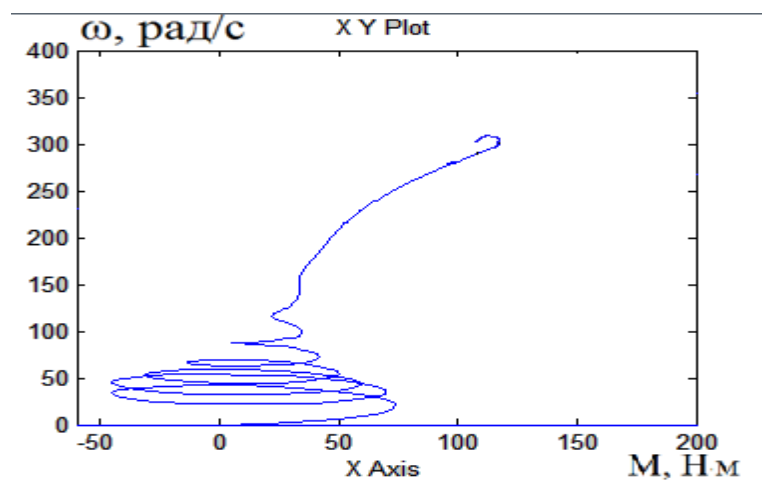


Рисунок 6.16 – График переходных режимов $\omega(M)$ в динамике.

6.2.2. Прямой частотный пуск электропривода с преобразователем частоты, но без задатчика интенсивности

Промоделируем прямой пуск электродвигателя с преобразователем частоты, но без задатчика интенсивности и покажем полученные переходные режимы.

Моделирование в программной среде Matlab Simulink пуска с преобразователем частоты, но без задатчика интенсивности представлено на рисунке 6.17

