

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование колебаний насосно-компрессорных труб в составе УЭЦН

УДК 62-83-52:621

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Киушкин Владислав Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭЭ ИШЭ	Исаев Ю. Н.	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ШИП	Рыжкова М. В.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООБ	Немцова О.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютеева П.В.	к.т.н., доцент		

Результаты обучения по направлению

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

	<ul style="list-style-type: none"> – КПД электропривода/передачи: 0,8/0,8 – Плотность нефти: 750 кг/м³ – Скорость вращения вала: 2900 об/мин – Коэффициент запаса: 1,1
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Литературный обзор устройства установки электроцентробежного насоса – Литературный обзор основных причин разрушения насосно-компрессорных труб – Проектирование электропривода установки электроцентробежного насоса – Выполнение одного их этапов математического расчета по исследованию крутильных колебаний насосно-компрессорных труб
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	-

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Концепция стартап проекта	д.э.н., Рыжкова М.В.
Социальная ответственность	Ассистент, Немцова О.А.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: нет

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭЭ ИШЭ	Исаев Ю.Н.	д.ф-м.н.,		28.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Киушкин В.А.		28.02.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Киушкин Владислав Алексеевич

Школа	инженерного предпринимательства	Направление	13.03.02 «Электроэнергетика и Электротехника»
Уровень образования	Бакалавр		

Перечень вопросов, подлежащих разработке:	
Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР (функциональное назначение, основные потребительские качества)	Диагностика угрозы разрушения НКТ и падения оборудования в скважину
Способы защиты интеллектуальной собственности	Патентование
Объем и емкость рынка	Емкость рынка РФ: 15486 скважин
Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт	С каждым годом добыча нефти только растет. Разрабатываются новые методы по добычи нефти, следовательно, нефтедобывающая отрасль развивается.
Себестоимость продукта	Себестоимость единицы продукции 31990
Конкурентные преимущества создаваемого продукта	Низкая стоимость, диагностика в режиме реального времени, отсутствие необходимости обслуживания
Сравнение технико-экономических характеристик продукта с отечественными и мировыми аналогами	Нет необходимости поднимать оборудование из скважины, диагностика в режиме реального времени только у предлагаемой системы
Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта	Нефтедобывающие компании исходя из анализа рынка
Бизнес-модель проекта	Модель по А. Остервальдеру и И. Пинье
Производственный план	В двух вариантах: оптимистичный и реалистичный
План продаж	На основании плана мероприятий по продвижению продукта
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы(например, бизнес-модель)	Модель по А. Остервальдеру и И. Пинье, таблицы расчета бюджета проекта, графики динамики рынка

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.04.2020
---	------------

Задание выдал со-руководитель (по разделу «Концепция стартап-проекта») ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Рыжкова Марина Вячеславовна	д.э.н		28.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Киушкин Владислав Алексеевич		28.04.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Киушкин Владислав Алексеевич

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

Тема ВКР:

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является система мониторинга НКТ и установка электроцентробежного насоса. Область применения: скважинная добыча нефти
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	– Режим работы и отдыха,, заработная плата, надбавки, отпуск работников определяется Трудовым кодексом РФ.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– К вредным и опасным факторам можно отнести: работу с электрическим током, повышенное содержание паров нефти и газа в воздухе, работу в условиях низкой температуры, нервно-психические перегрузки, работы при повышенной шумности, умственное перенапряжение.
3. Экологическая безопасность:	– Наиболее большое негативное воздействие оказывается на гидросферу путем загрязнения грунтовых вод и атмосферу путем выделения нефтяных и газовых паров.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Возможные виды ЧС: пожары, взрывы, разливы нефти, сильные морозы, снежные заносы, отключение

	электроэнергетики, инфекционная заболеваемость. – Наиболее типичные виды ЧС: пожар, разлив нефти.
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.04.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна	–		28.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Киушкин Владислав Алексеевич		28.04.2020

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 бакалавриат
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврской работы

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
--	---------------

Дата Контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.03.2020	Описание актуальности тематики	12
28.03.2020	Описание устройства системы	8
14.04.2020	Проектирование электропривода	25
28.04.2020	Математические исследования колебаний	25
14.05.2020	Концепция стартап проекта	15
28.05.2020	Социальная ответственность	15
05.06.2020	Составление результатов работы	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	ная степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭЭ ИШЭ	Исаев Ю. Н.	д.ф-м.н.		28.02.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютева П. В.	к.т.н., доцент		28.02.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа 103 с., 57 рис., 13 табл., 27 источников.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, установка электроцентробежного насоса, асинхронный двигатель, погружной электродвигатель, насосно-компрессорная труба.

Объектом исследования является электропривод и насосно-компрессорная труба (НКТ) погружной части установки электроцентробежного насоса нефтяной скважины.

Предметом исследования являются характеристики, модели и факторы воздействия функционально важных составных элементов установки электроцентробежного насоса (УЭЦН), нарушение работы которых приведет к снижению периода безотказности и сбою технологического процесса.

Цель работы. Расчет и проектирование электропривода погружного насоса в составе установки электроцентробежного насоса с исследованием крутильных колебаний критически важного элемента в структуре ее погружной части.

Исследование критически важного элемента проведено на математическом расчете крутильных колебаний насосно-компрессорной трубы с формированием результатов, для последующего применения к созданию системы диагностирования состояния трубы в режиме реального времени.

В результате исследования был спроектирован частотно-регулируемый электропривод установки электроприводного центробежного насоса и смоделированы крутильные колебания вала насосно-компрессорной трубы.

Область применения: нефтяные скважины, разрабатываемые для подземной механизированной добычи нефти с оснащением УЭЦН.

Результаты работы в перспективе представляют основу для создания системы диагностирования состояния насосно-компрессорной трубы в составе УЭЦН.

Обозначения и сокращения

АД – асинхронный двигатель.

ГС – газосепаратор.

ГЗ – гидрозащита.

ИЭ – источник энергии.

КЛ – кабельная линия.

КПД – коэффициент полезного действия.

НКТ – насосно-компрессорная труба.

ПЧ – преобразователь частоты.

ПЖ – пластовая жидкость.

ПЭД – погружной электродвигатель.

СУ – система управления.

ТП – трансформаторная подстанция.

ТР – трансформатор.

УЭЦН – установка электроцентробежного насоса.

ЭП – электрический привод.

ЭТК – электротехнологический комплекс.

ЭЦН – электроприводной центробежный насос.

Нормативные ссылки

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 16.12.2019).
2. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
3. МР 2.2.7.2129-06 «Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях»
4. ГОСТ 12.1.003–83 Система стандартов безопасности труда. Шум – общие требования безопасности.
5. ГОСТ Р ИСО 1410-2010 Оценка жизненного цикла продукта.
6. ППБО-85 Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности.
7. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
8. Правила устройства электроустановок. – 6 и 7-е изд. – Новосибирск: Норматика, 2014. –464 с.
9. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
10. МР 2.2.9.2311-07 Методические рекомендации. Состояние здоровья работающих в связи с состоянием производственной среды.
11. ПОТ Р М-004-97 Межотраслевые правила по охране труда при использовании химических веществ.
12. ГОСТ Р ИСО 10075-3-2009 Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки.

Оглавление

Введение.....	16
Раздел 2 Установка электроцентробежного насоса.....	19
2.1 Назначение, устройство, принцип действия УЭЦН.....	19
2.2 Обзор условий работы НКТ и факторов, приводящих к ее разрушению.....	22
Раздел 3 Расчет и выбор силового оборудования системы электропривода УЭЦН.....	26
3.1. Подбор ПЭД	26
3.2. Расчет и выбор типа сечения кабеля для силовой части электропривода.....	27
3.3. Проектирование каналов измерения.....	28
3.4. Подбор наземного оборудования	30
3.4.1. Подбор промышленного трансформатора.....	30
3.4.2. Расчет и выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого привода.....	30
3.5. Выбор способа регулирования электропривода	32
Раздел 4 Статические характеристики ПЭД.....	33
4.1. Определение параметров Т образной схемы замещения погружного электродвигателя	33
4.2. Расчет естественных характеристик ПЭД.....	35
4.3 Расчет искусственных характеристик ПЭД при частотном управлении.....	37
4.4. Расчет статической нагрузки электропривода.....	38
Раздел 5 Динамические характеристики электропривода.....	39
5.1. Моделирование прямого пуска АД от сети.....	39
5.2. Моделирование пуска АД с ПЧ.....	46
Раздел 6 Исследование крутильных колебаний вала насосно- компрессорной трубы в составе УЭЦН.....	54

6.1	Решение прямой задачи.....	55
6.1.1.	Крутильные колебания вала.....	55
6.1.2.	Крутильные колебания вала с диском на одном конце.....	56
6.2.	Решение обратной задачи.....	64
6.3	Техническое устройство (предполагаемое к разработке).....	65
Раздел 7	Концепция стартап проекта.....	67
7.1	Название стартап проекта.....	67
7.2	Описание продукта как результата НИР.....	67
7.3	Интеллектуальная собственность.....	67
7.4	Объем и емкость рынка.....	68
7.5	Анализ современного состояния и перспектив развития отрасли.....	69
7.6	Планируемая стоимость продукта.....	70
7.7	Конкурентные преимущества создаваемого продукта, сравнение технико-экономических характеристик с аналогами.....	72
7.8	Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта.....	76
7.9	Бизнес-модели проекта. Производственный план и план продаж..	77
7.10	Стратегия продвижения продукта на рынок.....	81
Раздел 8	Социальная ответственность.....	83
8.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	83
8.2	Производственная безопасность.....	85
8.2.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	86
8.2.2	Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)..	90
8.3	Экологическая безопасность.....	91
8.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	93
8.4.1	Анализ вероятных ЧС.....	93
8.4.2	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	93
	Выводы по разделу.....	95

Заключение.....	96
Список литературы.....	101

Введение

Одним из самых важных и востребованных источников энергии в мире является нефть. По состоянию на 1 января 2019 года на Россию приходится 6,1% от всех мировых запасов нефти (6 место среди стран мира) и 12,6% добычи нефти (3 место среди стран мира). Можно утверждать, что в ближайшие годы нефть будет занимать главенствующие позиции в экономике РФ, несмотря на произошедшие кризисные ситуации современного периода времени. Это обосновано тем, что нефтегазовая отрасль страны, являясь драйвером развития экономики, формирует 20% ВВП, 40% доходов в бюджет и 60% экспорта. При этом, Российская Федерация является не только лидером стран экспортеров нефти, но и лидером по применению установок электроцентробежного насоса для добычи нефти, что объясняется сложными условиями добычи на нашей территории, к которым наиболее приспособлена именно эта система в составе подземной механической добычи нефти. В 2020 году примерно 85% нефти в РФ добываются с помощью УЭЦН, причем с каждым годом процент добычи нефти таким способом увеличивается. Это определяет актуальность применения УЭЦН и соответственно обосновывает актуальность исследований и разработок, связанных с данной тематикой.

Одной из наиболее частых технологических проблем, возникающих у нефтедобывающих компаний при использовании УЭЦН, является разрушение НКТ с последующим падением оборудования добычи в скважину. При этом основополагающую функцию погружной части несет ПЭД, являющийся приводом электропогружного центробежного насоса механизированной добычи нефти.

Объектом исследования является электропривод и насосно-компрессорная труба погружной части установки электроцентробежного насоса нефтяной скважины.

Предметом исследования являются характеристики, модели и факторы воздействия функционально важных составных элементов УЭЦН, нарушение работы которых приведет к снижению периода безотказности и сбою технологического процесса.

Цель работы расчет и проектирование электропривода погружного насоса в составе установки электроцентробежного насоса с исследованием крутильных колебаний критически важного элемента в структуре ее погружной части.

Исследование критически важного элемента проведено на математическом расчете крутильных колебаний насосно-компрессорной трубы с формированием результатов, в последующем применимых к созданию системы диагностирования состояния НКТ в режиме реального времени.

Для достижения цели поставлены и решены следующие **задачи** выпускной квалификационной работы:

1. Анализ актуальности темы и основной проблематики системы
2. Изучение технической документации и литературы
3. Сбор и анализ исходных данных и типовых характеристик
4. Проектирование и расчет УЭЦН
5. Моделирование работы электропривода УЭЦН в программной среде Matlab Simulink
6. Математический расчет и исследование крутильных колебаний вала
7. Моделирование крутильных колебаний НКТ
8. Формирование результатов исследований

Основные методы исследования – теоретический анализ и обработка данных и используемых источников, методы расчета и выбора оборудования и устройств, методика расчета и проектирования электроприводов, методы расчета и построения характеристик с применением прикладных программ, имитационное моделирование, математические методы изучения объектов и явлений: решение дифференциальных уравнений, описывающих крутильные колебания вала, с последующим нахождением значений, определяющих

состояние вала (НКТ) и моделирование влияния колебаний на НКТ в программной среде COMSOL.

Практическая значимость проводимых исследований при последующей разработке системы диагностики НКТ в режиме реального времени заключается в достижении экономической эффективности через внедрение привинтивных мер по предупреждению отказа и исключения технологических проблем на реальных нефтяных скважинах с подземной механизированной добычей. Возможности получения информации о состоянии НКТ в режиме реального времени позволит не допустить разрушения НКТ, с последующим падением оборудования в скважину и соответствующими затратами. Развернутое исследование и обоснованное предложение представлено в концепции стартап проекта «Система диагностики насосно-компрессорных труб в режиме реального времени».

Раздел 2 Установка электроцентробежного насоса

2.1 Назначение, устройство, принцип действия УЭЦН

УЭЦН – установка электроцентробежного насоса, применяется для скважинной добычи нефти и относится к типу погружных бесштанговых насосных установок, широко применяется в России благодаря хорошей приспособленности к работе в осложненных условиях добычи, имеет большую эффективности относительно других способов, при малых затратах на энергопотребление и обслуживание.

Оборудование установки включает в себя погружную часть, спускаемую в скважину вертикально на колонне НКТ, и наземную часть, соединённой с погружным оборудованием силовым кабелем.

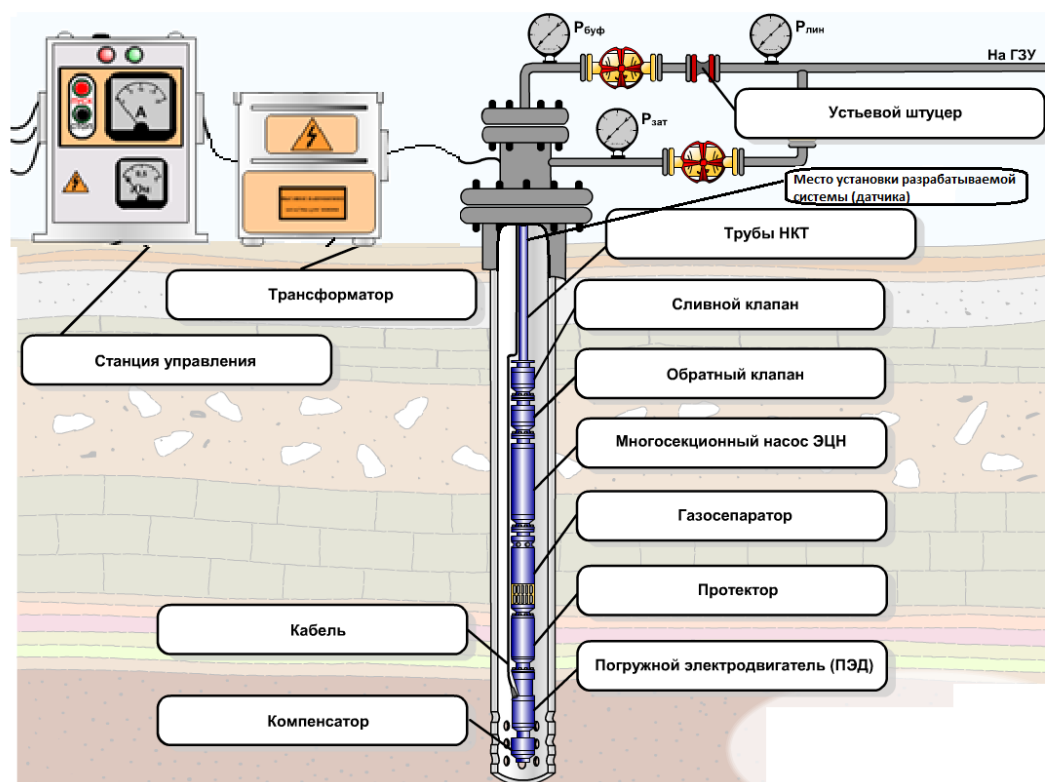


Рисунок 1 – Устройство системы добычи нефти с помощью УЭЦН

К погружному оборудованию УЭЦН относится:

- Компенсатор
- Погружной электродвигатель (ПЭД)
- Кабель
- Протектор (гидрозащита)
- Газосепаратор
- Электроцентробежный насос (ЭЦН)
- Обратный и сливной клапаны
- Насосно-компрессорная труба (НКТ)
- Датчик погружной телеметрии

К наземному оборудованию УЭЦН относится:

- Трансформатор
- Станция системы управления
- Фонтанная арматура

Погружной электродвигатель приводит в движение вал электроцентробежного насоса. Передача энергии потоку жидкости с вала центробежного насоса, вращаемого приводным электродвигателем, осуществляется рабочим колесом с лопастями. Жидкость, поступающая в межлопастные каналы вращающегося вокруг оси рабочего колеса под влиянием центробежных сил, перемещается к периферии колеса и выбрасывается в направляющий аппарат (диффузор). Направляющий аппарат служит для направления потока жидкости в приемную часть рабочего колеса, отвода и подачи жидкости в следующую ступень, после чего цикл повторяется. Рабочее колесо и направляющий аппарат образуют рабочую ступень центробежного насоса.

Питание ПЭД осуществляется специальным плоским стойким трехжильным кабелем. Использование плоского кабеля позволяет несколько увеличить диаметр ЭЦН и ПЭД. Протектор, или по-другому гидрозащита, используется для защиты от попадания пластовой жидкости в полость

электродвигателя и компенсации температурного расширения масла в ПЭД путем сбрасывания излишков. Газосепаратор отделяет газовую фазу из добываемой пластовой жидкости. Обратный клапан предназначен для удержания столба жидкости при остановке УЭЦН для исключения турбинного вращения ЭЦН и ПЭД и облегчения последующего пуска. Сливной клапан обеспечивает слив жидкости в затрубное пространство для исключения разлива жидкости на поверхность при подъеме оборудования. НКТ является связующим звеном между основным добывающим оборудованием и поверхностью.

Станция управления, относящаяся к наземному оборудованию, обеспечивает электропитание УЭЦН и управление ее работой, пуском и остановом. Также, СУ принимает и передает информацию в систему телеметрии. Трансформатор двухобмоточный промышленный предназначен для повышения напряжения от низковольтной СУ до повышенного напряжения, необходимого для стабильной работы ПЭД, питающегося по длинному (порядка нескольких км) кабелю.

На рисунке 2 представлена структурная схема электротехнологической системы УЭЦН.

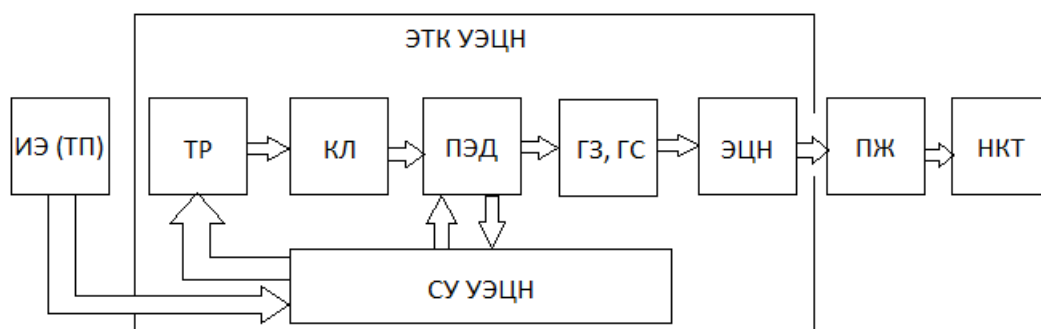


Рисунок 2 – Структурная схема электротехнологической системы УЭЦН

Источником электрической энергии (ИЭ) в данной схеме служит трансформаторная подстанция (ТП) с выходным напряжением 0,4 кВ. Преобразователем электрической энергии является система управления УЭЦН (СУ УЭЦН), питающаяся от подстанции и подающая питание на промышленный

двухобмоточный трансформатор (ТР), также СУ подает сигналы управления на ПЭД и получает информацию от системы телеметрии, установленной в ПЭД. Устройством, преобразовывающим электрическую энергию, поступающую по кабельной линии (КЛ) в механическую энергию, является погружной электродвигатель (ПЭД). Технологическими исполнительными устройствами является гидрозащита, газосепаратор (ГЗ, ГС) и электроцентробежный насос (ЭЦН), а технологическим объектом – пластовая жидкость (ПЖ), поступающая на поверхность по насосно-компрессорной трубе (НКТ).

2.2 Обзор условий работы НКТ и факторов, приводящих к ее разрушению

Основной функцией насосно-компрессорных труб является транспортировка жидкости или газа из скважины. В среднем, длина одной НКТ составляет 15 метров при среднем диаметре 70 мм и толщине стенки 6 мм. Основные материалы производства НКТ– сталь и алюминий. Для обеспечения герметичности и надежности скрепление НКТ производится резьбовым смазанным соединением. Глубина скважины зачастую составляет несколько километров, и учитывая длину погружного оборудования для добычи приблизительно 50 м, можно сделать вывод о количестве используемых НКТ в одной скважине (порядка 97 шт. для скважины 1500 м.).

На выбор марки трубы, размера, химического состава материала НКТ влияют многие факторы, учитывающиеся еще при разработке скважины: глубина погружения, размер скважины, геологические условия места расположения скважины. НКТ применяются в суровых условиях эксплуатации: постоянное высокое давление, большие механические нагрузки, воздействие на стенки агрессивных сред.