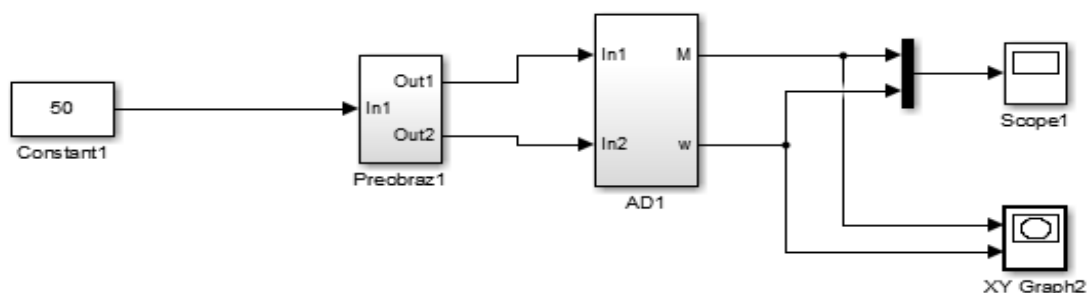


Рисунок 6.17 – Имитационная модель прямого пуска ЭЦН с преобразователем частоты

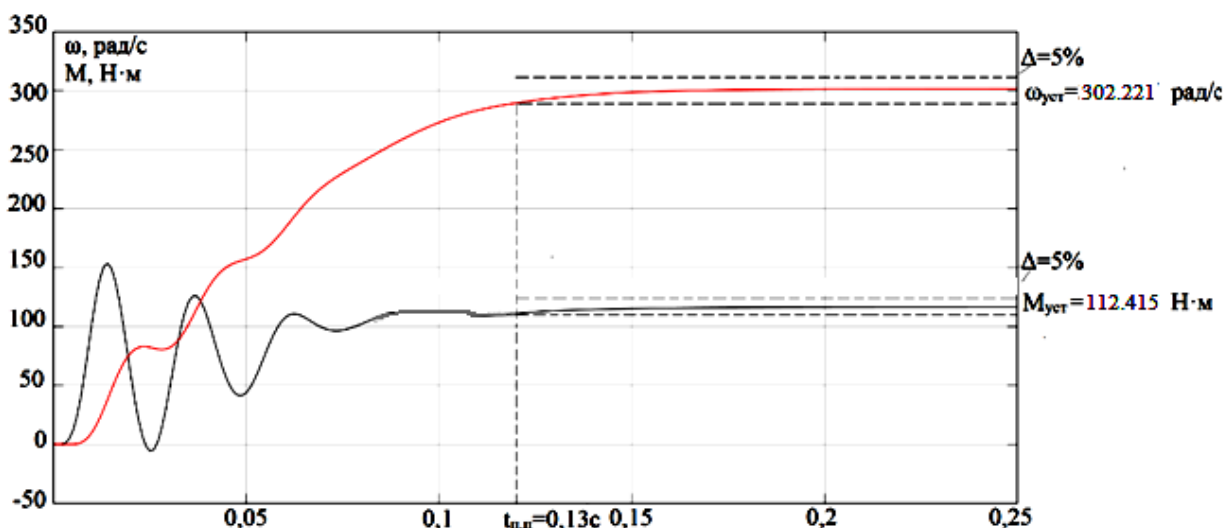


Рисунок 6.18– График переходных режимов $\omega(t)$, $M(t)$ в статике.

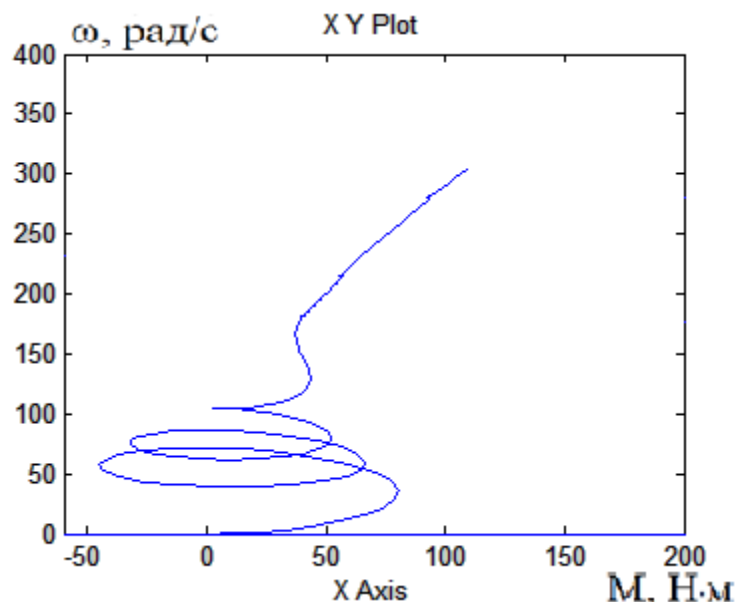


Рисунок 6.19 – График переходных режимов $\omega(M)$ в динамике.

6.2.3. Прямой частотный пуск электропривода с преобразователем частоты и задатчиком интенсивности.

Промоделируем прямой пуск электродвигателя и покажем полученные переходные режимы.

Моделирование в программной среде Matlab Simulink пуска с преобразователем частоты и задатчиком интенсивности представлено на рисунке 6.20

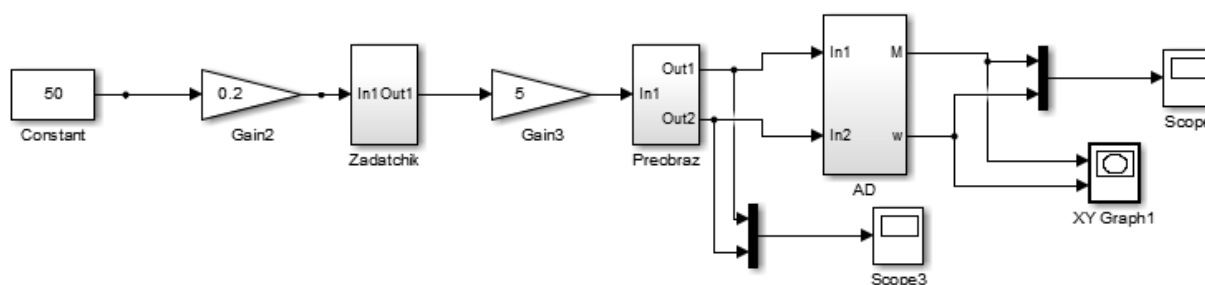


Рисунок 6.20 – Имитационная модель прямого пуска ЭЦН с преобразователем частоты и задатчиком интенсивности