Подъем НКТ производится только при выработке всего ресурса или отказе, подъем для осмотра не применяется, так как это влечет за собой

остановку работы скважины, что подразумевает как многие технологические сложности, включая проблемы последующего повторного запуска, так и экономические убытки по причине простоя. При начале эксплуатации скважины оценивают интервал в 120 суток: если отказ произошел менее чем за данный период, то делается вывод или о имеющемся производственном браке НКТ, или о несоответствии марки трубы условиям эксплуатации.

Нормальный срок работы НКТ составляет не менее 365 суток, при этом максимальным фактическим сроком наработки для НКТ является 1200 суток.

Для продления срока службы НКТ их покрывают специальными защитными составами для защиты от химической агрессивной среды, также использование более дорогих алюминиевых труб вместо стальных продляет срок службы. Средства, ограничивающие негативное механическое влияние на НКТ в данный момент не используются.

К факторам, влияющим на слом НКТ относят [1]:

1. Неправильный монтаж труб между собой.



Рисунок 3 – Разрушение резьбы в результате неправильного скручивая труб

2. Неправильная транспортировка и обращение с трубами на месте установки или брак при производстве.



Рисунок 4 – Повреждение трубы в результате механических повреждений

3. Истирание тела трубы в результате слишком большой глубины погружения



Рисунок 5 – Участок трубы с истончившейся стенкой

4. Коррозия в результате воздействия агрессивной среды.



Рисунок 6 – Разрушение НКТ в результате коррозии

5. Несоответствие труб применяемой скважине или усталости материала.



Рисунок 7 – Слом трубы в результате несоответствия ее скважине

6. Постоянные крутильные колебания.

Крутильные колебания вала, происходящие вследствие вращения ПЭД и большой длины НКТ, негативно сказывающиеся на состоянии НКТ, могут быть использованы для определения состояния трубы. Измеряя момент кручения трубы у ее основания на поверхности, возможно, используя математические расчеты, получить показатели, которые смогут дать информацию о наличии мест коррозии, истончения или других дефектов.

Раздел 3 Расчет и выбор силового оборудования системы электропривода УЭЦН

3.1 Подбор ПЭД

Выбор погружного электродвигателя произведем с учетом необходимых значений напора, дебита, плотности нефти и других принятых исходных данных, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные к работе

Подача насоса/дебит нефти	$Q = 130,5 \text{ м}^3/\text{сут} = 0,00151 \text{ м}^3/\text{сек}$
Напор	$H = 2500 \text{ м}$
Диапазон регулирования частоты вращения/тип управления	$D_\omega = 1 - 10$
Параметры питающей сети	380 В/50 Гц
КПД электропривода/ передачи	$\eta = 0,8/0,8$
КПД насоса	$\eta_n = 0,62$
Плотность нефти	750 кг/м ³
Скорость вращения вала двигателя	2900 об/мин
Коэффициент запаса	1,1

Необходимую для насоса мощность определим по формуле (1):

$$P_{расч} = k_z \cdot \frac{g \cdot Q \cdot H \cdot \gamma}{\eta_{нас} \cdot \eta_{п}} = 1,1 \cdot \frac{9,8 \cdot 0,00151 \cdot 2500 \cdot 750 \cdot 10^{-3}}{0,62 \cdot 0,8} = 61534 \text{ Вт} \quad (1)$$

Полученная величина мощности, а также исходные значения для двигателя, послужили данными для выбора погружного двигателя марки Franklin Electric (США) с номинальной мощностью 75 кВт, данные которого представлены в таблицах 2-3 [2].

Таблица 2 – Данные ПЭД

Р _{ном} , кВт	N _{ном} , об/мин	I _{ном} , А	I _{пуск} , А	η _{ном} , %	cos φ _н , о.е.	M _{ном} , Нм	M _{пуск} , Нм
75	2925	146	1157	87	0,87	242	461

Таблица 3 – Данные ПЭД

S _{ном} , о.е	k _i =I _{пуск} / I _{ном}	k _п =M _{пуск} / M _{ном}	k _{min}	k _{max}
0,025	7,979	1,9	1	3,14

Погружной электродвигатель, помимо насоса, нагружает гидрозащита и газосепаратор, но их потребляемая мощность незначительна, и не повлияет на работу двигателя, выбранного по мощности с запасом.

Номинальная частота вращения двигателя:

$$\omega_n = \frac{P_{двном}}{M_n} = 309,917 \text{ рад/с} \quad (2)$$

Синхронная частота вращения двигателя:

$$\omega_{син} = \frac{f \cdot 60}{p \cdot 9,55} = 314 \text{ рад/с} \quad (3)$$

3.2 Расчет и выбор типа сечения кабеля для силовой части электропривода

Выберем силовой кабель основываясь на расчете следующих параметров:

1. Допустимое сечение жилы кабеля:

$$S = \frac{I_H}{i} = \frac{145}{6} = 24,17 \approx 25 \text{ мм}^2, \quad (4)$$

где I_H -номинальный ток ПЭД, i - плотность рабочего тока в медном кабеле для продолжительного режима работы = 6 А/мм^2 .

2. Общая длина кабеля:

$$L_k = L_{\text{скваж}} + 100 = 2500 + 100 = 2600 \text{ м} \quad (5)$$

3. Допустимый ток

$$I_{\text{доп}} \succ I_{\text{длит}} = 147 \text{ А} \quad (6)$$

Выберем медный кабель КПвОппБП-120.

К – кабель, Пв – погружной изоляция из полиэтилена, Опп – блоксополимер пропилен, Б- бронированный, П- плоский, 120 – допустимая температура нагрева в $^{\circ}\text{C}$, 3 – количество жил, 35 – сечение жил [3].

Состав кабеля: медные однопроволочные жилы, двухслойная изоляция из полиэтилена, общая оболочка из блоксополимера пропилен с этиленом, подушка из лент нетканного полотна, броня из стальной оцинкованной ленты.

Допустимый ток – 169 А (при температуре среды 50°C)

Номинальная длина кабеля – 2600 м (может варьироваться);

Масса силового кабеля – 4295 кг;

Номинальное рабочее напряжение – 3300 В.

Расчет потерь линейного напряжения в кабеле произведем по формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot (\cos \varphi \cdot R \cdot l + \sin \varphi \cdot X \cdot l) = 330 \text{ В}, \quad (7)$$

где R – удельное активное сопротивление кабельной линии, Ом/м;
 X – удельное индуктивное сопротивление кабельной линии, Ом/м.

3.3 Проектирование каналов измерения

Для отслеживания температуры ПЭД, температуры и давления пластовой жидкости, уровень вибрации ПЭД по двум осям, сопротивление изоляции ПЭД и погружного кабеля выберем блок погружной телеметрии «Эталон-ТМС».

В состав системы ТМС входят погружной датчик, устанавливаемый на основании ПЭД, и наземный блок контроллера телеметрии. Датчик рассчитан на подключение к серийным ПЭД, причем для подключения погружного блока необходимо, чтобы стартовая обмотка электродвигателя соединялась в «звезду» в нижней части. Контроллер СУ осуществляет защиту погружной установки при отклонении параметров от заданных и производит необходимый технологический режим работы.

Характеристики блока телеметрии приведены в таблице 4 [4].

Таблица 4 - Характеристики блока погружной телеметрии

Рабочее измеряемое давление	0-60,0 Мпа
Рабочая измеряемая температура	0-150°С
Вибрация	0-10 мм/с ²
Точность измерений параметров телеметрии	0,5 %
Дискретность измерений	10-2 Мпа
Аналоговый выход	0 – 5 В, 0 – 20 мА
Связь с ЦПУ	Интерфейс RS-485

Все измеренные параметры архивируются с настраиваемым временем записи в энергонезависимой памяти, а потом могут быть считаны с помощью USB flash-накопителя для просмотра на персональном компьютере с помощью программного обеспечения «Etalon_AV». Для считывания параметров в режиме реального времени служит интерфейс RS-485 с протоколом Modbus RTU, либо аналоговые выходы стандарта 0...10 В. Использование интерфейса дает возможность передавать сигналы из блока телеметрии в частотный преобразователь, благодаря чему возможна установка порогов срабатывания защиты по различным измеряемым параметрам.

Погружной блок монтируется напрямую к нижней части ПЭД или через опору подшипника и адаптер, поставляемых отдельно под конкретный тип погружного электродвигателя. Наземный блок ТМС-Э5 устанавливается внутри

станции управления. Телеметрическая информация с погружного блока передается через силовой кабель питания ПЭД, обрабатывается в наземном блоке и поступает на станцию управления.

3.4 Подбор наземного оборудования

3.4.1 Подбор промышленного трансформатора

Рассчитаем необходимую мощность трансформатора основываясь на мощности электродвигателя. Допустимая мощность ТМПН рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{тмпн}} = N_{\text{ном}} \cdot 1,6 = 120 \text{ кВА}, \quad (8)$$

где $P_{\text{тмпн}}$ - мощность трансформатора, кВа, $N_{\text{ном}}$ - номинальная мощность двигателя, кВт, 1,6 – постоянный коэффициент пересчета.

Выберем трансформатор ТМПН-125/3- УХЛ1 с номинальным напряжением 1540 В и 36 ступенями регулирования [5].

Для подбора необходимого напряжения для разных скважин должна иметься возможность регулирования напряжения как вверх, так и вниз. С учетом потери напряжения в кабеле порядка 330 В и полученным номинальным напряжением с учетом этих потерь 1870 В, в трансформаторе ТМПН-125/3-УХЛ1 сохранится возможность регулирования как вверх, так и вниз, т.к. верхняя граница регулирования – 2500 В.

3.4.2 Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого привода

Преобразователь частоты для ПЭД выберем исходя из указанной мощности на валу двигателя для ПЧ и выходным током самого ПЧ [6]:

$$P_{\text{дляПЧ}} \geq P_{\text{двном}}; I_{\text{выхПЧ}} \approx I_{\text{двном}} \quad (9)$$

Был выбран преобразователь частоты Danfoss vlt automationdrive fc 301 P75K НО, рассчитанный на мощность двигателя 75 кВт и имеющий выходной ток 147 А [7].

Основные схемы и технические характеристики преобразователя представлены в таблице 5 и на рисунках 8-9.

Таблица 5 – Технические характеристик преобразователя частоты

Обозначение типа	P75K
Выходная мощность на валу, кВт	75
Класс защиты корпуса IP20	C4
Класс защиты корпуса IP21	C2
Выходной ток	
Непрерывный ток (380-440 В), А	147
Прерывистый (перегрузка 60с) (380-440 В), А	221
Непрерывный ток (441-500 В), А	130
Прерывистый (перегрузка 60с) (441-500 В), А	195
Непрерывная мощность (400 В), кВА	102

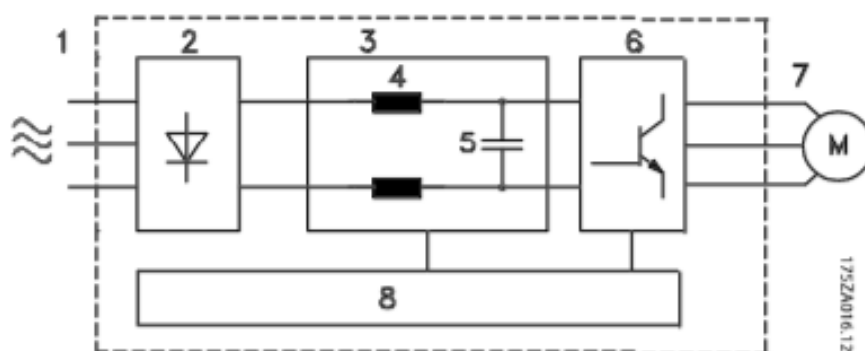


Рисунок 8 – Блок-схема преобразователя частоты

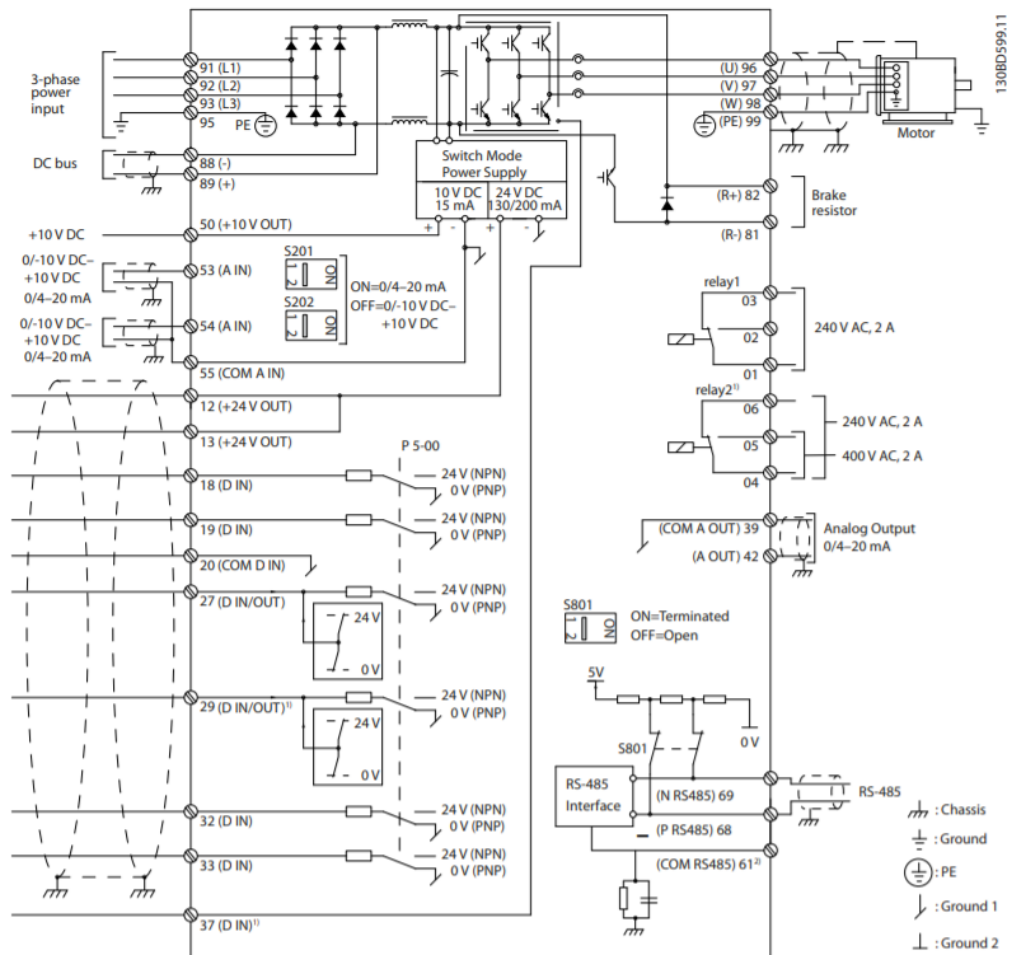


Рисунок 9 – Схема подключения преобразователя частоты

Частотный преобразователь будет устанавливаться в ящике станции управления, предназначенном для укрытия оборудования управления и для более удобного управления параметрами электропривода.

3.5 Выбор способа регулирования электропривода

Для управления работой электропривода УЭЦН, исходя из предъявляемых требований, возможно применить две схемы управления: векторного и скалярного регулирования, осуществляемые соответственно преобразователем частоты.

На основании заданного диапазона регулирования (1-10), а также технических требований к работе электропривода погружного насоса, можно сделать вывод о том, что векторное управление, которому присущи большой

диапазон регулирования, высокая точность, большая стоимость и сложность, в данном случае применять будет нецелесообразно. Исходя из этого, выбран скалярный способ управления.

Так как в данной работе рассматривается электропривод насоса, то выберем закон скалярного управления $\frac{U}{f^2} = const$, который используется для частотного управления при «вентиляторной» нагрузке, работа с которой и осуществляется насосом.

Раздел 4 Статические характеристики ПЭД

4.1 Определение параметров Т образной схемы замещения погружного электродвигателя

Параметры Т образной схемы замещения АД найдем по расчетам, представленным в [8].

Найдем ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p^* \cdot I_{1H} (1 - s_H) / (1 - p^* \cdot s_H))^2}{1 - p^* \cdot I_{1H} (1 - s_H) / (1 - p^* \cdot s_H)}} = 77,53 \text{ А}, \quad (10)$$

где
$$I_{1H} = \frac{P_H \cdot p^*}{m_1 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_H} = 119,788 \text{ А}, \quad \cos \varphi_{p^*} = 0,94 \cdot \cos \varphi_H,$$

$$p^* = P / P_{НОМ} = 0,75.$$

Критическое скольжение:

$$s_k = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} = 0,181, \quad (11)$$

где $\beta = 1,3$.

Определим коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1,034 \text{ о.е.}, \quad (12)$$

$$A_1 = \frac{m1 \cdot 220^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{ном}}} = 0,287 \text{ о.е.} \quad (13)$$

Определим активные сопротивления:

$$R_2 = \frac{A1}{(\beta + \frac{1}{s_k}) \cdot C1} = 0,041 \text{ о.е.} = 0.08 \text{ Ом}, \quad (14)$$

$$R_1 = C1 \cdot R_2 \cdot \beta = 0,041 \text{ о.е.} = 0.06 \text{ Ом} \quad (15)$$

Определим параметр, который позволяет найти индуктивное сопротивление:

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = 5,362 \quad (16)$$

Индуктивные сопротивления:

$$X_{kn} = \gamma \cdot C1 \cdot R_2 = 0,226 \text{ о.е.} = 0.331 \text{ Ом}, \quad (17)$$

$$X_{2\sigma H} = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{C1} = 0,127 \text{ о.е.} = 0.186 \text{ Ом}, \quad (18)$$

$$X_{1\sigma H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,095 \text{ о.е.} = 0.139 \text{ Ом}, \quad (19)$$

$$X_{mH} = \frac{Em}{10} = 2,371 \text{ о.е.} = 3.474 \text{ Ом}, \quad (20)$$

$$L_{1\sigma H} = \frac{X_{1\sigma H}}{314} = 3,021 \cdot 10^{-4} \text{ о.е.} = 4.427 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}, \quad (21)$$

$$L_{2\sigma H} = \frac{X_{2\sigma H}}{314} = 4,037 \cdot 10^{-4} \text{ о.е.} = 5.915 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}, \quad (22)$$

$$L_{m\sigma H} = \frac{X_{m\sigma H}}{314} = 7,55 \cdot 10^{-3} \text{ о.е.} = 0.011 \text{ Гн} \quad (23)$$

4.2 Расчет естественных характеристик ПЭД

На рисунке 10 представлена построенная в среде Mathcad естественная механическая характеристика $\omega = f(M)$ для асинхронного двигателя, рассчитанная по выражению (24) [9].

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R_2'}{w_0 \cdot s \cdot ((X_{кн}^2 + (R_1 + \frac{R_2'}{s})^2) + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s X_{\mu}})^2)} \quad (24)$$

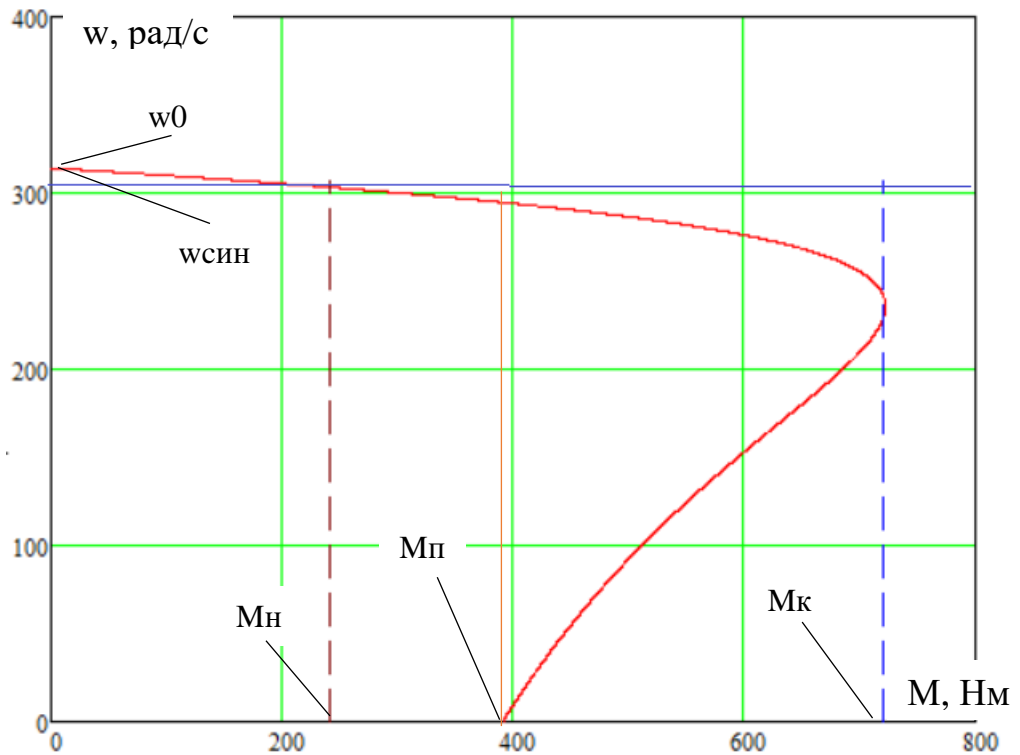


Рисунок 10 – Естественная механическая характеристика АД

На рисунке 11 представлена построенная в среде Mathcad естественная электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$ для асинхронного двигателя, рассчитанная по выражению (25).

$$I_1(s) = \sqrt{(I_0)^2 + (\Gamma_0)^2 + 2(I_0)^2 \Gamma_2 \sin(s)}, \quad (25)$$

$$\text{где } \dot{I}_2(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2}{\omega_0 - \omega})^2 + (X_{1H} + X_{2H})^2}}$$