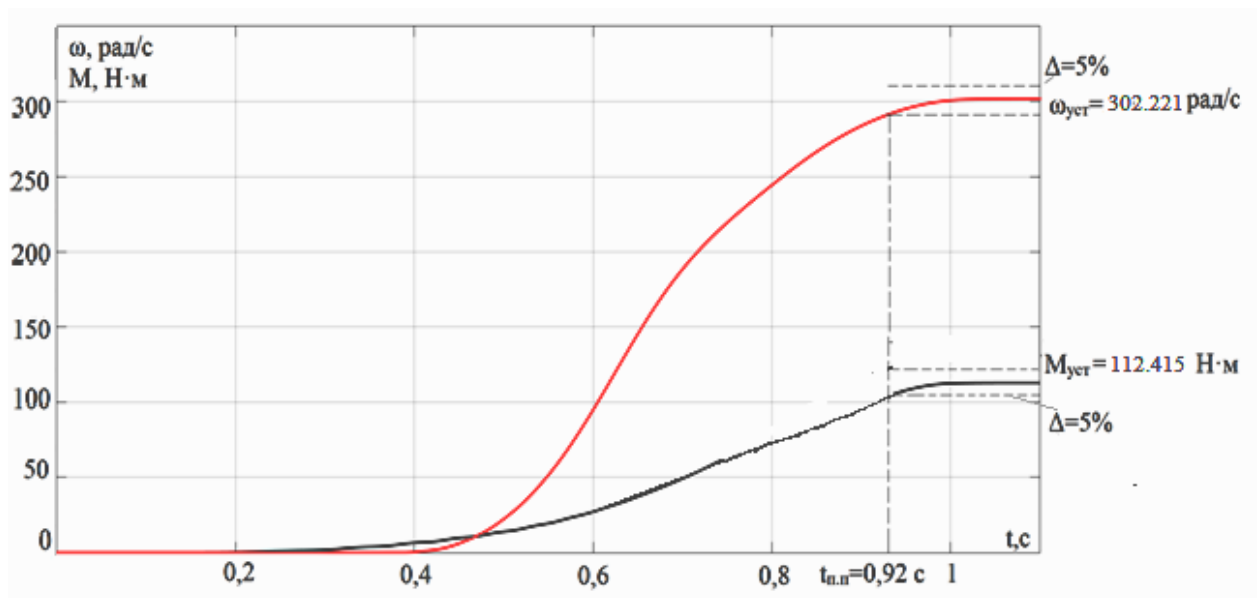


Рисунок 6.21– График переходных режимов $\omega(t)$, $M(t)$ в статике.

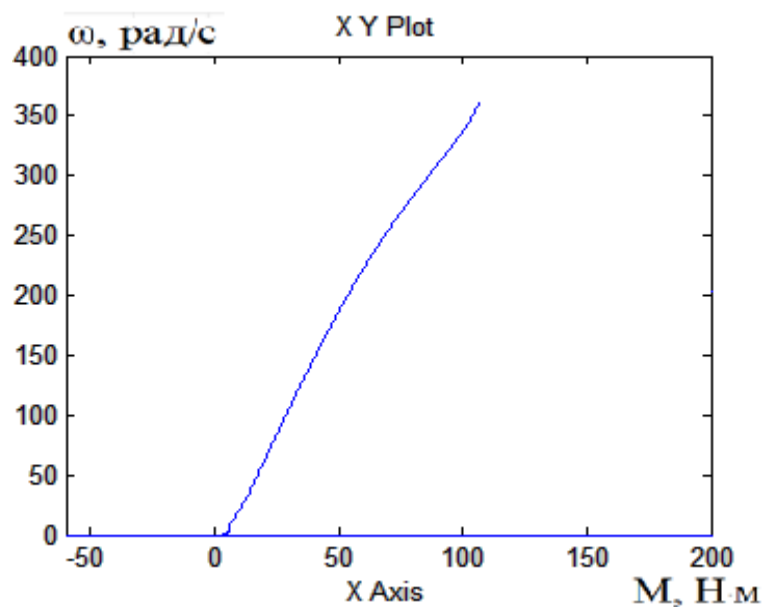


Рисунок 6.22 – График переходных режимов $\omega(M)$ в динамике.