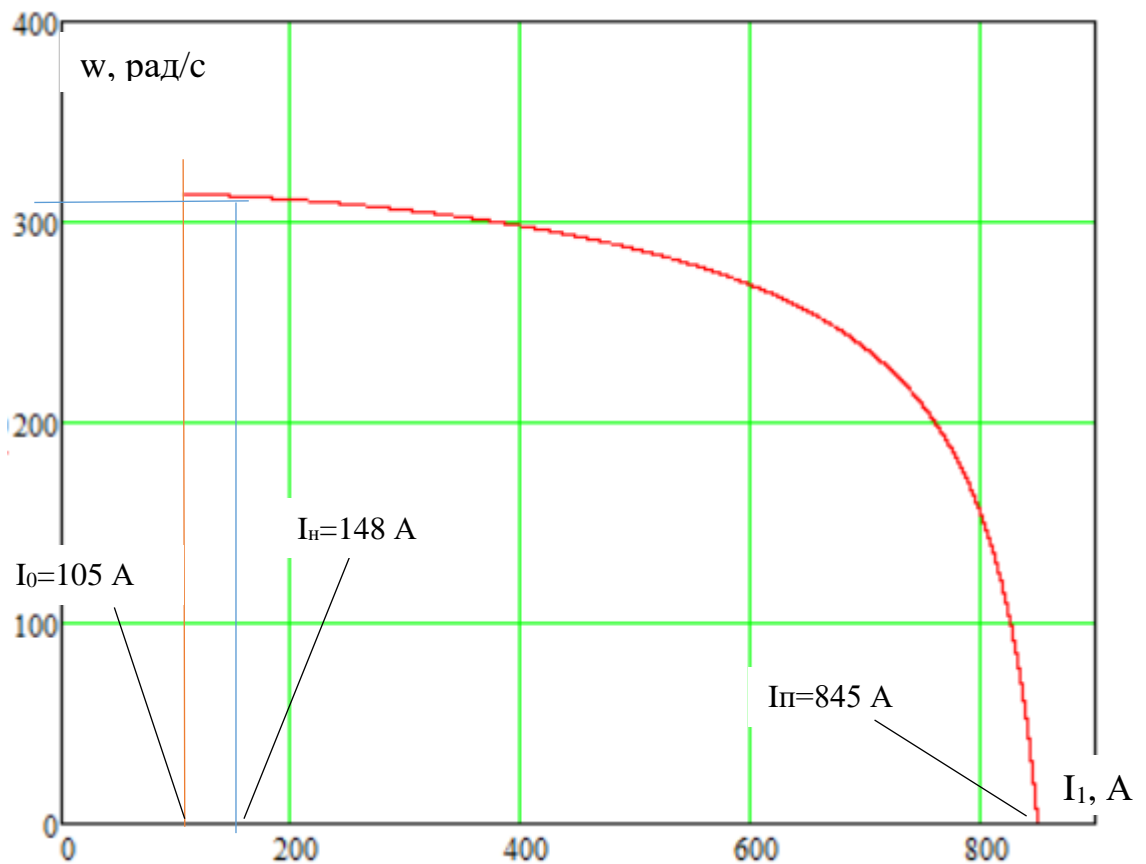


Рисунок 11– Естественная электромеханическая характеристика АД

В результате расчета естественных характеристик двигателя получены следующие параметры:

$$I_{1H} = 148 \text{ A}, I_{\text{пуск}} = 845 \text{ A}, \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1H}} = 5,71, M_{\text{дв.н}} = 240 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\text{дв.пуск}} = 395 \text{ Н} \cdot \text{м}, M_{\text{дв.макс}} = 715 \text{ Н} \cdot \text{м}, \frac{M_{\text{дв.макс}}}{M_{\text{дв.н}}} = 2,98,$$

$$\frac{M_{\text{дв.пуск}}}{M_{\text{дв.н}}} = 1,65.$$

Расчетные и справочные параметры двигателя:

$$I_{1H} = 146 \text{ А}, I_{\text{пуск}} = 1157 \text{ А}, \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1H}} = 7,97, M_{\text{дв.н}} = 242 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\text{дв.пуск}} = 461 \text{ Н} \cdot \text{м}, M_{\text{дв.макс}} = 760 \text{ Н} \cdot \text{м}, \frac{M_{\text{дв.макс}}}{M_{\text{дв.н}}} = 3.14,$$

$$\frac{M_{\text{дв.пуск}}}{M_{\text{дв.н}}} = 1.9.$$

Из сопоставления полученных параметров расчётных характеристик со справочными параметрами двигателя, можно сделать вывод о обеспечении совпадения параметров только на рабочих участках характеристик.

4.3 Расчет искусственных характеристик ПЭД при частотном управлении

Искусственные механические характеристики при законе регулирования $\frac{U}{f^2} = const$ построенные в среде Mathcad для значений частоты 50, 40, 30, 15 Гц представлены на рисунке 12.

Пример расчета значений для частоты $f_2 = 40 \text{ Гц}$: при законе регулирования $\frac{U}{f^2} = const$, $Zp = \frac{U}{f^2} = \frac{220}{50^2} = 0.088$; относительное значение

частоты питающего напряжения $f^* = \frac{f_2}{f_1} = \frac{40}{50} = 0.8$; фазное напряжение обмотки

статора $U_{\phi 2} = Zp \cdot f_2^2 = 141 \text{ В}$; синхронная скорость

$w_{\text{синх}2} = \frac{2\pi f_2}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 40}{1} = 251 \text{ Рад/с}$. Искусственные механические

характеристики построены по выражениям (26), (27) [10].

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot (X^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + (R_1 + \frac{R_2}{s})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X \cdot \mu \cdot f_{1*}(f)})^2)}, \quad (26)$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1-s) \quad (27)$$

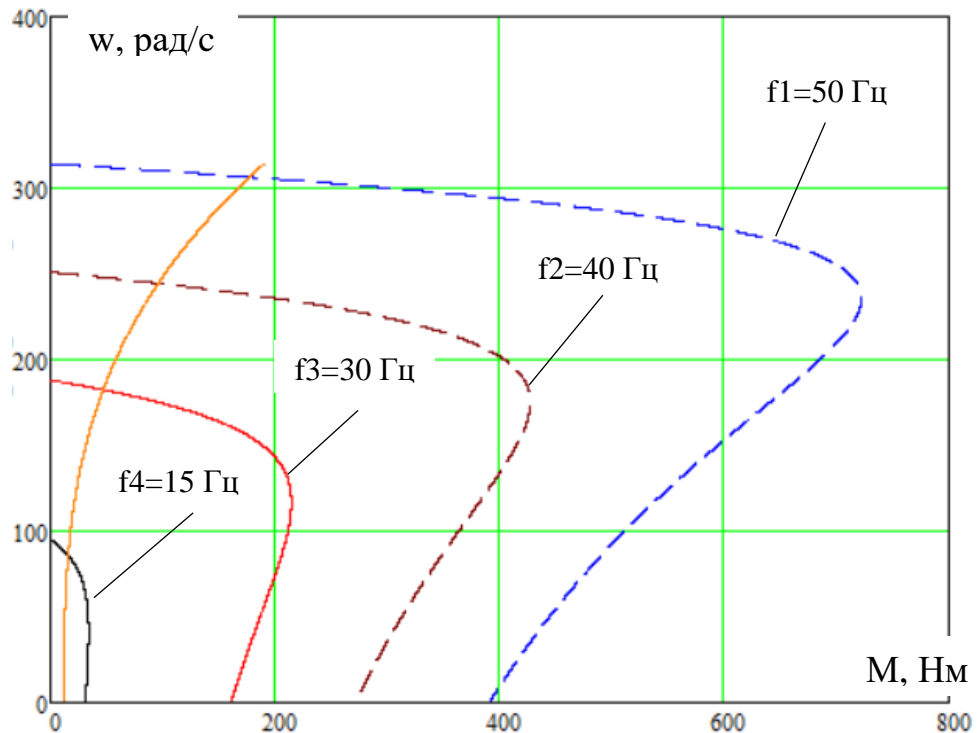


Рисунок 12 – Искусственная электромеханическая характеристика АД при частотном управлении

На основании полученных характеристик можно сказать, что пуск электропривода с начальной частотой $f = 15$ Гц происходит в нормальном режиме без затруднений и перегрузок.

4.4 Расчет статической нагрузки электропривода

Для насосного (вентиляторного) типа нагрузки характерно момент нагрузки изменяется в зависимости от скорости и подчиняется выражению:

$$M_c(\omega) = M_{mp} \cdot \text{sign}(\omega) + k \cdot \omega^3, \quad (28)$$

$$\text{где } k = \frac{M_c - M_{mp}}{w^3}, \quad M_c = 0.75M_H, \quad M_{mp} = 0.05M_H$$

Соответствующая характеристика момента насосной нагрузки на валу электродвигателя построенная в среде Mathcad представлена на рисунке 13.

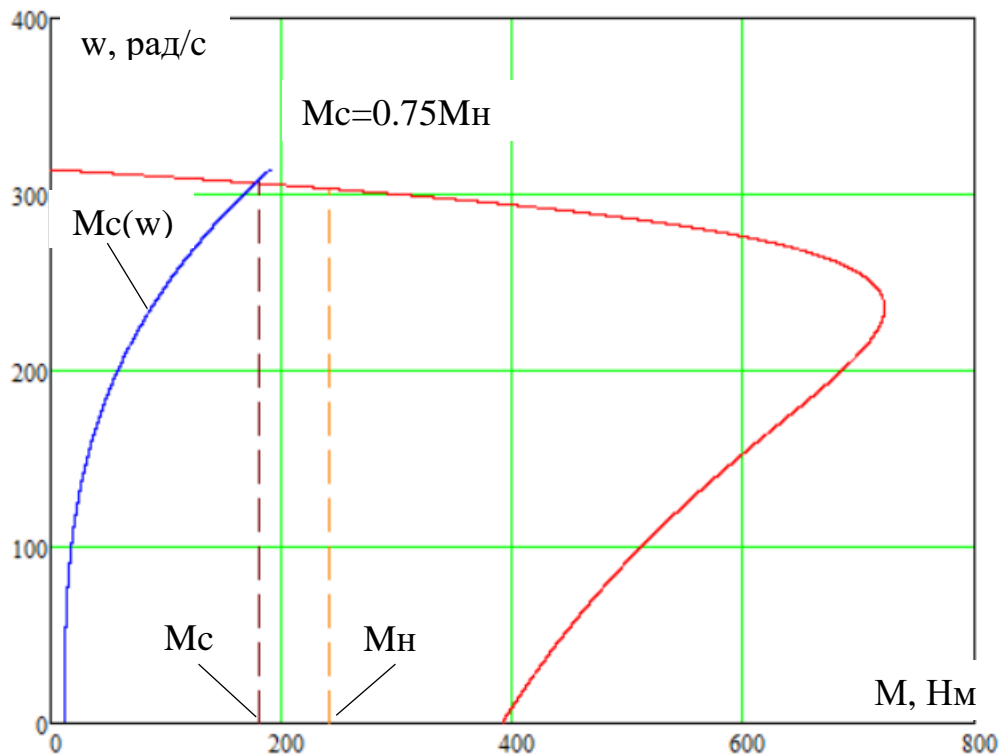


Рисунок 13 – График «насосной» нагрузки и механической характеристика АД

По графикам момента нагрузки и механической характеристики ПЭД видно, что электродвигатель при заданном моменте сопротивления обеспечивает нормальный режим работы и запас перегрузки по моменту.

Раздел 5 Динамические характеристики электропривода

5.1 Моделирование прямого пуска АД от сети

Моделирование асинхронного двигателя осуществлено с помощью программы MATLAB Simulink. Разработанная имитационная модель для запуска АД без нагрузки напрямую от сети представлена на рисунке 14.

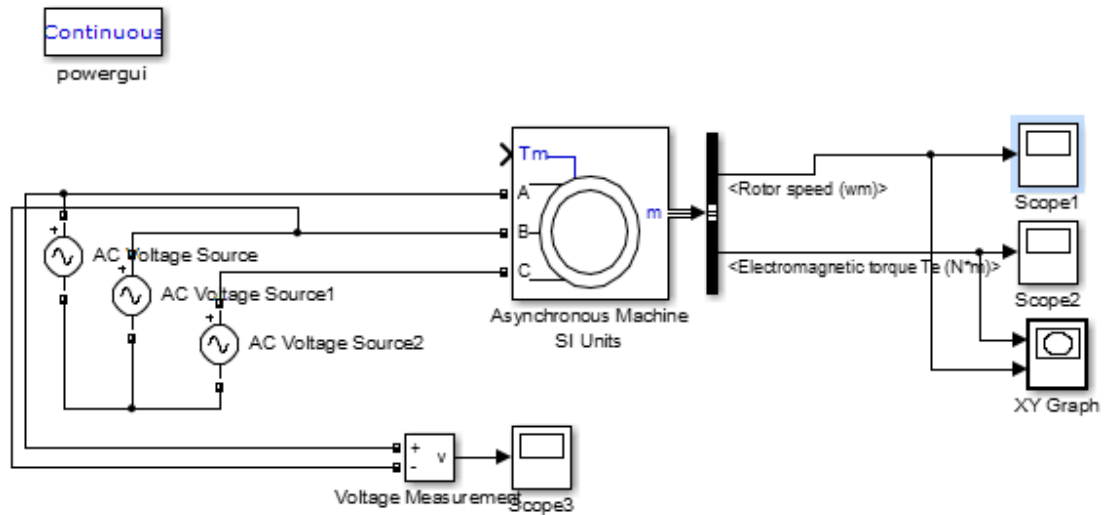


Рисунок 14 – Имитационная модель для прямого пуска АД без нагрузки

На рисунках 15-17 представлены построенные переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая характеристика при прямом пуске АД без нагрузки.

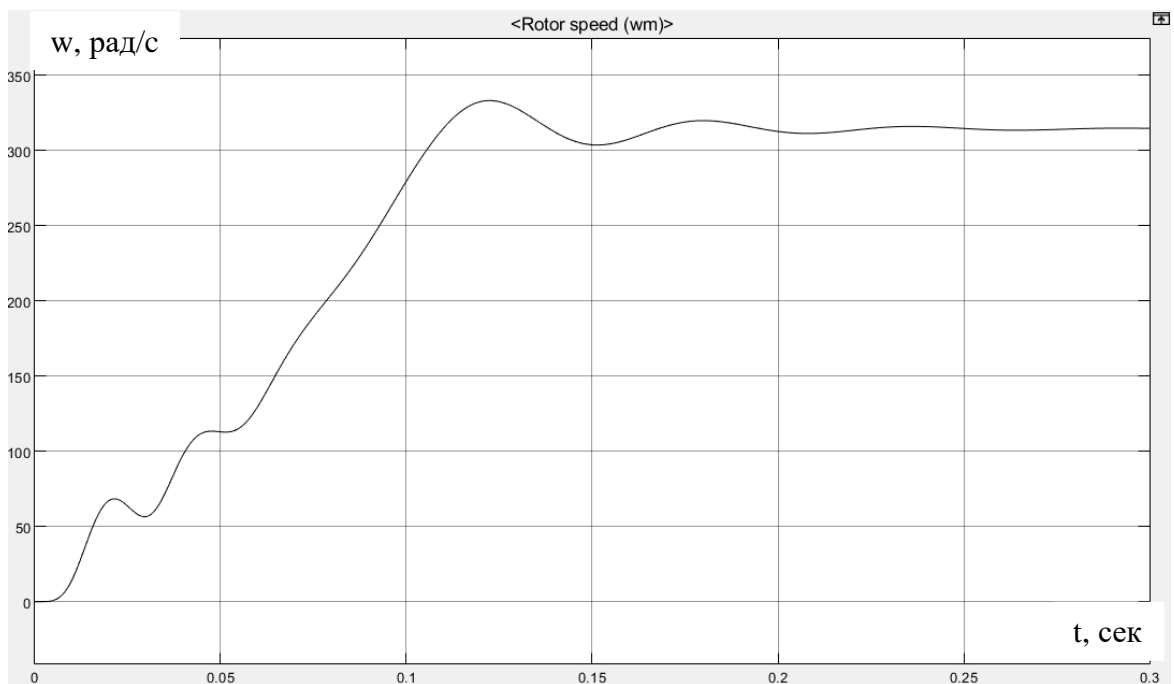


Рисунок 15 – Переходная характеристика скорости ротора АД при прямом пуске без нагрузки

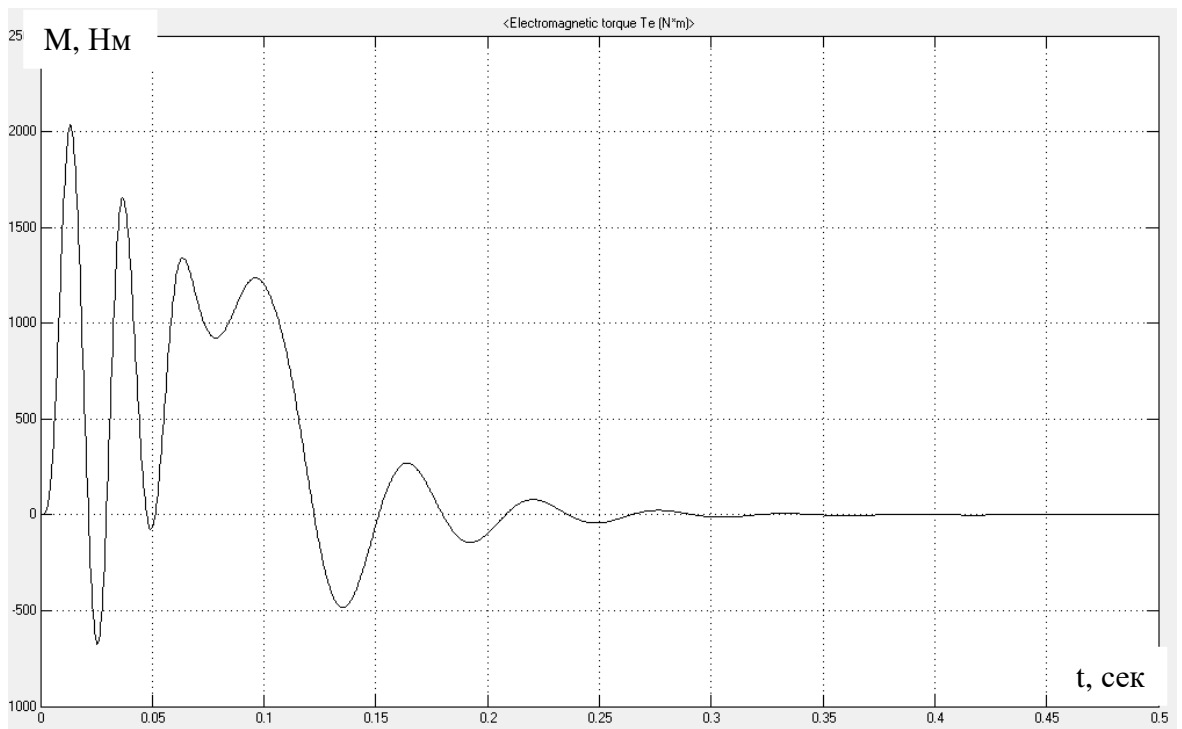


Рисунок 16 – Переходная характеристика электромагнитного момента АД при прямом пуске без нагрузки

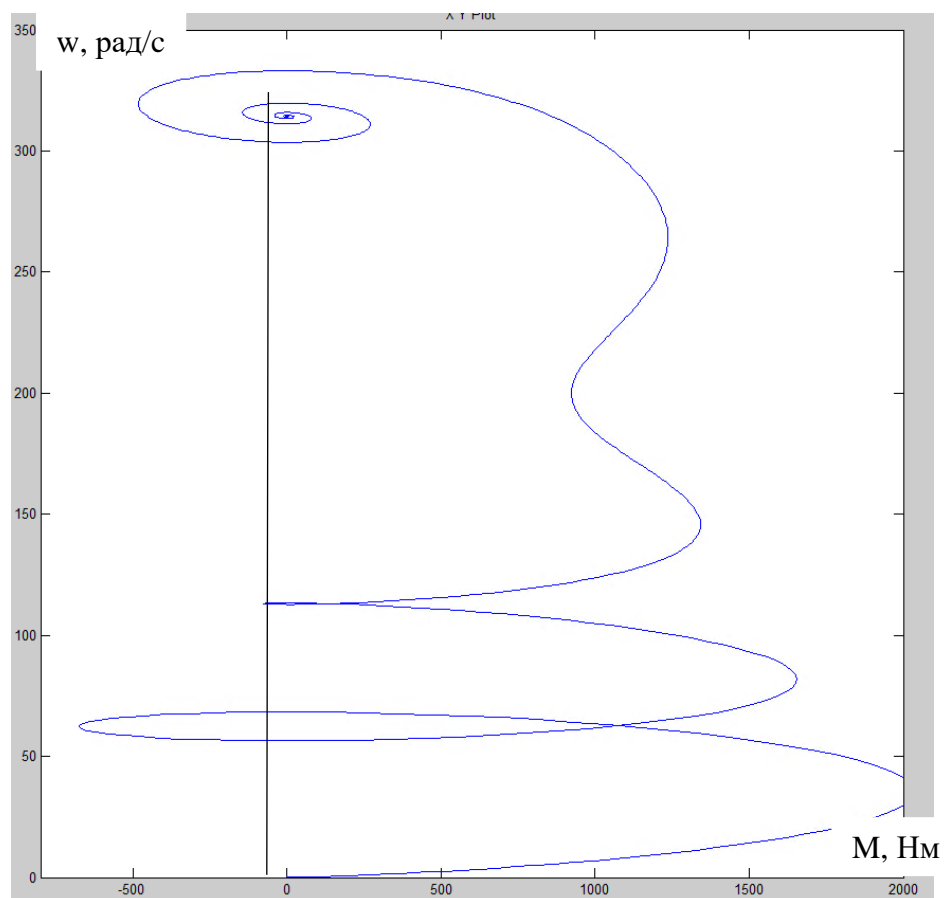


Рисунок 17 – Динамическая механическая характеристика двигателя при прямом пуске без нагрузки

Разработанная имитационная модель для запуска АД напрямую от сети с набросом нагрузки в момент времени 0,3 с. представлена на рисунке 18.

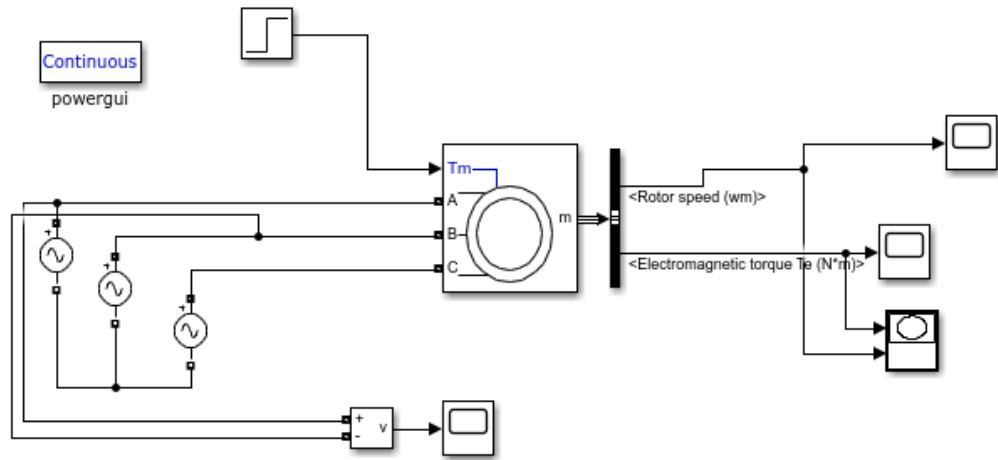


Рисунок 18 – Имитационная модель для прямого пуска АД с набросом нагрузки

На рисунках 19-21 представлены переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая характеристика при прямом пуске АД с набросом нагрузки.

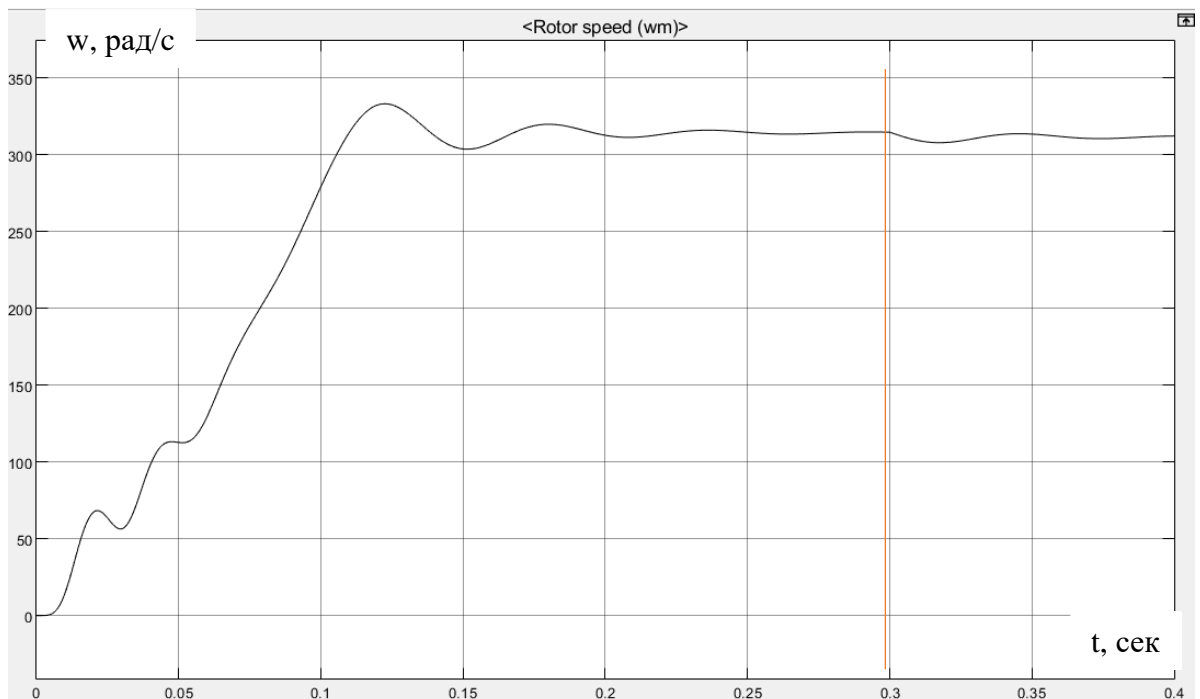


Рисунок 19 – Переходная характеристика скорости ротора АД при прямом пуске с набросом нагрузки

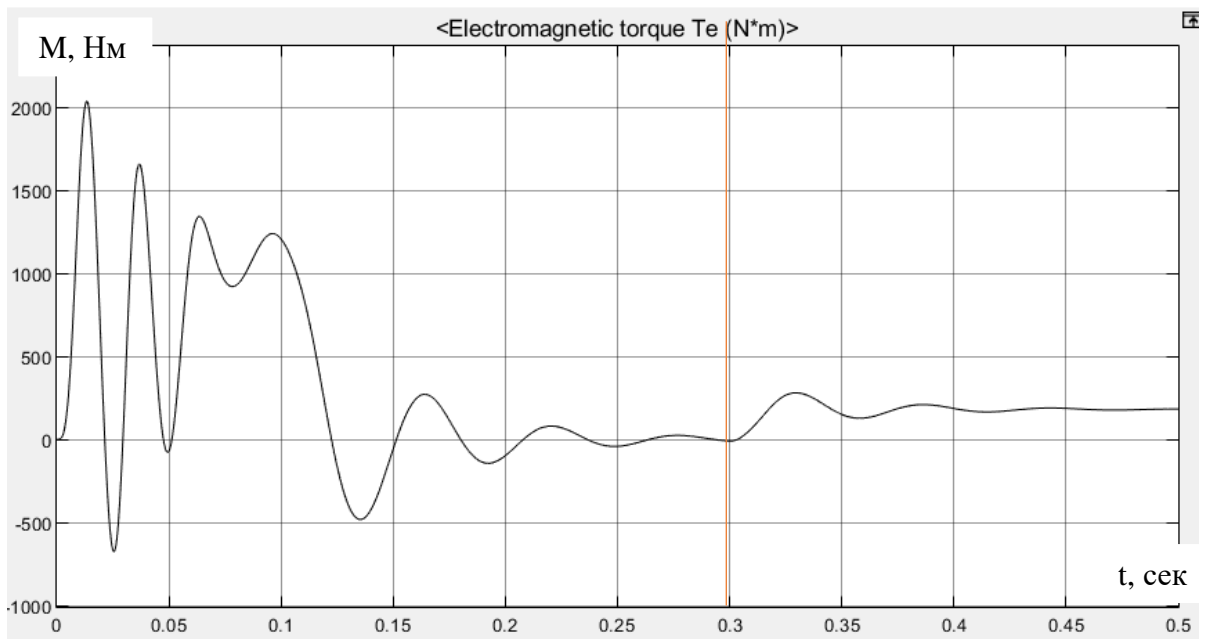


Рисунок 20 – Переходная характеристика электромагнитного момента АД при прямом пуске с набросом нагрузки

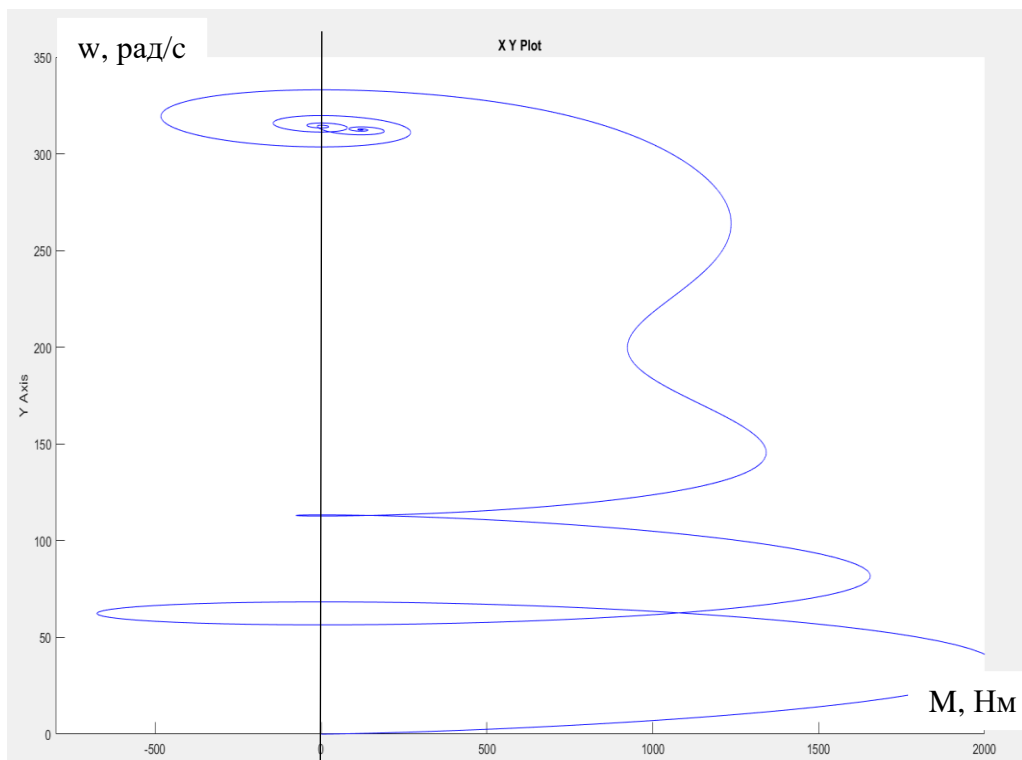


Рисунок 21 – Динамическая механическая характеристика двигателя при прямом пуске с набросом нагрузки

Разработанная имитационная модель для запуска АД напрямую от сети с насосной нагрузкой представлена на рисунке 22.

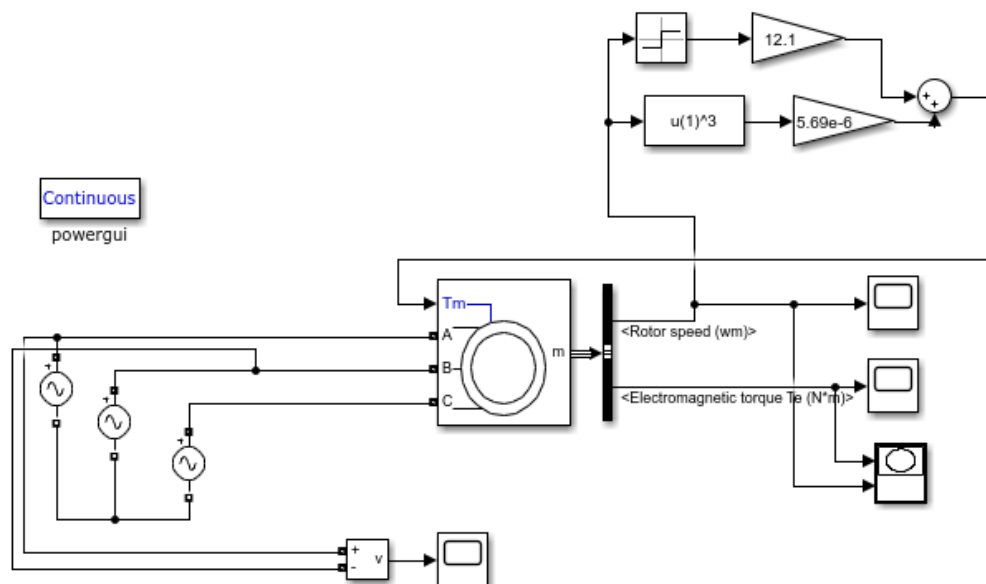


Рисунок 22 – Имитационная модель для прямого пуска АД с насосной нагрузкой

На рисунках 23-25 представлены переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая характеристика при прямом пуске АД при с насосной нагрузкой.

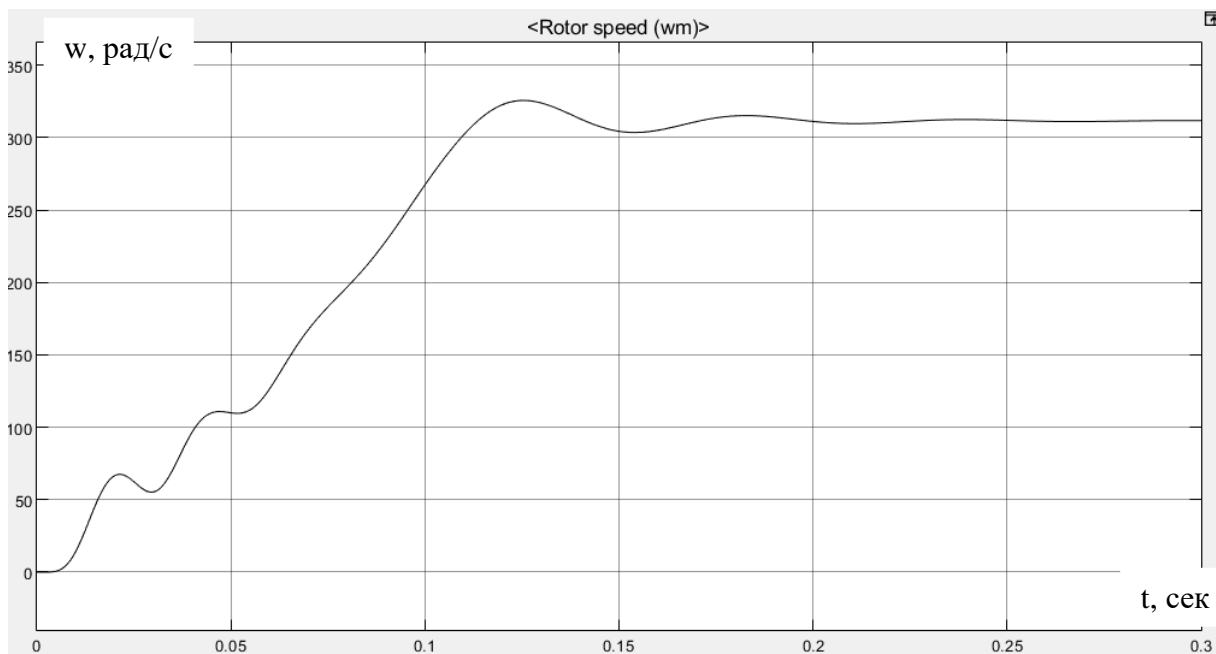


Рисунок 23 – Переходная характеристика скорости ротора АД при прямом пуске с насосной нагрузкой

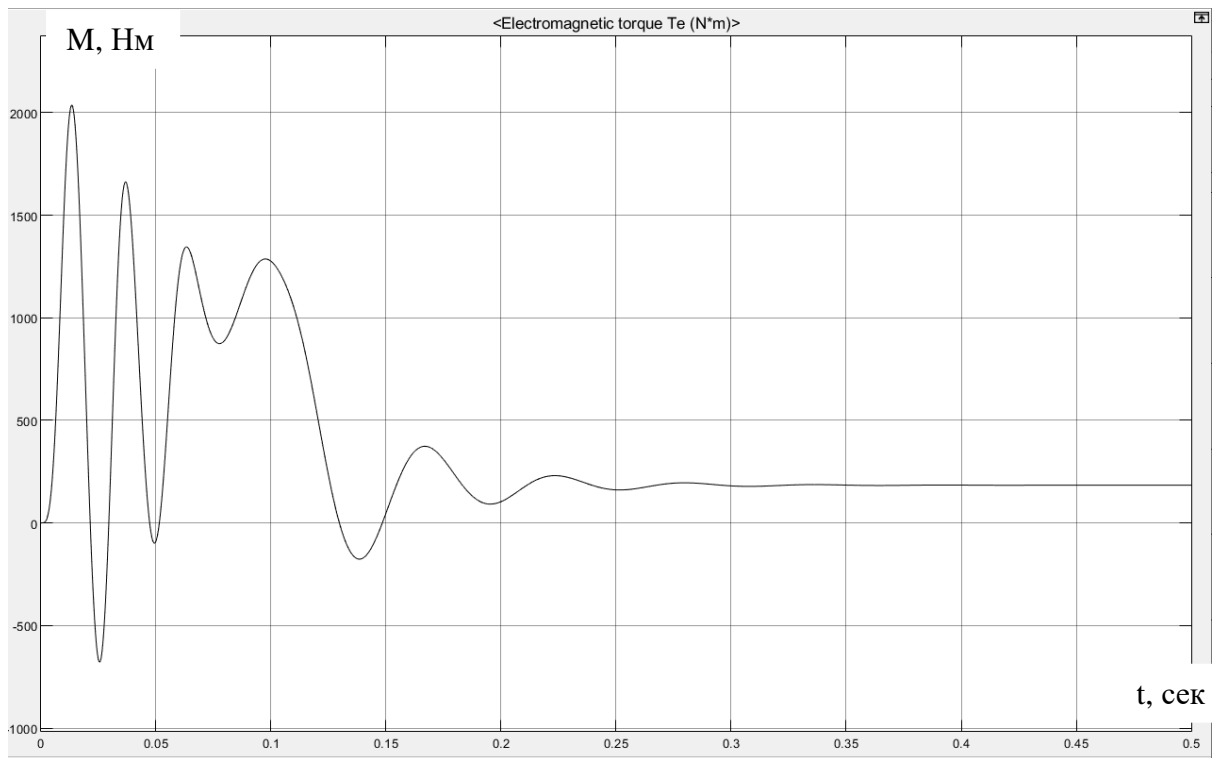


Рисунок 24 – Переходная характеристика электромагнитного момента АД при прямом пуске с насосной нагрузкой

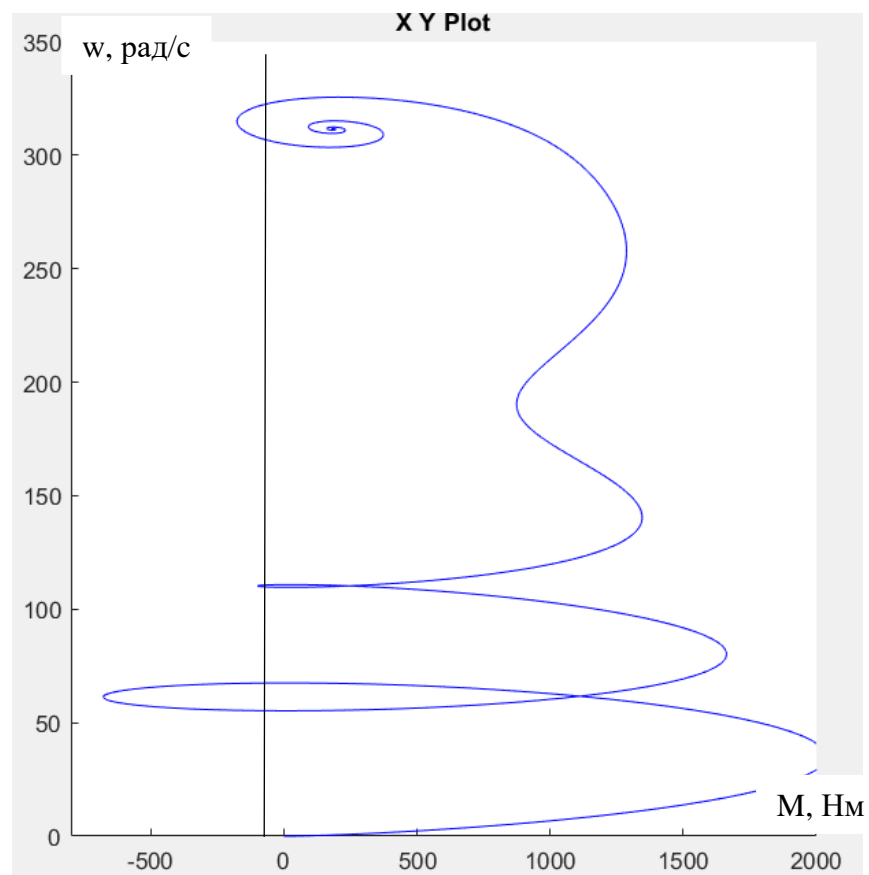


Рисунок 25 – Динамическая механическая характеристика двигателя при прямом пуске с насосной нагрузкой

Из анализа графиков переходных процессов для запуска АД напрямую от сети можно сделать выводы о том, что параметры двигателя и его Т образной схемы рассчитаны верно. Двигатель выходит на заданную скорость как с нагрузкой, так и в холостую. При набросе нагрузки двигатель также выходит на номинальный режим работы. В период разгона АД работает нормально. Также видно, что при пуске электродвигателя напрямую от сети появляются сильные скачки момента, что говорит о нежелательном использовании этого способа.

5.2 Моделирование пуска АД с ПЧ

Теоретически и практически доказано, что в классе законов U/f невозможно одновременно обеспечить удовлетворительные механические и энергетические характеристики в широком диапазоне скоростей и изменения нагрузки. Основная причина этого – возрастания влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения. В асинхронных частотно-регулируемых электроприводах со скалярным управлением, кроме законов U/f , получили применение другой закон: E/f . При регулировании скорости в этом классе законов необходимо повышать фазное напряжение $U_{1j} = E_{1j} + I_1 R_1$ на величину падения напряжения $I_1 R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора, а способ регулирования скорости АД получил название – частотное регулирование с IR-компенсацией [8].

Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией приведена на рисунке 26.

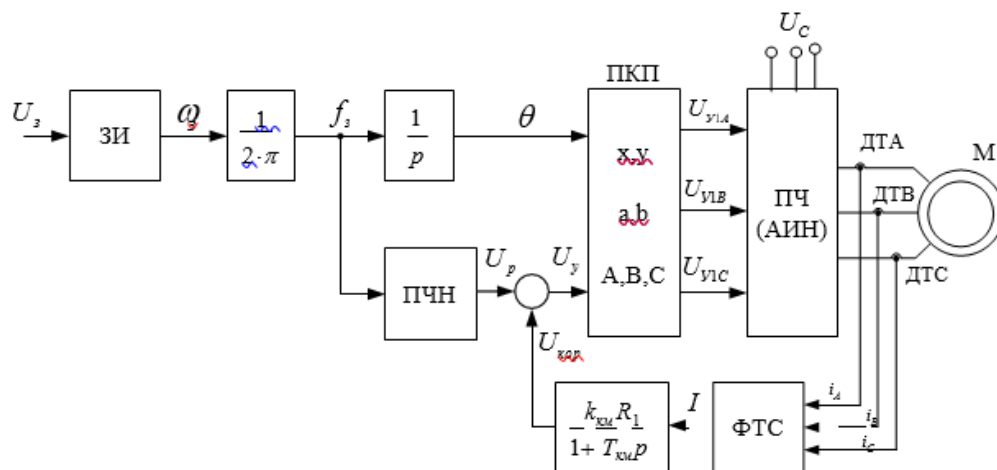


Рисунок 26 – Структурная схема системы скалярного частотного управления с ИР-компенсацией

Разработанная имитационная модель для запуска АД без нагрузки с ПЧ, датчиком интенсивности и ИР-компенсацией представлена на рисунке 27.