Вывод: Моделируя различные способы запуска электропривода, выявлено, что запуск с использованием преобразователя частоты и задатчика интенсивности является наиболее подходящим способом. При запуске без использования задатчика, появляются различные скачки по току и моменту, что возможно приведет к выходу оборудования из строя.

6.2.4. Имитационное исследование электропривода насоса для различных заданий частоты.

Имитационные исследования электропривода насоса проводятся с целью проверки его работоспособности в следующих основных технологических режимах: пуск на любую рабочую скорость насоса; переход с одной рабочей скорости насоса на другую и останов насоса в режиме электрического торможения.

В электроприводе «Электрон-05» предусмотрены 4 стандартных режима разгона. Наибольшее внимание уделим режиму разгона «с синхронизацией». В этом режиме увеличение частоты на выходе ПЧ происходит с заданным темпом до заданного значения, поддерживается в течение заданного времени, затем увеличение частоты продолжается с прежним темпом до конечного значения.

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.

К электроприводу насоса не предъявляется жестких требований к динамическим показателям. Поэтому при выборе параметров настройки задатчика интенсивности скорости прежде всего следует исходить из условия обеспечения мягкого пуска электропривода. В ходе имитационных экспериментов установлено, что для обеспечения мягкого пуска насоса достаточно принять постоянную времени задатчика $T_{зи} = 1 \text{ с}$.

В качестве примера рассмотрена отработка электроприводом насоса следующего цикла:

- 1) пуск на минимальную частоту $f_{и.мин} = 10 \text{ Гц}$;
- 2) работа на минимальной частоте;
- 3) переход на максимальную рабочую скорость насоса ($f_{р.макс} = 50 \text{ Гц}$);
- 4) переход на минимальную частоту $f_{и.мин} = 10 \text{ Гц}$;
- 5) работа на минимальной частоте;
- 6) останов электропривода.

На рисунке 6.23 приведены 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 принятого цикла работы.

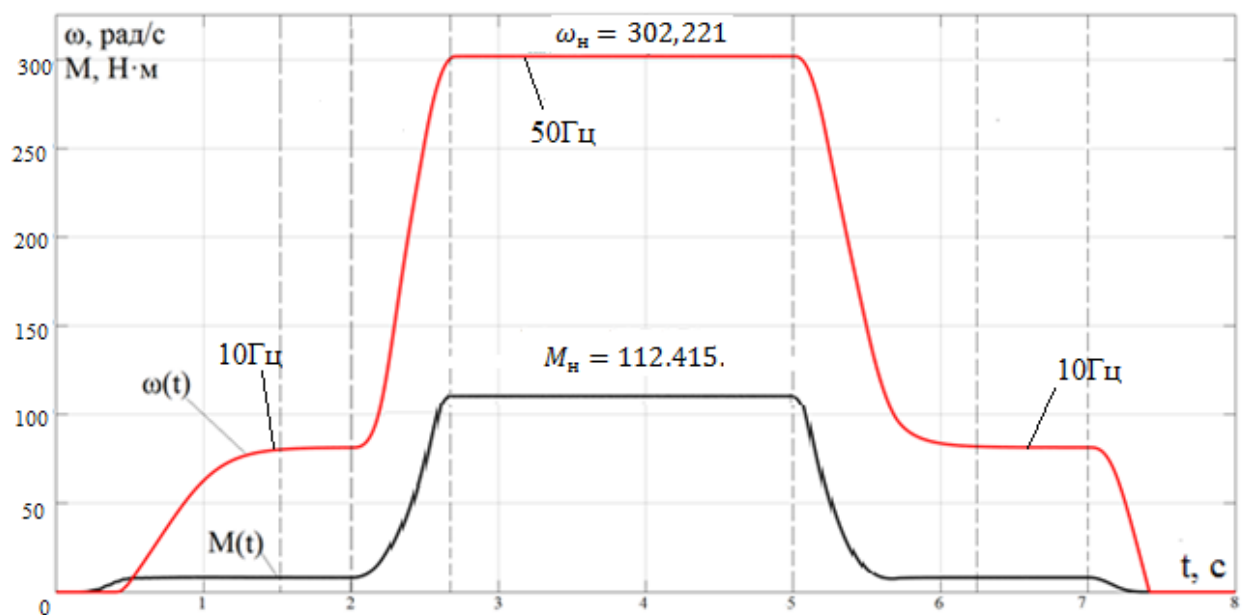


Рисунок 6.23 – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом насоса заданного цикла при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.6.1): графики переходных процессов