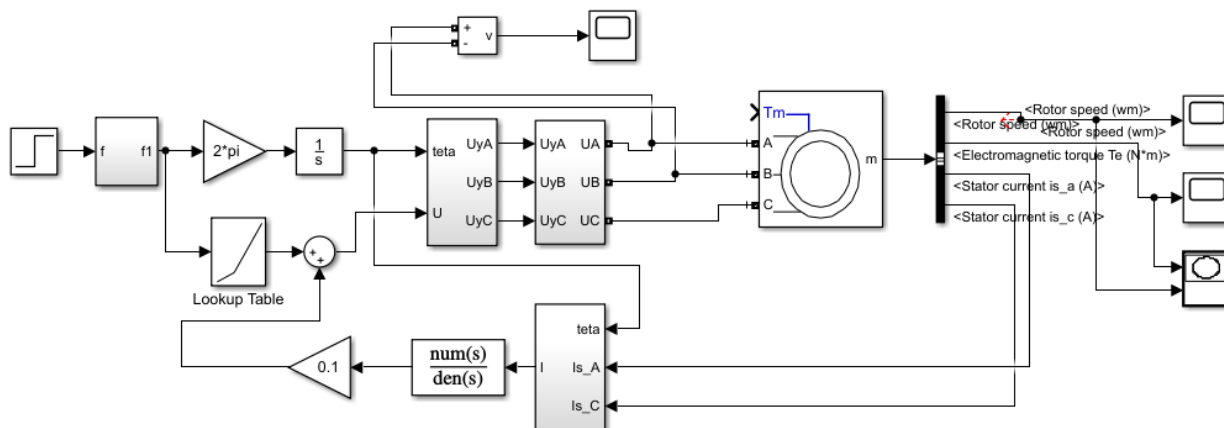


Рисунок 27 – Имитационная модель для пуска АД с ПЧ без нагрузки

На рисунках 28-30 представлены переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая характеристика при пуске АД с ПЧ без нагрузки.

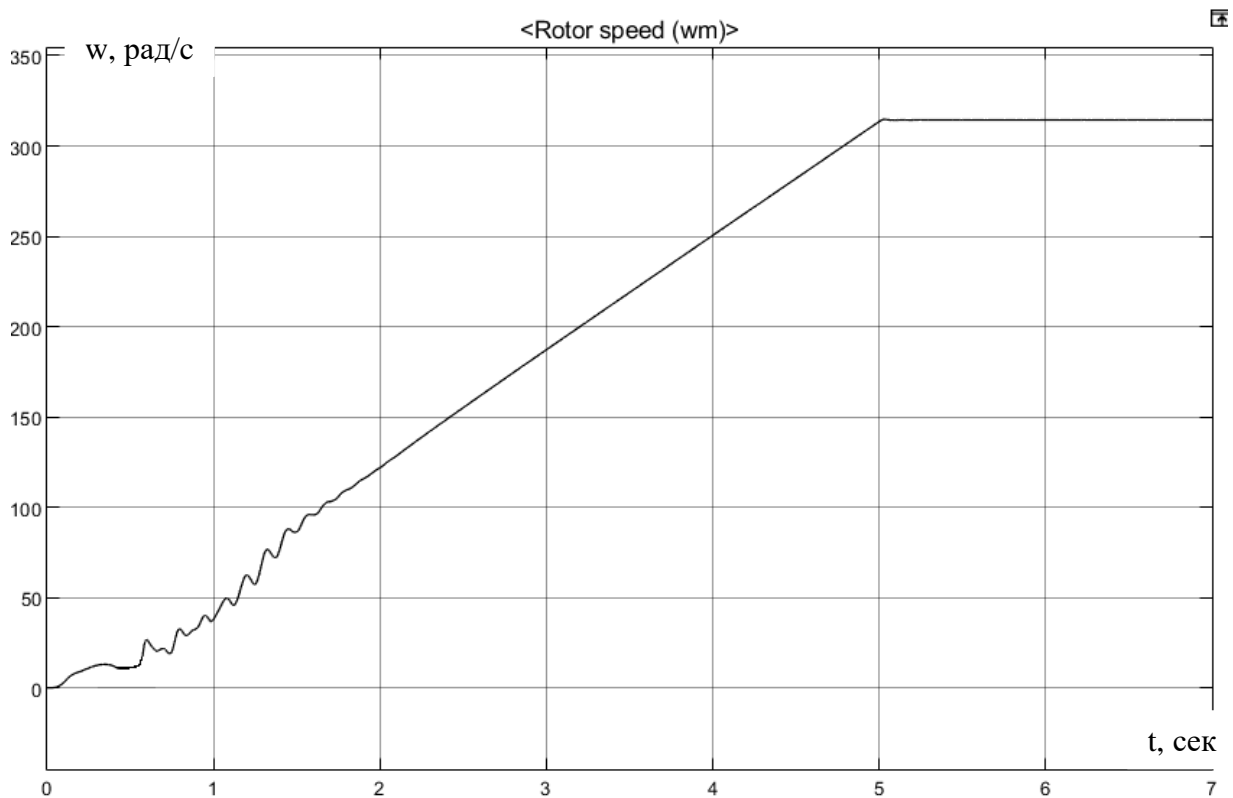


Рисунок 30 – Переходная характеристика скорости ротора АД при пуске с ПЧ без нагрузки

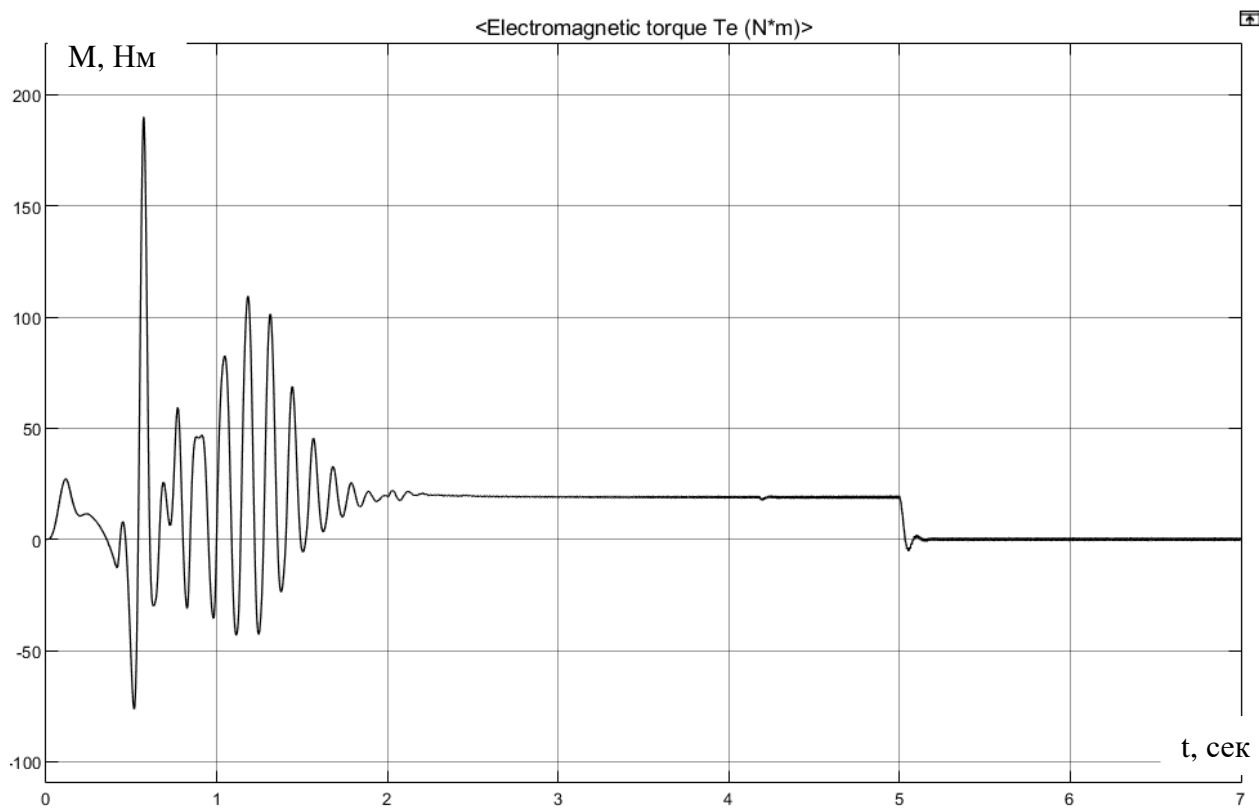


Рисунок 31 – Переходная характеристика электромагнитного момента АД с ПЧ без нагрузки

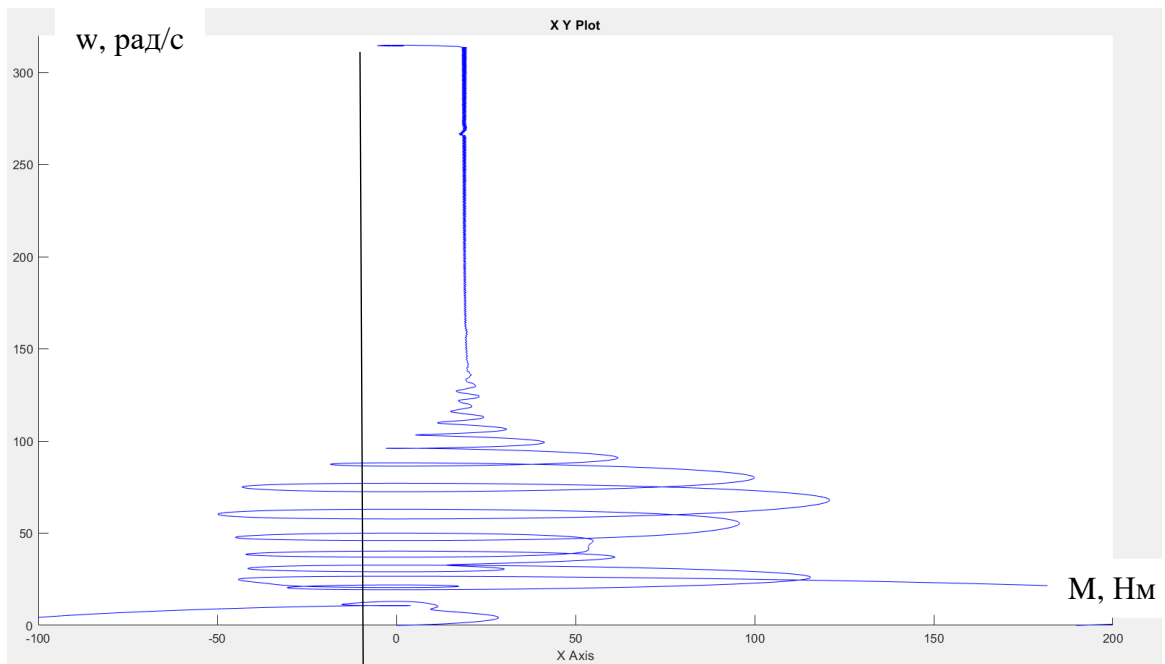


Рисунок 31 – Динамическая механическая характеристика АД с ПЧ без нагрузки

Разработанная имитационная модель для запуска АД с ПЧ, задатчиком интенсивности, IR-компенсацией и набросом нагрузки в момент времени 0.7 с. представлена на рисунке 32.

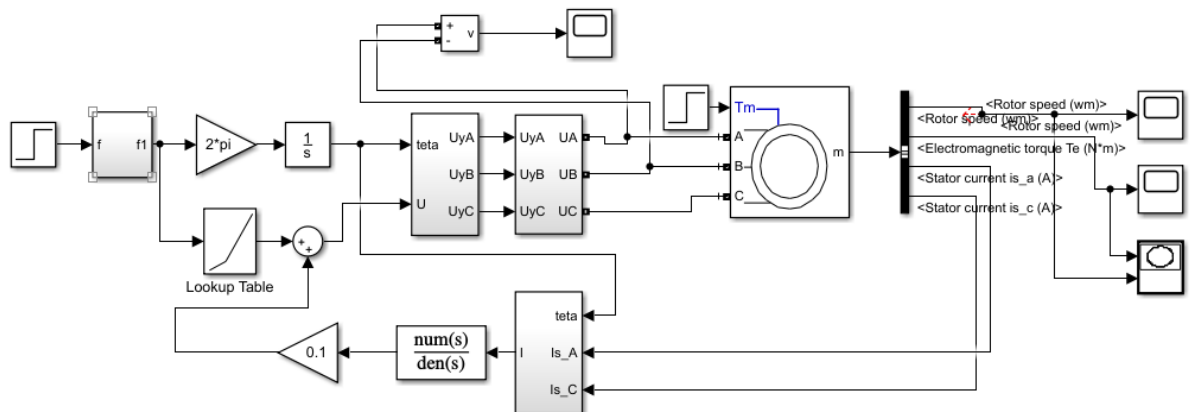


Рисунок 32 – Имитационная модель для пуска АД с ПЧ и набросом нагрузки

На рисунках 33-35 представлены переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая характеристика при пуске АД с ПЧ и набросом нагрузки.

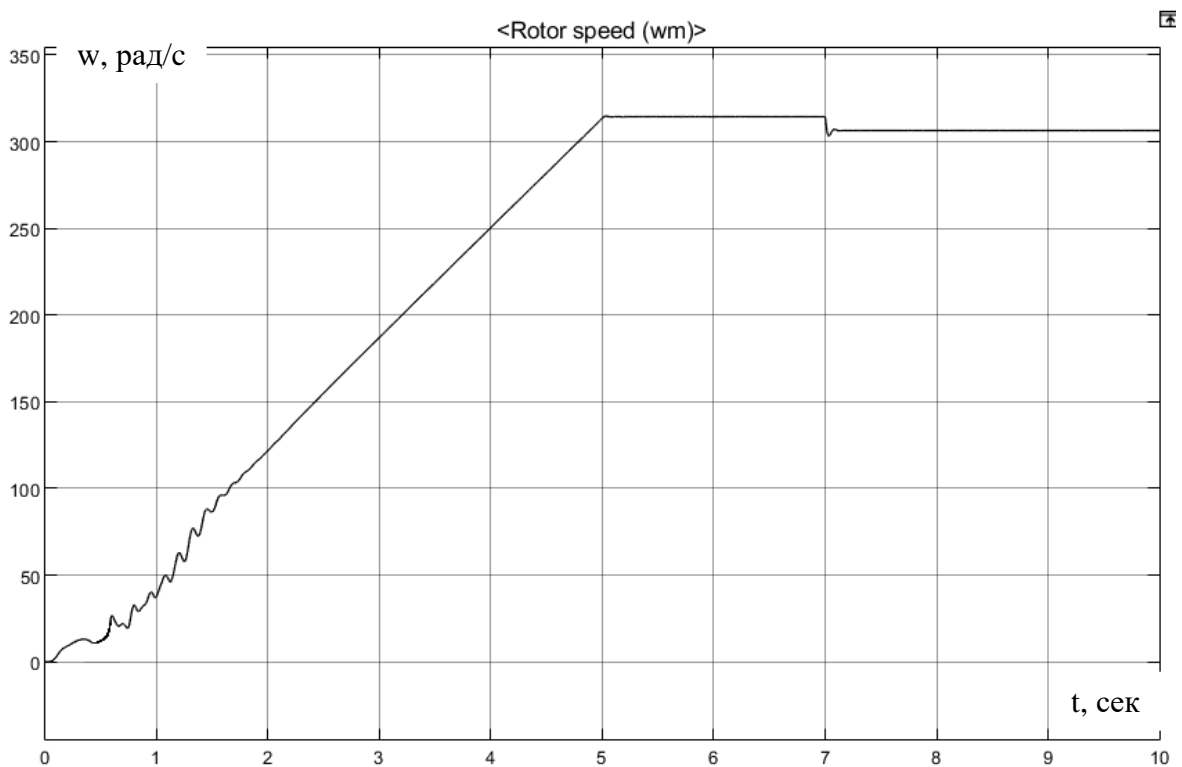


Рисунок 33 – Переходная характеристика скорости ротора АД при пуске с ПЧ и набросом нагрузки

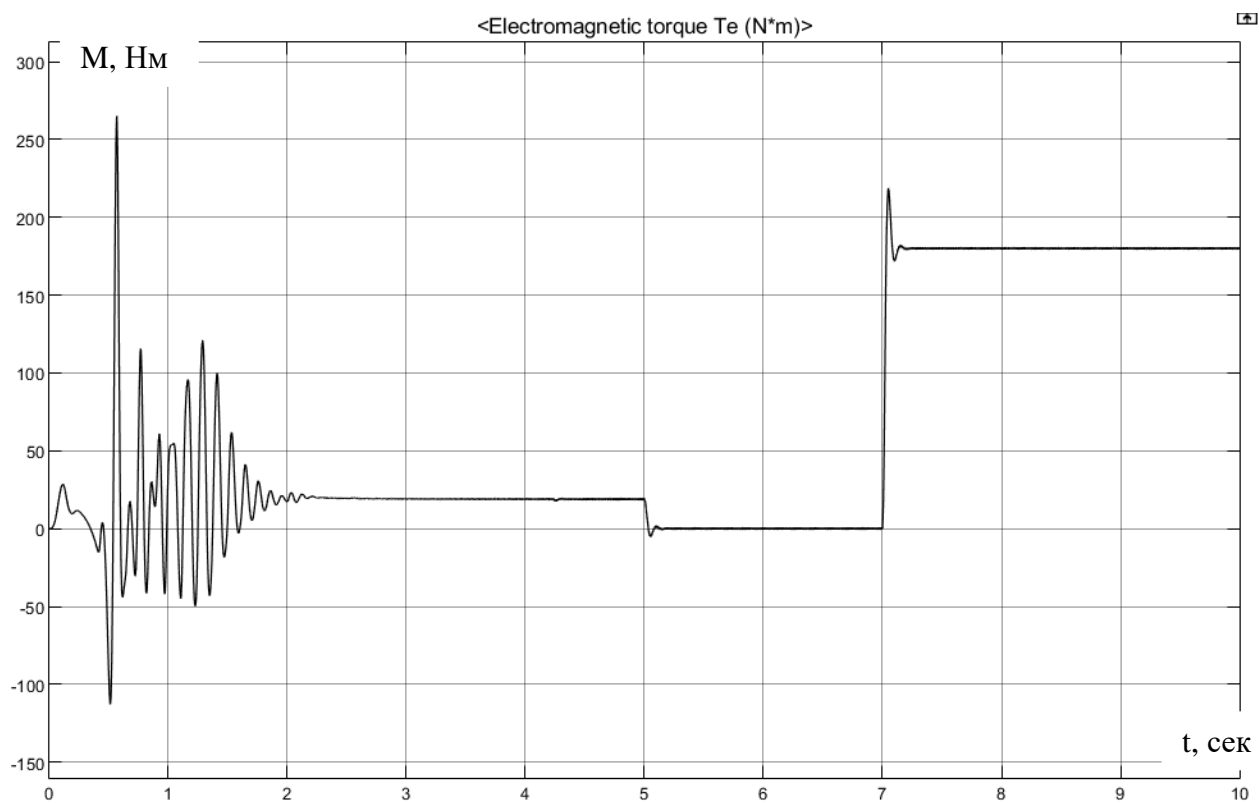


Рисунок 34 – Переходная характеристика электромагнитного момента АД с ПЧ при набросе нагрузки

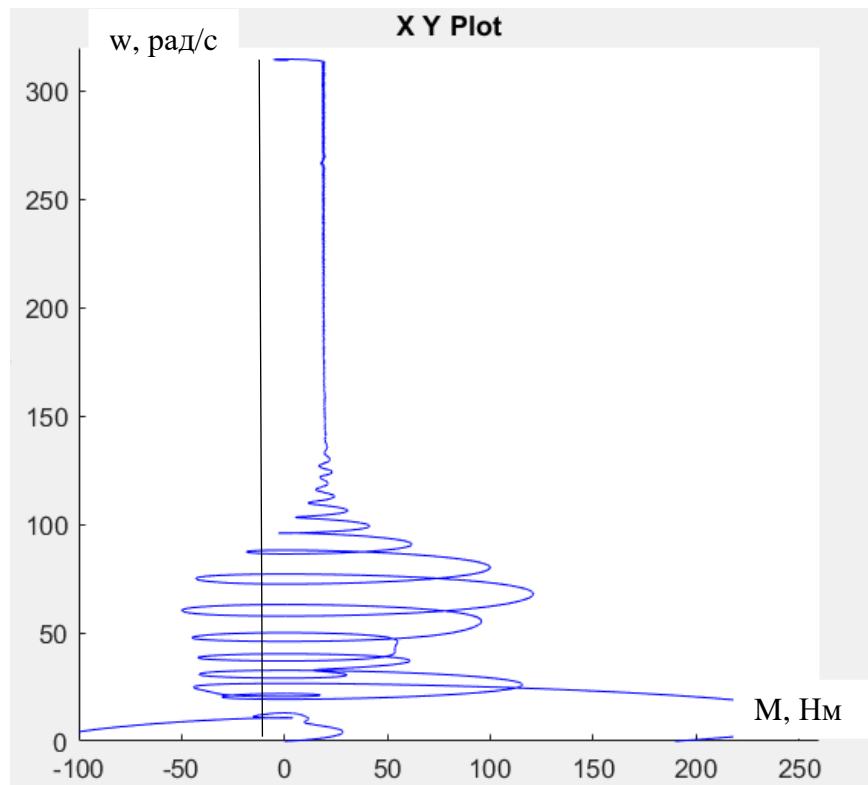


Рисунок 35 – Динамическая механическая характеристика АД с ПЧ при набросе нагрузки

Разработанная имитационная модель для запуска АД с насосной нагрузкой, ПЧ, задатчиком интенсивности и IR-компенсацией представлена на рисунке 36.