$M(t)$ -момента, $\omega(t)$ - скорости электропривода

Вывод: Результаты имитационных исследований показывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод насоса под насосной нагрузкой при скалярном управлении с законом управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и корректировкой вольт-частотной характеристики обеспечивает пуск электропривода с начальной частоты $f_{\text{и. мин}} = 10 \text{ Гц}$ и требуемый диапазон регулирования скорости насоса. Переходные процессы в электроприводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени задатчика скорости.

7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В экономической части выпускной квалификационной работы освещены вопросы технико-экономического обоснования применения электропривода погружного насоса.

Для достижения цели в данном разделе рассмотрены следующие задачи:

- составление SWOT-анализа работы площадки сбора нефти Андиганского месторождения;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

7.1 SWOT-анализ технического проекта электропривода центробежного насоса

SWOT – представляет собой комплексный анализ проекта. В данном анализе определяются слабые и сильные стороны проекта, и выявление возможности и угроз для реализации технического проекта, которые могут появиться в его внешней среде.[19]

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT–анализ. Он проводится в несколько 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 (табл. 1).

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы;

Таблица 7.1 – Составление предварительной матрицы SWOT

Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
С1: Высокая надежность продукции С2: Квалифицированный персонал С3: Новая технология применения С4: Качественные материалы С5: Качество обработки	Сл1: Продукция не испытана в работе Сл2: Консерватизм потребителей Сл3: Организация систем продаж Сл4: Аварийные ситуации Сл5: Дорогое оборудование

Окончание таблицы 7.1

Возможности	Угрозы
В1: Новый вид применения В2: Уменьшение себестоимости путем внедрения новых технологий В3: Рост рынка В4: Региональные продажи В5: Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы	У1: Конкурентная активность У2: Экономическая угроза У3: Внешняя угроза (налоги, контроль) У4: Отсутствие спроса на новые технологии У5: Сбой в работе с поставщиками

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. 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). Результаты второго этапа SWOT анализа представлены в табл. 7.2-7.3.

Таблица 7.2 – Интерактивная матрица возможностей

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

Таблица 7.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
У1	+	-	+	-	-
У2	-	-	-	+	-
У3	-	-	-	+	-
У4	-	-	+	+	-
У5	-	-	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
У1	-	+	+	-	-
У2	-	+	+	-	+
У3	-	-	-	-	-
У4	-	+	+	-	-
У5	-	-	-	-	+

По результатам таблиц 7.2 и 7.3 составляем итоговую матрицу SWOT-анализа.

Таблица 7.4 – Итоговая матрица.

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	С1: Высокая надежность продукции С2: Квалифицированный персонал С3: Новая технология применения С4: Качественные материалы С5: Качество обработки	Сл1: Продукция не испытана в работе Сл2: Консерватизм потребителей Сл3: Организация систем продаж Сл4: Аварийные ситуации Сл5: Дорогое оборудование
Возможности В1: Новый вид применения В2: Уменьшение себестоимости путем внедрения новых технологий В3: Рост рынка В4: Региональные продажи В5: Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы	В1С1С2 С3С4С5; В2С1С3С5; В3С1; В4С1; В5С4;	В1Сл1Сл3; В3Сл3Сл4; В4Сл3; Сл4;

Окончание таблицы 7.4.

Угрозы		
У1: Конкурентная активность У2: Экономическая угроза У3: Внешняя угроза (налоги, контроль) У4: Отсутствие спроса на новые технологии У5: Сбой в работе с поставщиками	У1С1С3; У2С4; У3С4; У4С3С4;	У1Сл2Сл3; У2Сл2Сл3Сл5; У4Сл2Сл3; У5Сл5;

После проведения SWOT-анализа и на основании его результатов выявлено:

- Угрозы имеют низкие вероятности;
- Сильной стороной проекта является надежность продукции.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что надежность продукции является основой для пребывания на рынках продаж и получить наибольшую отдачу от данного проекта. Высокое качество продукции позволит предприятию быть конкурентно способным как на внутреннем рынке так и в странах дальнего и ближнего зарубежья. Низкие вероятности угроз говорят о надежности проекта.

7.2 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования применения электропривода центробежного насоса.

7.2.1 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 – Ознакомление с производственной документацией – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к проекту, составление задания и плана;

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

№ 3 – Проведение расчетов технологической части – расчет технологической части электропривода центробежного насоса;

№ 4 – Выполнение графиков и схем – выполнение графиков, схем для технологической части;

№ 5 – Электромагнитный расчет двигателя;

№ 6 – Разработка раздела БЖД.

№ 7 – Разработка Экономического раздела – выполнение SWOT – анализа, планирование работ по реализации технического проекта, составление сметы затрат.

№ 8 – Проверка выполненных расчетов – проверка выполненных расчетов технологической части и расчетов двигателя;

№ 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, защита ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 7.5 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Ознакомление с производственной документацией	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Расчеты и проектирование электропривода центробежного насоса для добычи нефти	3	Проведение расчетов технологической части	Дипломник, научный руководитель
	4	Выполнение графиков и схем	Дипломник, научный руководитель
	5	Электромагнитный расчет двигателя	Дипломник, руководитель

Окончание таблицы 7.5

Расчеты и проектирование электропривода центробежного насоса для добычи нефти	6	Разработка раздела БЖД	Дипломник
	7	Разработка Экономического раздела	Дипломник
Расчеты и проектирование электропривода центробежного насоса для добычи нефти	8	Проверка выполненных расчетов	Дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	9	Составление пояснительной записки	Дипломник
	10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	11	Подготовка к защите, защита ВКР	Дипломник, Научный руководитель

В результате определения структуры работ в рамках технического проекта было выявлено пять основных этапов (разработка технического задания, выбор направления технического проектирования, расчеты и проектирование электропривода, оформление отчета по техническому проектированию, сдача выпускной квалификационной работы) и 11 работ.

7.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула[19]:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макс i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

7.2.3 Порядок составления этапов подготовки производства и распределение исполнителей

В таблице 7.6 представлены порядок перечень этапов, временные показатели проведения работ и распределение обязанностей между исполнителями проекта.

Таблица 7.6 –Продолжительность рабочих дней

Название работы	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения	Максимально возможная трудоемкость выполнения	Ожидаемая трудоемкость выполнения
Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	1	1	1
Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	3	7	5
Проведение расчетов технологической части	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	19	21	20
Выполнение графиков и схем	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	17	23	19
Электромагнитный расчет двигателя	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	14	19	16
Разработка раздела БЖД	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	3	6	4
Разработка Экономического раздела	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	14	18	16

Окончание таблицы 7.6.

Проверка выполненных расчетов	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	6	8	7
Составление пояснительной записки	Дипломник	3	12	7
Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель	1	1	1
Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Научный руководитель	1	3	2
	Дипломник	2	4	3

7.2.4. Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.

В результате построения ленточного графика проведения технического проекта в диаграмме Ганта (Рисунок 1), был наглядно и детально представлен перечень этапов, работ и распределение обязанностей между исполнителями проекта. Данный ленточный график достаточно удобен в построении, прост в прочтении и наглядно отражает затраченное время этапы работы.

-Продолжительность выполнения технического проекта заняла 12 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая первой декадой июня.

-Общая продолжительность выполнения расчетов составила 97 рабочих дней.

Из них:

97 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

10 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя;

№	Вид работ	Исполнители	T_{pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	-												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	5	—												
3	Проведение расчетов технологической части	Руководитель	1			-										
		Дипломник	20	—	—	—										
4	Выполнение графиков и схем	Руководитель	1					-								
		Дипломник	19				—	—	—							
5	Электромагнитный расчет двигателя	Руководитель	1								-					
		Дипломник	16						—	—	—					
6	Разработка раздела БЖД	Руководитель	1									-				
		Дипломник	4								—	—				
7	Разработка экономического раздела	Руководитель	1										-			
		Дипломник	16									—	—			
8	Проверка выполненных расчетов	Руководитель	1											-		
		Дипломник	7										—	—		
9	Составление пояснительной записки	Дипломник	7											—	—	
10	Проверка ВКР руководителем	Руководитель	1												-	
11	Сдача и защита ВКР	Руководитель	2													-
		Дипломник	3													—

Рисунок 7.1 - Диаграмма Ганта

7.3. Расчёт затрат на осуществление технического проекта

Целью планирования себестоимости проведения технического проекта является экономически обоснованное определение величины затрат на его выполнение. Исходными данными для расчета затрат является план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- материальные расходы;
- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- накладные расходы.