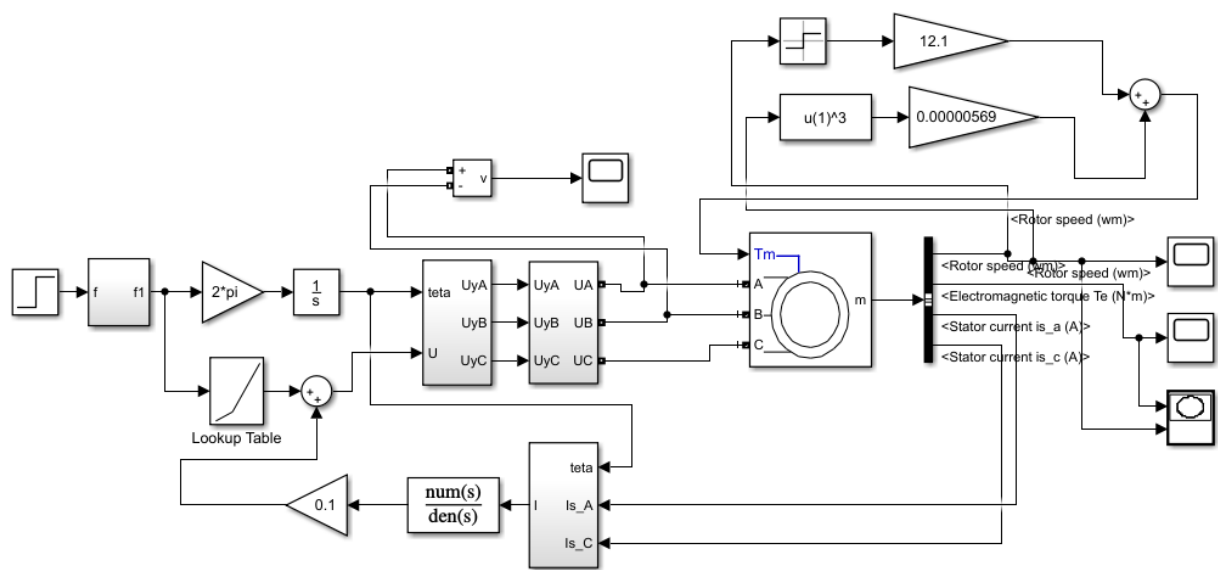


Рисунок 36 – Имитационная модель для пуска АД с ПЧ и насосной нагрузкой

На рисунках 37-39 представлены переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая характеристика при пуске АД с ПЧ и насосной нагрузкой.

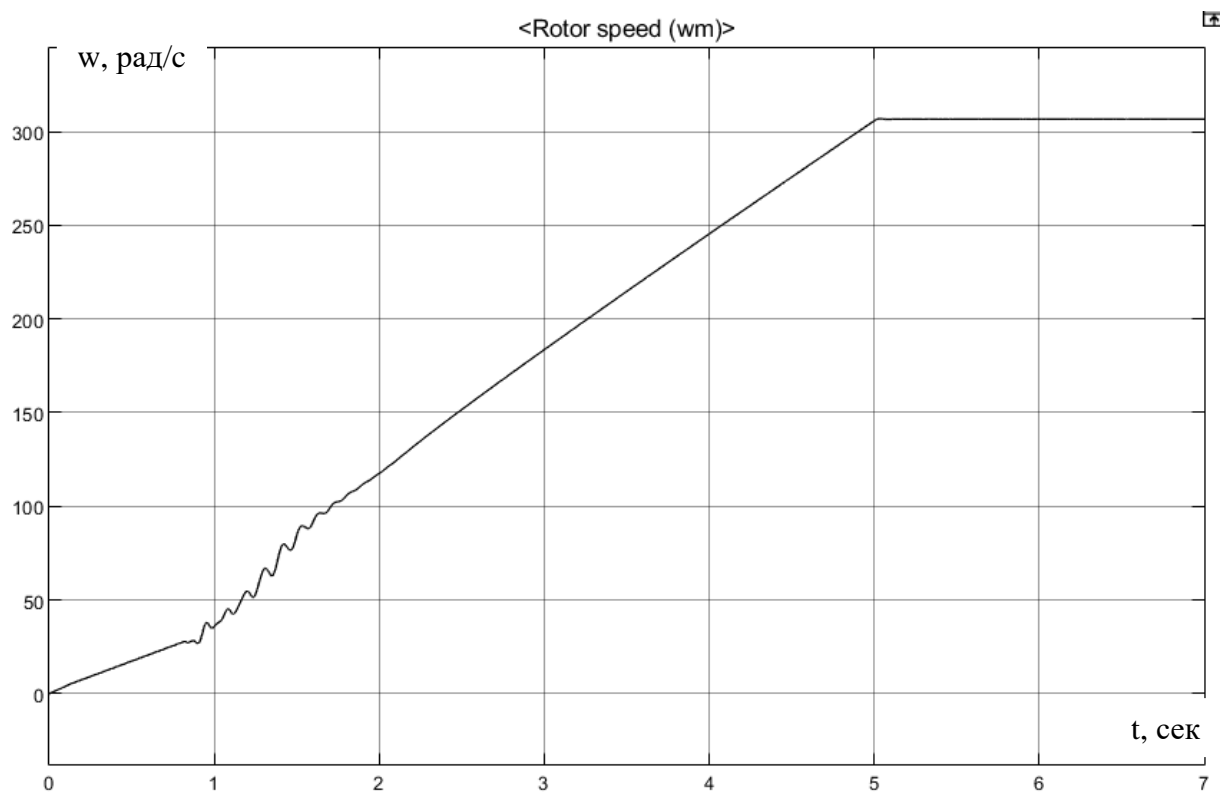


Рисунок 40 – Переходная характеристика скорости ротора АД при пуске с ПЧ и насосной нагрузкой

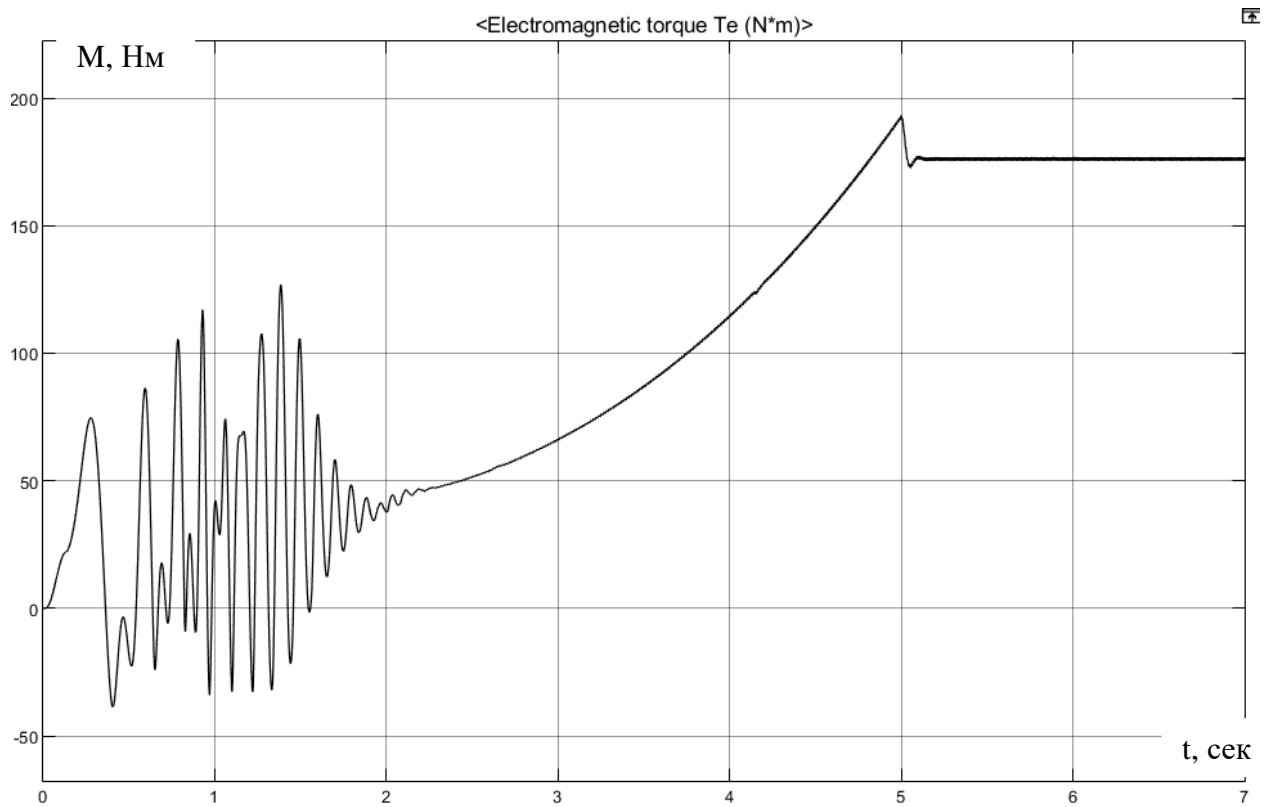


Рисунок 41 – Переходная характеристика электромагнитного момента АД с ПЧ и насосной нагрузкой

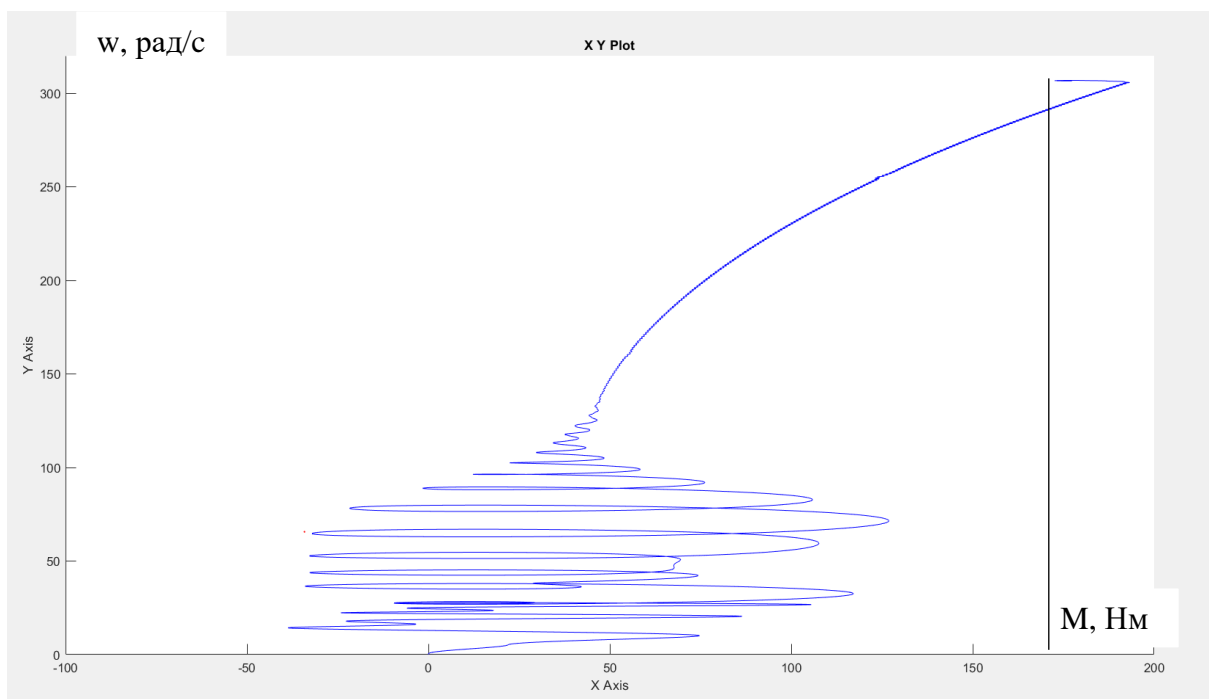


Рисунок 42 – Динамическая механическая характеристика АД с ПЧ и насосной нагрузкой

Из анализа графиков переходных процессов для запуска АД с ПЧ можно сделать выводы о том, что имитационная модель частотного электропривода

собрано верно, при любых видах нагрузки двигатель работает в заданном режиме. При данном способе пуска электродвигателя устранятся перерегулирование и большие скачки момента благодаря использованию ПЧ и датчика интенсивности.

Раздел 6 Исследование крутильных колебаний вала насосно-компрессорной трубы в составе УЭЦН

Исследования крутильных колебания НКТ выполнены с последующей целью создания системы диагностики НКТ в режиме реального времени. Наличие информации о состоянии НКТ в скважине поможет избежать больших затрат, вызванных разрушением НКТ, что подробно описано в разделе концепция стартап проекта.

При получении параметров, искомым в исследования, станет возможным получить информацию о упругости, эластичности, защемлении НКТ, а также определять возможное скорое разрушение вала трубы вследствие истирания трубы, усталостных разрушений и т.д.

Исследование для получения необходимых параметров состоит из двух основных этапов:

1. Решение прямой задачи – при известном краевом воздействии момента на вал находится распределение углов и моментов вдоль этого вала. Краевом момент вращения обеспечивает ПЭД, но в реальной жизни неизвестно какой конкретно момент он передает НКТ, для этого необходимо решить обратную задачу.

2. Решение обратной задачи – при известных измеренных распределениях момента вращения вдоль вала определяется краевое воздействия момента на НКТ для восстановления распределения моментов по всей НКТ, что позволит определить ее состояние.

6.1 Решение прямой задачи

6.1.1 Крутильные колебания вала

В качестве модели примем круглый вал, закрепленный с одной стороны, и испытывающий крутящий момент с другой стороны по аналогии с условиями работы НКТ. Модель представлена на рисунке 43.

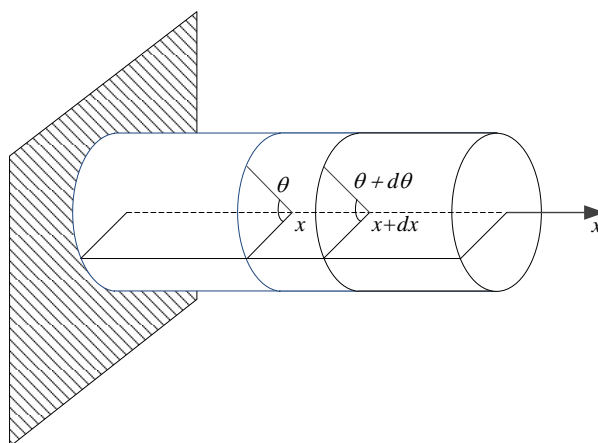


Рисунок 43 – Модель вала для решения прямой задачи

Основное положение в теории кручения круглых стержней – поперечные круговые сечения стержня при кручении остаются плоскими и сохраняют между собой первоначальные расстояния; радиусы, проведенные в этих сечения не искривляются, т.е кручение круглого вала можно представить как результат сдвигов, вызванных поворотом поперечных сечений друг относительно друга, которые совершаются вокруг оси вала. Вследствие этого в сечениях возникают только касательные напряжения. Касательные напряжения симметричны относительно центра поперечного сечения, что приводит к паре сил, момент которой называется крутящим моментом.

По второму закону Ньютона для вращательного движения вокруг оси, произведение момента инерции тела относительно оси на угловое ускорение равно моменту внешних сил. Тогда, запишем:

$$Kdx \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = (M_{X+dx} - M_x)dx, \quad (29)$$

где K - момент инерции на единицу длины, $M_{x+dx} - M_x$ - момент внешних сил.

Учитывая, что $M_{X+dX} - M_X = GJ_0 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$, перепишем второй закон

Ньютона:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \quad (30)$$

где G - Модуль сдвига, J_0 - момент инерции цилиндра, ρ - плотность материала, a - скорость распространения возмущения.

При этом:

$$a = \sqrt{\frac{GJ_0}{K}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (31)$$

6.1.2 Крутильные колебания вала с диском на одном конце

Так как на незакрепленном нижнем конце НКТ находится не только ПЭД, но и другое оборудование, вес совокупности этого оборудования достаточно значителен и должен быть учтен в решении. Для этого примем, что на конце модели вала закреплен диск с определенными параметрами.

1. Запишем начальные и краевые условия, которым должна удовлетворять получаемая функция.

Начальные условия:

1. Рассматривая рисунок 44, можно сделать вывод, учитывая что α мал, что $L\gamma = R\alpha$, $x\gamma = R\theta$, откуда $\theta(0, x) = \alpha x / L$.

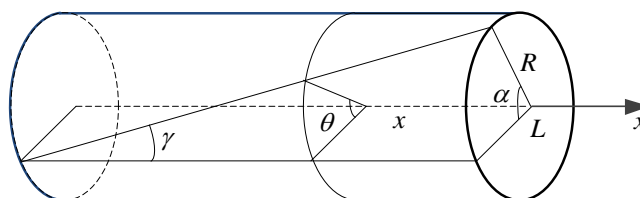


Рисунок 44 – Модель вала

2. Согласно условию, $\frac{\partial \theta}{\partial t}(0, x) = 0$ (32)

Крайевые условия:

1. Так как конец вала не подвижен, то $\theta(t, x = 0) = 0$. (33)

2. Второе крайевое условие вытекает из равенства суммы моментов нулю $M_L + M_{Д} = 0$, что видно из рисунка 45.

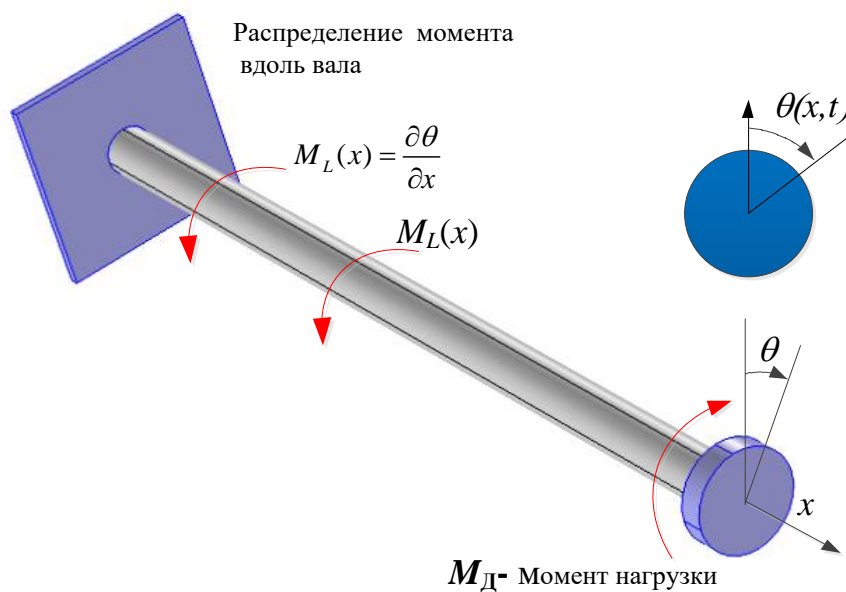


Рисунок 45 – Распределение моментов вдоль вала

M_L – крутящий момент вала:

$$M_L = GJ_0 \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (34)$$

$M_{Д}$ – произведение момента инерции диска на его угловое ускорение:

$$M_{Д} = J_1 \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} \quad (35)$$

Основываясь на вышесказанном, можно записать:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = -c^2 \frac{\partial \theta}{\partial x}, \quad (36)$$

$$c = \sqrt{\frac{GJ_0}{J_1}} \quad (37)$$

2. Далее будем находить решения дифференциального уравнения (30), которое будет удовлетворять условиям, представленным выше.

Задачу будем решать методом разделения переменных (методом Фурье). Запишем искомую функцию в виде $\theta(x, t) = X(x)T(t)$.

Подставим ее в дифференциальное уравнение, откуда получим:

$$X(x) \frac{d^2 T(t)}{dt^2} = T(t) a^2 \frac{d^2 X(x)}{dx^2} \quad (38)$$

Разделяя переменные, получаем уравнения (30), в котором левая и правая части зависят от разных переменных.

$$\frac{1}{a^2 T} \frac{d^2 T}{dt^2} = \frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} \quad (39)$$

Это может быть только в случае если правая и левая части равны константе (обозначим ее $-\lambda$):

$$\frac{1}{a^2 T} \frac{d^2 T}{dt^2} = \frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} = -\lambda^2, \quad (40)$$

$$\frac{d^2 X}{dx^2} + \lambda^2 X = 0, \quad (41)$$

$$\frac{d^2 T}{dt^2} + a^2 \lambda^2 T = 0 \quad (42)$$

Решения этих обыкновенных уравнений известны и имеют вид

$$X(x) = A \sin(\lambda x) + B \cos(\lambda x), \quad (43)$$

$$T(t) = C \sin(a \lambda t) + D \cos(a \lambda t) \quad (44)$$

Из условия $X(0)=0$ получаем:

$$X(0) = A\sin(0) + B\cos(0) = 0 + B = 0 \dots\dots \dots (45)$$

Следовательно $B=0$ и $X(x) = A\sin(\lambda x)$.

Из условия $\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = -c^2 \frac{\partial \theta}{\partial x}$ получим $X \frac{d^2 T}{dt^2} = -c^2 T \frac{\partial X}{\partial x}$ или

$X \frac{d^2 T}{dt^2} + c^2 T \frac{dX}{dx} = 0$. Заменяя $\frac{d^2 T}{dt^2}$ на $-a^2 \lambda^2 T$ согласно выражениям выше,

получим:

$$c^2 \frac{dX}{dx} - X a^2 \lambda^2 = 0 (46)$$

Подставим в полученное выражение решение $X(x)$, откуда:

$$c^2 \cos(\lambda L) - \sin(\lambda L) a^2 \lambda = 0 (47)$$

Что можно переписать как:

$$\frac{a^2}{c^2} \lambda = \text{ctg}(\lambda L) (48)$$

Приняв $\lambda L = \mu$, $\frac{J_1}{KL} = m$ получим:

$$\text{ctg}(\mu) = m\mu. (49)$$

Решая это уравнения можно найти, что каждому решению μ_k

соответствует собственное число $\lambda_k = \frac{\mu_k}{L}$ и собственная функция $\sin\left(\frac{\mu_k}{L} x\right)$.

Построим графики функции левой и правой части полученного уравнения на положительных осях, для отыскания положительных корней.



Рисунок 46 – Графики функций левой и правой части полученного уравнения

Полученное соответствующее собственным числам решение запишем как:

$$T_k(t) = a_k \cos a\lambda_k t + b_k \sin a\lambda_k t, \quad (50)$$

$$X_k(t) = \sin \lambda_k x \quad (51)$$

Перемножив полученные функции можем записать решение искомого дифференциального уравнения (30), но удовлетворяющее только краевым условиям:

$$\theta_k(x, t) = (a_k \cos a\lambda_k t + b_k \sin a\lambda_k t) \sin \lambda_k x \quad (52)$$

Далее найдем решение дифференциального уравнения (30), удовлетворяющее начальным условиям.

Решение, удовлетворяющее начальным условиям, ищется в виде суммы:

$$\theta(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos a\lambda_k t + b_k \sin a\lambda_k t) \sin \lambda_k x \quad (53)$$

Для определения a_k и b_k запишем через два условия:

$$1. \theta(x, t)|_{t=0} = \sum_{k=1}^N a_k \sin\left(\frac{\mu_k}{L} x\right) = \alpha x / L, \quad (54)$$

$$2. \frac{\partial \theta}{\partial t}(x, t)|_{t=0} = 0 = \sum_{k=1}^N b_k \frac{\mu_k}{L} \sin\left(\frac{\mu_k}{L} x\right) \quad (55)$$

Из второго заключим, что $b_k = 0$, для нахождения a_k берем производную с обеих сторон уравнения и получаем:

$$\alpha / L = \sum_{k=1}^N a_k \frac{\mu_k}{L} \cos\left(\frac{\mu_k}{L} x\right) \quad (56)$$

Стоит отметить, что собственные функции, полученные при решении, не ортогональны, а их производные – ортогональны, поэтому при поиске a_k воспользуемся:

$$\int_0^L \cos\left(\frac{\mu_k}{L} x\right) \cos\left(\frac{\mu_n}{L} x\right) dx = \begin{cases} 0, & \text{при } k \neq n \\ \frac{L}{2} + \frac{L \sin(2\mu_k)}{4\mu_k}, & \text{при } k = n \end{cases} \quad (57)$$

Далее, используя свойство ортогональности производных собственных функций, получаем, после умножения на $\cos\left(\frac{\mu_k}{L} x\right)$ и интегрирования от 0 до L выражение (56):

$$\frac{L\alpha}{\mu_k L} \sin(\mu_k) = a_k \frac{\mu_k L}{L} \left(\frac{1}{2} + \frac{\sin(2\mu_k)}{4\mu_k} \right) \quad (58)$$

$$a_k = \frac{\alpha \sin(\mu_k)}{\left(\frac{1}{2} + \frac{\sin(2\mu_k)}{4\mu_k} \right) \mu_k^2} = \frac{4\alpha \sin(\mu_k)}{2\mu_k^2 + \mu_k \sin(2\mu_k)} \quad (59)$$

Теперь можно окончательно записать:

$$\theta(x, t) = \sum_{k=1}^N \frac{4\alpha \sin(\mu_k)}{2\mu_k^2 + \mu_k \sin(2\mu_k)} \sin\left(\frac{\mu_k}{L} x\right) \cos\left(\frac{\mu_k}{L} at\right) \quad (60)$$

Данное выражение является решением задачи распределения углов при крутильных колебаниях вала.

В качестве результатов решения прямой задачи на рисунке 47 представлены стадии положения угла в различные моменты времени, полученные в среде MathCad. А также результаты моделирования крутильных колебаний вала в среде Comsol, в результате чего были получены графики

распределения углов и моментов по длине вала во времени, представленные на рисунках 48-51.

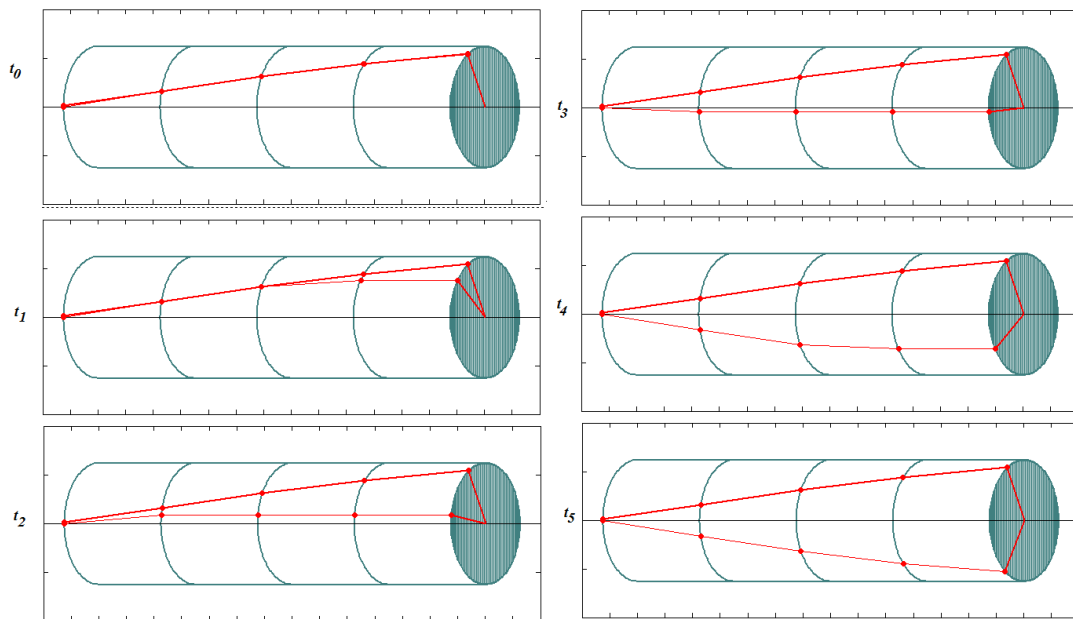


Рисунок 47 – Положения угла кручения вала в разные моменты времени

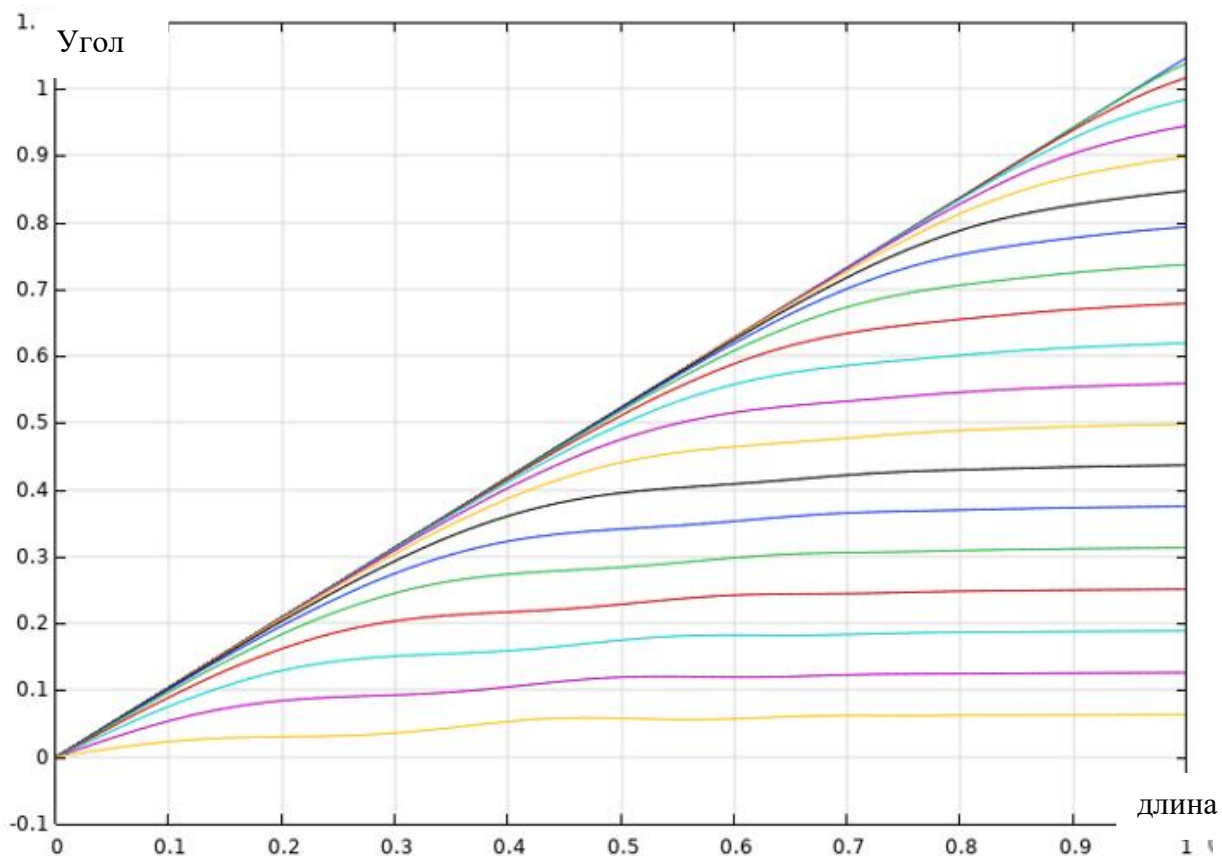


Рисунок 48 – Распределение угла вращения вала во времени

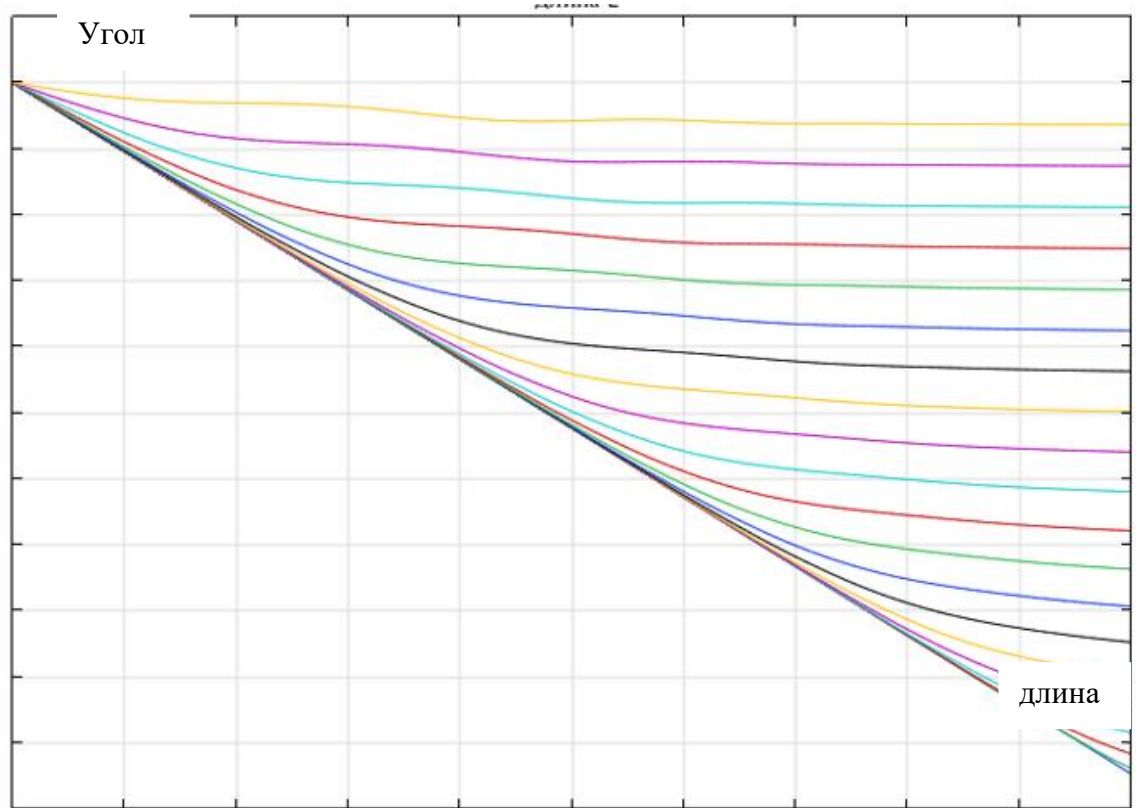


Рисунок 49 – Распределение угла вращения вала во времени

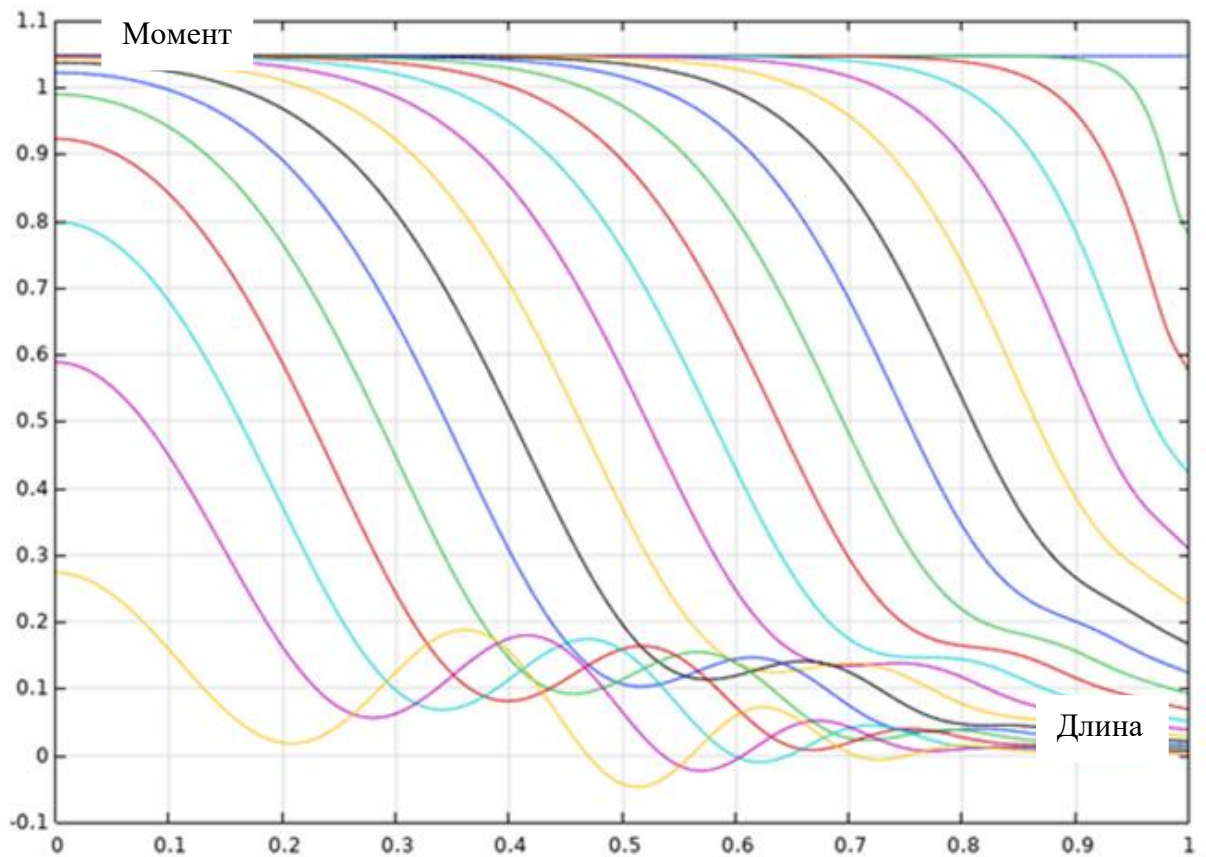


Рисунок 50 – Распределение моментов вращения вала во времени

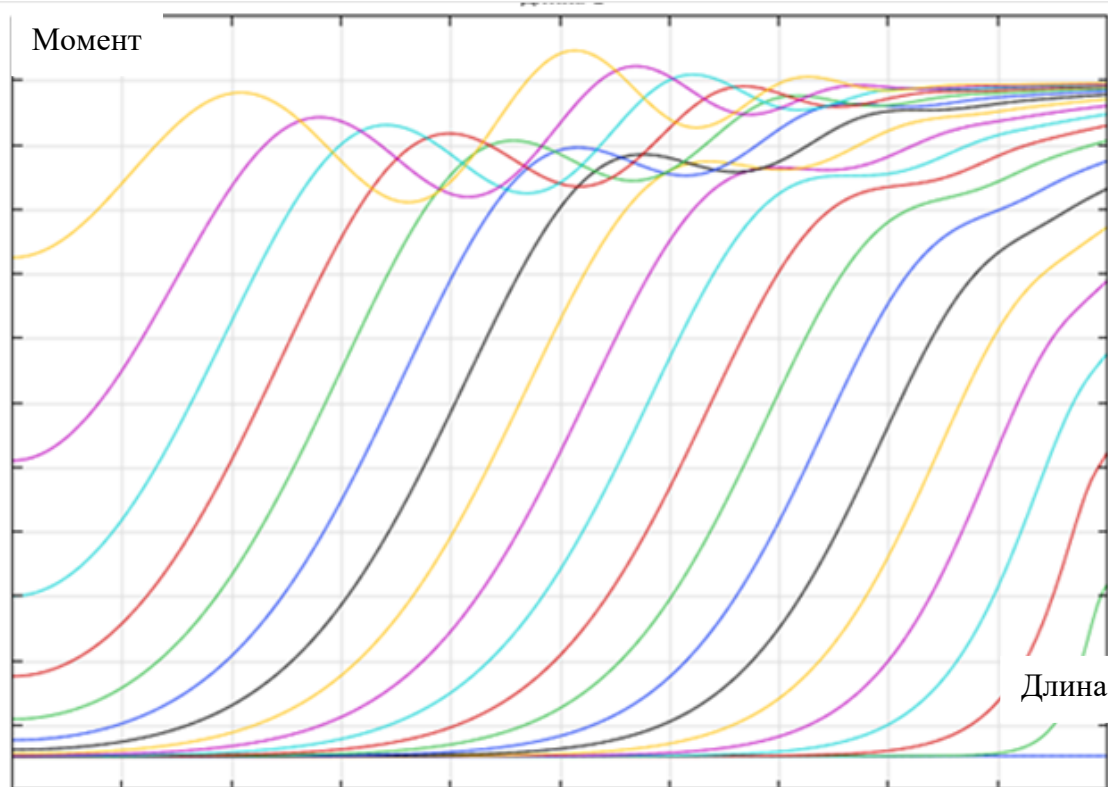


Рисунок 51 – Распределение моментов вращения вала во времени

6.2 Решение обратной задачи

В обратной задаче решается задача восстановления краевого воздействия нагрузочного момента при измерениях распределения момента сопротивления вдоль вала.

До запуска скважины на новой НКТ измеряется эталонный нагрузочный момент. Во время эксплуатации скважины, при появлении износа или дефектов, рассчитанный восстановленный момент M_H не будет соответствовать эталонному моменту, что будет свидетельствовать о локальной неоднородности вдоль трубы.

В связи с большой сложностью и объемом математических вычислений, необходимых для решения обратной задачи, определение краевого момента данным способом будет определено в магистерской выпускной работе по данной теме.

6.3 Техническое устройство (предполагаемое к разработке)

Для определения параметров трубы не требуется подъем оборудования или установка системы непосредственно в скважину, все показатели оператор сможет увидеть на экране ноутбука, подключенного непосредственно к датчику. Массогабаритные показатели системы не требуют изменения существующей конструкции для добычи нефти с помощью УЭЦН.

Система включает в себя систему рычагов, воспринимающих момент вращения НКТ. Система рычагов передает вращающий момент от НКТ на магнитоупругие датчики усилий типа прессдуктор. Подавая напряжение на этот датчик, мы можем судить о величине сжимающего этот датчик усилия по значению выходного напряжения датчика. Для подачи напряжения на датчик служит электрическая сеть и блок питания, для снятия выходного напряжения служит цифровой мультиметр, который передает данные на компьютер. На компьютере, с помощью программного обеспечения, использующего математические исследования и расчёты, представленные в основной части работы, диспетчер сможет определить состояние НКТ.

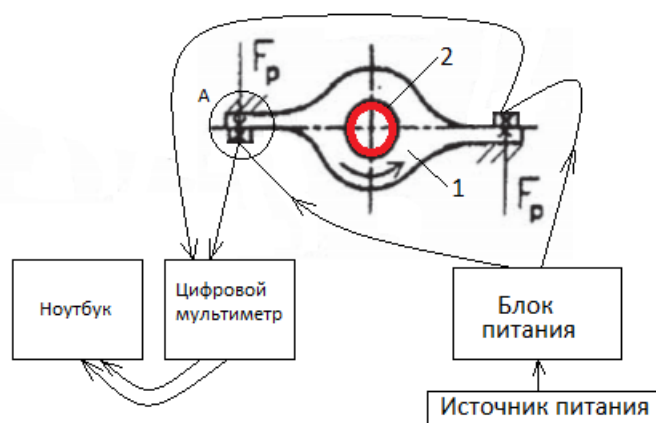


Рисунок 52 – Схема устройства разрабатываемой системы, где 1 – система рычагов, 2 – НКТ.

На рисунке 53 представлен укрупненный участок А рисунка 52.

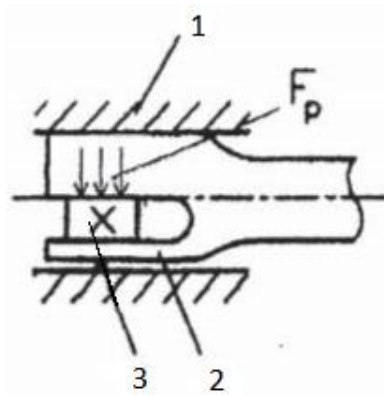


Рисунок 53 – Укрупненный участок системы, где 1 – упор, 2 – система рычагов, 3 – магнитоупругий датчик усилий типа прессдуктор.

Раздел 7 Концепция стартап проекта

7.1 Название стартап-проекта

В основу проекта легла идея диагностики насосно-компрессорной трубы в режиме реального времени для предотвращения их поломок во время работы.

Основываясь на главной технической задаче, было определено название стартап-проекта: «Система диагностики насосно-компрессорных труб в режиме реального времени».

7.2 Описание продукта как результата НИР

При скважинной добыче нефти с помощью установки электроцентробежного насоса (УЭЦН) нефтедобывающие компании могут сталкиваться с проблемами падения оборудования в скважину в результате поломки или разрушения насосно-компрессорной трубы (НКТ). В разных случаях, последствия разрушения НКТ могут потребовать больших денежных затрат, включая заморозку скважины в крайних ситуациях. Создаваемый продукт в режиме реального времени выявляет состояние НКТ, что позволит избежать ее поломки.