7.3.1. Расчет материальных затрат технического проекта

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (2)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении технического проекта;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении технического проекта;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов.

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	Лист	150	2,5	375
Ручка	Шт.	1	60	60
USB накопитель	Шт.	1	305	305
Линейка	Шт.	1	85	85
Мульти фора	Шт.	10	2	20
Блокнот	Шт.	1	100	100
Корректор	Шт.	1	55	55
Итого:				1000

7.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается полная заработная плата научного руководителя и студента, которая рассчитывается по формуле:

$$З_{п} = З_{осн} + З_{доп} , \quad (3)$$

где: $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = T_p \cdot З_{дн} , \quad (4)$$

где: $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

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

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}}}{Д_{\text{мес}}}, \quad (5)$$

где: $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$Д_{\text{мес}}$ – количество рабочих дней, раб. дн.

Таблица 7.8 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	Месячный основной оклад работника руб.	Средняя заработная плата работника руб.	Продолжительность работ, выполняемых работником раб. дн.	Основная заработная плата одного работника руб.
Руководитель	33664	43763	1683	10	16830
Бакалавр	12300	15990	615	97	59655
Итого:					76485

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают оплату при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (6)$$

где: $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Таблица 7.9 - Расчет полной заработной платы

Исполнители	коэффициент дополнительной заработной платы. $k_{\text{доп}}$, руб	Основная заработная плата одного работника $З_{\text{осн}}$, руб.	Дополнительная заработная плата $З_{\text{доп}}$, руб.	Полная заработная плата $З_{\text{п}}$, руб.
Руководитель	15%	16830	2525	19300
Бакалавр	12%	59655	7145	66800
Итого:				86100

7.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной разделе 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:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \times З_{полн} \quad (7)$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \times 86,1 = 26 \text{ тыс. руб}$$

7.3.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: амортизация активам, расходы, связанные с рекламой и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат на проектирование.

7.3.5. Формирование сметы затрат технического проекта

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

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Смета затрат технического проекта

Наименование разделы	Сумма, тыс. руб	Структура затрат, %
1. Материальные расходы	1,0	0,7
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей ТП	86,1	64
3. Отчисления во внебюджетные фонды	26	19,2
4. Накладные расходы	21,9	16,1
5. Итого	135,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана общая календарная продолжительность выполнения технического проекта. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 135 тыс.руб, из которых более половины (64 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

7.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [19]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (8)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта проектирования электропривода центробежного насоса рассмотрим следующие критерии :

1. Надежность – к электроприводам центробежного насоса предъявляют высокий класс надежности. Обеспечить этот критерий можно используя высокотехнологичные материалы и поддерживать высокий уровень качества;

2. Безопасность – герметичная конструкция электропривода центробежного насоса, подключение электрооборудования согласно правил электробезопасности и норм;

3. Энергосбережение – оптимальный подбор мощности электродвигателя и использование частотно-регулируемого привода ;

4. Помехоустойчивость – достигается за счет классификации всех электроприемников по степени их помехоустойчивости и выбора точки их подключения с учетом электромагнитной обстановки;

5. Удобство в эксплуатации – управляющее оборудование располагается в удобном месте;

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 7.11.

Таблица 7.11 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Безопасность	0,25	5
3. Энергосбережение	0,20	4
4. Помехоустойчивость	0,15	4
5. Удобство в эксплуатации	0,15	4
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \times 0,25 + 5 \times 0,25 + 4 \times 0,2 + 4 \times 0,15 + 4 \times 0,15 = 4,5$$

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 следующие выводы:

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

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

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

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

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность применения электропривода центробежного.