7.3 Интеллектуальная собственность

Планируется публикация результатов исследований по данной теме в различных научных источниках, в связи с чем ведется работа по защите интеллектуальной собственности путем создания патента на описываемую систему научным коллективом в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

Для создания патента необходимо направить заявку в Федеральную службу по интеллектуальной собственности, и после получения патента

интеллектуальная собственность будет защищена частью четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации, федеральными законами № 98-ФЗ от 29 июля 2004 года «О коммерческой тайне», № 149-ФЗ от 27 июля 2006 года «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», № 135-ФЗ от 26 июля 2006 года «О защите конкуренции» и Кодексом об административных правонарушениях РФ, Уголовным кодексом РФ и другими

7.4 Объем и емкость рынка

На рисунке 54 представлено количество нефтяных скважин в России с разными способами добычи на период с 2007 по 2018 год [11].

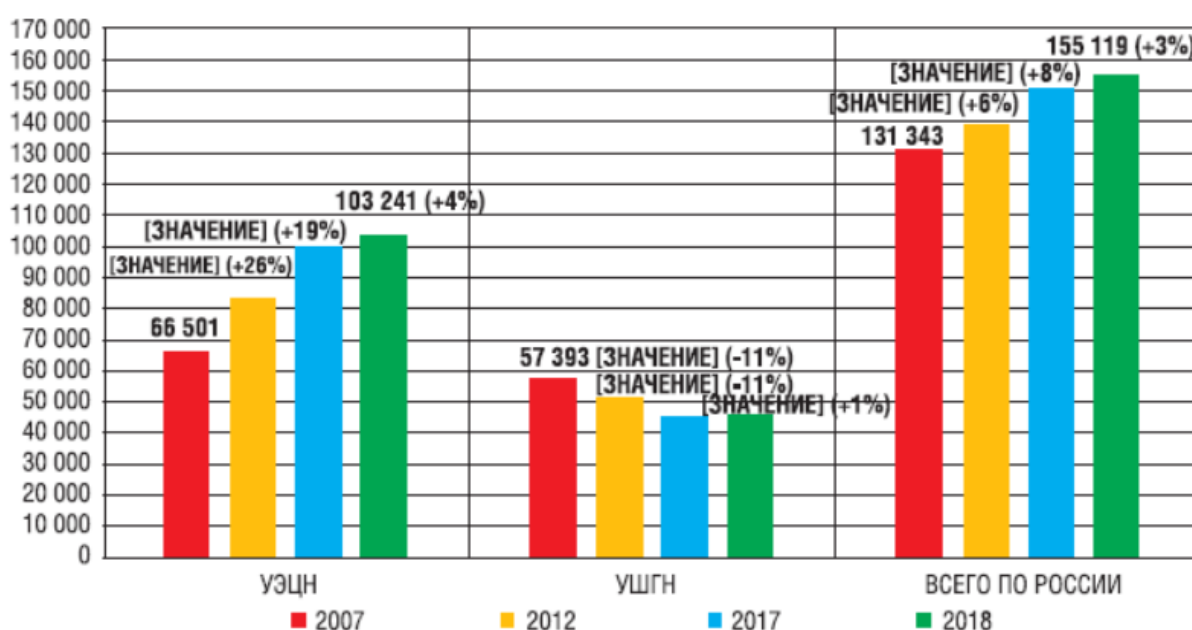


Рисунок 54 – Количество нефтяных скважин российских компаний за 2007-2018 год

Опираясь на данные рисунка 54, можем определить количество скважин, оснащенных УЭЦН на 2018 год, составляющее 103241 штуку. Принимая во внимания условия сделки ОПЕК+ с последующим сокращением добычи нефти и заморозкой скважин в России, примем, что на 2020 год роста числа скважин не произошло и для расчета используем количество скважин на 2018 год.

Из этого количества, примерно 15% вводится в эксплуатацию в течение года как новые или после ремонта, именно на такие скважины планируется установка разрабатываемой системы. Емкость рынка определим как количество скважин на 2020 год, оснащенных УЭЦН и вводимых в эксплуатацию, откуда получим 15486 штук.

7.5 Анализ современного состояния и перспектив развития отрасли

Одним из самых важных и широко востребованных источников энергии в мире является нефть, на ее долю приходится 33% мирового энергопотребления.

По состоянию на 1 января 2019 года на Россию приходится 6,1% от всех мировых запасов нефти (6 место среди всех стран, при максимальных 17,5% у Венесуэлы) и 12,6% добычи нефти (3 место и 560 млн.т., при максимальных 15% у США) [12], что говорит о том, что несмотря на все современные вводимые санкции и ограничения на добычу нефти, Россия, как и ряд других стран, еще долго будет заниматься добычей такого природного ресурса как нефть.

Условия сделки ОПЕК+ вынуждают Россию снизить количество добываемой нефти на 22,7%, а, следовательно, появляется необходимость заморозки некоторых скважин. Но, принимая во внимание количество добываемой нефти с помощью УЭЦН (82% от общей добычи в России [13]), можно с уверенностью предположить, что количество скважин с УЭЦН останется на высоком, приемлемом уровне.

Перспективы добычи нефти с помощью УЭЦН в России весьма положительные: примерно 85% нефти в РФ добываются с помощью УЭЦН, причем с каждым годом процент добычи нефти таким способом увеличивается. Это объясняется наилучшей приспособленностью к российским условиям добычи нефти, возможностью подбора установок и выборе эффективной технологии добычи нефти в широком диапазоне осложняющих факторов пластово-скважинных характеристик.

7.6 Планируемая стоимость продукта

Технология производства прибора:

1. Закупка блоков питания, стали для системы рычагов, крепежных элементов, цифровых мультиметров, USB-накопителей, магнитоупругих преобразователей (датчиков).

2. Изготовление системы рычагов из стали с помощью токарных аутсорсинговых работ.

3. Установка магнитоупругих преобразователей (датчиков) в рычаги.

4. Подключение к блоку питания и цифровому мультиметру магнитоупругих преобразователей (датчиков).

5. Перекачка ПО на USB-накопитель.

Схема устройства системы показана на рисунке 56.

При этом потребуются единоразовые затраты в районе 25 тыс. руб. на создание ПО.

Рассчитаем стоимость изготовления партии из 50 приборов на временной период равный одному месяцу.

1. Для сборки и наладки оборудования потребуется два работника: менеджер и инженер-наладчик. В обязанности менеджера входит составление договоров на покупку материала, аутсорсинг, поиск клиентов и обязанности, связанные с продвижением продукта. В обязанности инженера-наладчика входит сборка оборудования. Расходы на выплату заработной платы представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Оклад работников

Работники	Оклад, руб	Отчисления в социальные внебюджетные фонды (30%), руб	Налог на доходы физических лиц (13%), руб	Итого, руб
Менеджер	25000	7500	3250	57200
Инженер-наладчик	15000	4500	1950	

2. Расчет себестоимости единицы продукции представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Себестоимость оборудования

Наименование	Стоимость, руб
Блок питания	3000
Материал для системы рычагов (полоса стальная толщиной 12 мм)	1000
Токарные работы для изготовления системы рычагов (аутсорсинг)	1500
Магнитоупругий преобразователь типа пресдуктор в сборе	3000
Мультиметр цифровой Актаком АМ- 1152	11000
USB-накопитель SanDisk 32Gb	690
Крепление датчика к земле и болтовое соединение рычагов	1000
Составление руководства пользования, упаковки и прочие расходы	10000
Итого:	31990

Откуда, себестоимость партии из 50 штук будет составлять 1.599.500 рублей.

Расчет окончательной стоимости партии из 50 штук продукции, не включая стоимость создания ПО, представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Окончательная стоимость партии из 50 штук

Элементы	Стоимость, руб
Себестоимость производства партии продукции	1656700
Рентабельность (51,8%)	846290
НДС (20%)	497010
Итого:	3000000

Откуда, стоимость единицы продукции следует установить на уровне 60000 рублей.

Специальное оборудование и помещение для производства системы не требуется. По этой причине на начальных этапах возможно разместить в своем нежилом помещении.

7.7 Конкурентные преимущества создаваемого продукта, сравнение технико-экономических характеристик с отечественными и мировыми аналогами

Система для добычи нефти с помощью установки электроцентробежного насоса (УЭЦН) включает в себя множество узлов и агрегатов. Некоторым из них свойственно выходить из строя после определенной выработки часов. Одним из таких узлов является насосно-компрессорная труба.

На ее выход из строя может влиять как планомерное воздействие внешних факторов, так и неправильная работа погружного электродвигателя. Поломка НКТ в некоторых случаях может привести к падению оборудования в скважину.

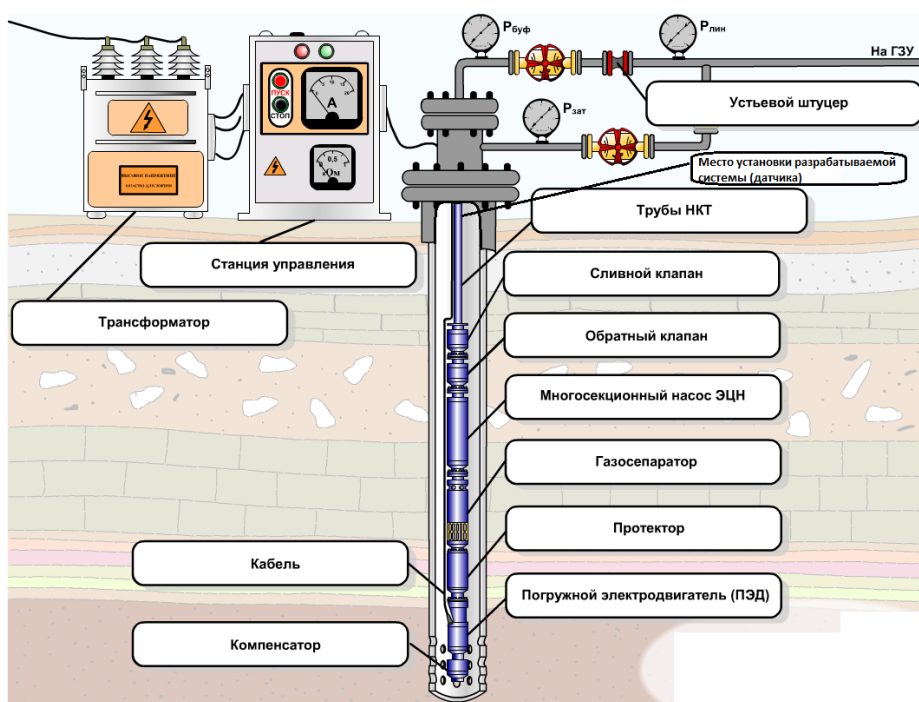


Рисунок 55 – Система добычи нефти с помощью УЭЦН

Рассмотрим два варианта возможных вложений компании при «полете» оборудования в скважину.

1. Закупка нового оборудования, при имеющейся возможности поднятия старого из скважины:

- Замена ПЭД: 500 тыс.руб.
- Замена насоса: 150 тыс.руб.
- Поднятие упавшего оборудования: 50 тыс.руб.
- Простой скважины на время замены составит 2 дня. Откуда, при среднем дебите нефти в 65 барр/сутки, потери составят 130 баррелей или 197,6 тыс. рублей. (с учетом ситуации на май 2020г. при цене на российскую нефть 19 \$/барр)

Принимая, что такая замена происходит один раз в год, можем получить примерные затраты предприятия при неиспользовании предлагаемой системы в 897,6 тыс.руб.

2. Существуют случаи невозможности дальнейшей эксплуатации скважины после «полета» оборудования, из-за неосуществимости его поднятия, в таких случаях, возможны два варианта:

1. Скважину приходится полностью выводить из эксплуатации, при этом затраты составят:

- Остаточная стоимость ПЭД и насоса: 325 тыс.руб.
- При условной возможной наработке этой скважины еще в 200 суток, потери, при среднем дебите нефти в 65 барр/сутки, составят 19,760 млн.руб (с учетом ситуации на май 2020г., при цене на российскую нефть 19 \$/барр)

Затраты в данном случае составят 20,085 млн.руб.

2. Бурение бокового ответвления к этой скважине, при этом затраты составят:

- Остаточная стоимость ПЭД и насоса: 325 тыс.руб.
- Стоимость бокового бурения в среднем составляет 50 тыс.руб ,

- Простой скважины на время бурения составит 11 суток, при среднем дебите нефти в 65 барр/сутки, потери составят 715 баррелей или 1,086 млн. рублей. (с учетом ситуации на май 2020г. при цене на российскую нефть 19 \$/барр)
- Добыча нефти в данной ситуации сократится и осложнится, что повлечет за собой затраты, примем их как пятую часть от возможной прибыли выведенной скважины за 200 суток из пункта 1 выше: 3,952 млн.руб.

Затраты в данном случае составят 5,413 млн.руб.

Разрабатываемая система (датчик) позволяет определить состояние НКТ, а точнее: определить упругость, эластичность трубы, возможное ее защемление. Для определения этих параметров не требуется подъем оборудования или установка системы непосредственно в скважину, все показатели оператор сможет увидеть на экране ноутбука, подключенного непосредственно к датчику. Массогабаритные показатели системы не требуют изменения существующей конструкции для добычи нефти с помощью УЭЦН.

Система включает в себя систему рычагов, воспринимающих момент вращения НКТ. Система рычагов передает вращающий момент от НКТ на магнитоупругие датчики усилий типа прессдуктор. Подавая напряжение на этот датчик, мы можем судить о величине сжимающего этот датчик усилия по значению выходного напряжения датчика. Для подачи напряжения на датчик служит электрическая сеть и блок питания, для снятия выходного напряжения служит цифровой мультиметр, который передает данные на компьютер. На компьютере, с помощью программного обеспечения, использующего математические исследования и расчёты, представленные в основной части работы, диспетчер сможет определить состояние НКТ.

В математических расчетах, решая систему дифференциальных уравнений для крутильных колебаний вала, при этом используя величину

момента вращения НКТ (которую мы находим по значению выходного напряжения датчика, поступающего в компьютер), определяется состояние НКТ.

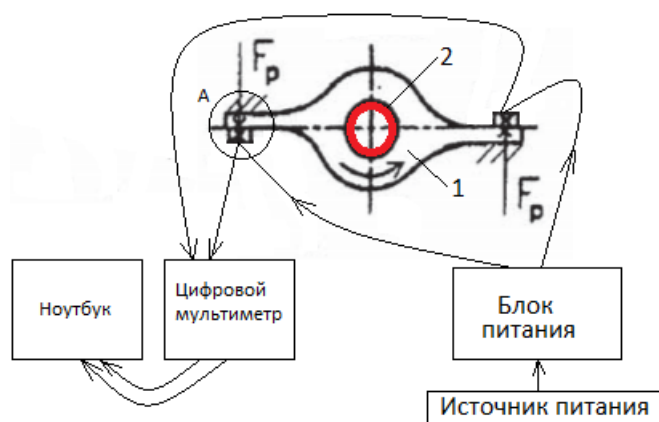


Рисунок 56 – схема устройства разрабатываемой системы, где 1 – система рычагов, 2 – НКТ

На рисунке 57 представлен укрупненный участок А рисунка 56.

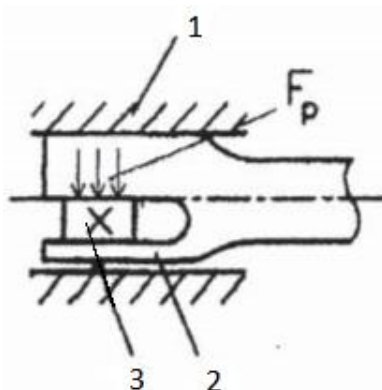


Рисунок 57 – укрупненный участок системы, где 1 – упор, 2 – система рычагов, 3 – магнитоупругий датчик усилий типа прессдуктор

В нефтегазовой промышленности существуют технологии видеоинспекции НКТ путем опускания камеры во внутреннюю полость труб с учетом остановки нефтедобычи. Эта система также дает возможность определения состояния НКТ, но конкурентным преимуществом нашей системы является определение состояния труб в режиме реального времени, что позволяет без остановки добычи нефти в любой момент времени иметь представление о состоянии НКТ. Минимальная цена оборудования для

телеинспекции составляет 250 тыс. руб, что значительно превышает стоимость нашего оборудования.

Также, существуют американские продукты, диагностирующие состояние НКТ. Такие системы требуют полного подъема НКТ, что соответственно не позволяет проводить диагностику в режиме реального времени. Стоимость данного оборудования составляет 300 тыс. рублей без учета доставки из США.

Исходя из вышесказанного можно сказать, что главными конкурентными преимуществами является низкая стоимость единицы продукции, отсутствие необходимости специализированной установки и обслуживания прибора и возможность диагностики НКТ в любой момент времени при добыче нефти.

7.8 Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта

Выход данной системы планируется только на Российский рынок, в частности, это участки нефтедобычи компаний в Западной Сибири, так как здесь самый большой процент использования УЭЦН, порядка 90%. Также, Западная Сибирь, является крупнейшей нефтегазовой провинцией нашей страны.

В частности, планируется работа с такими холдингами как ПАО «Сургутнефтегаз», так как данная компания заинтересована в повышении эффективности добычи нефти и ПАО «Газпром», в связи с тем, что эта организация является лидером по применению новых эффективных технологий в добыче нефти.

ПАО «Сургутнефтегаз» на 2019 год располагает примерно 20 050 единицами эксплуатируемых нефтяных скважин, оборудованных УЭЦН [14]. ПАО «Газпром» на 2019 год располагает 7467 единицами эксплуатируемых нефтяных скважин, оборудованных УЭЦН [15].

7.9 Бизнес-модели проекта. Производственный план и план продаж

Представим бизнес-модель проекта в форме модели А.Остервальдера и И.Пинье, приведенной в таблице 9.

Таблица 9 – Бизнес-модель проекта

Ключевые партнерские отношения <ul style="list-style-type: none"> НИ ТПУ 	Основные виды деятельности <ul style="list-style-type: none"> Производство и продажа оборудования 	Предложение <ul style="list-style-type: none"> Диагностирование состояние НКТ для предотвращения «полета» оборудования в скважину Установка системы на поверхности без подъема оборудования Относительная новизна продукта Низкая цена Простота эксплуатации Отсутствие необходимости специализированного обслуживания 		Отношения с клиентами <ul style="list-style-type: none"> Консультанты Сообщества: в нефтяных конференциях и форумах. 	Сегмент потребителей <ul style="list-style-type: none"> Нишевый рынок: нефтедобывающие компании России, имеющие на своем балансе скважины, оснащенные УЭЦН, в частности имеющие участки добычи в Западной Сибири и нацеленные на повышение эффективности
	Основные ресурсы <ul style="list-style-type: none"> Материальные Интеллектуальные Трудовые 			Каналы распространения <ul style="list-style-type: none"> Веб продажи. Участие в нефтяных выставках Магазины посредников 	
Структура издержек <ul style="list-style-type: none"> Материальные Оплата труда Отчисления в соц. нужды Прочее 				Денежные потоки (поступления) <ul style="list-style-type: none"> Продажа оборудования 	

ПАО «Сургутнефтегаз» в среднем вводит в эксплуатацию 1600 новых и отремонтированных нефтяных скважин в год, откуда примерное количество вводимых скважин, оснащенных УЭЦН в месяц – 190 единиц.

ПАО «Газпром» в среднем вводит в эксплуатацию 900 новых и отремонтированных нефтяных скважин в год, откуда примерное количество вводимых скважин, оснащенных УЭЦН в месяц – 68 единиц.

При условии работы только с этими компаниями, рассмотрим два варианта планов производства и продаж за год.

Для производства в первые месяцы выхода на рынок, примем начальные размеры первоначальных пробных партий 4 и 25 штук. Стоимость производства первоначальных партий, производимых за 1 месяц, составит 185160 (210160 с учетом разработки ПО) и 856950 тысяч рублей для 4 и 25 единиц соответственно. Основную партию составляет 50 единиц продукции.

Расчет первого варианта с большим спросом относительно второго варианта представлен в таблице 10. Первые 4 месяца закупаются пробные партии, после чего закупаются системы на 15% открываемых в месяц скважин, увеличивая этот процент каждые два месяца. В расчетах учтем подоходный налог 6%.

Таблица 10 – Расчет выручки и издержек за первый год в первом случае

Месяц	Процент скважин	Требуемое кол-во	Произведенное количество	Выручка	Издержки
1	-	2	4	112800	210160
2	-	2	4	112800	185160
3	-	9	15	507600	537050
4	-	9	15	507600	537050
5	10	18	15	1015200	537050
6	10	18	15	1015200	537050

Продолжение таблицы 10

7	15	28	50	1579200	1656700
8	15	28	50	1579200	1656700
9	25	48	50	2707200	1656700
10	25	48	50	2707200	1656700
11	35	66	50	3722400	1656700
12	35	66	50	3722400	1656700
Итого:	-	342	368	19288800	12483720

Срок окупаемости составляет 5 месяцев: Суммарная выручка за этот период составила 2256000 руб., а издержки 2006470 руб. Годовые вложения в данном случае составят 12483720 руб., при выручке, с учетом подоходного налога, 19288800 руб. Прибыль составит 6805080 руб., стоимость нераспроданной продукции к концу года составляет 1560000 руб. После примерно 9 месяцев производство принесёт доход, равный издержкам следующего месяца (партия 50 штук), что позволит бизнесу обеспечивать себя без дополнительных инвестиций. Денежные вложения за 9 месяцев составят 7513620 руб.

Рассмотрим второй случай с меньшим спросом на продукцию, результаты представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет выручки и издержек во втором случае

Месяц	Требуемое кол-во	Произведенное количество	Выручка	Издержки
1	2	4	112800	210160
2	2	4	112800	185160
3	4	4	225600	185160
4	4	4	225600	185160
5	8	4	451200	185160

Продолжение таблицы 11

6	8	4	451200	185160
7	10	4	564000	185160
8	10	4	564000	185160
9	15	15	846000	537050
10	15	15	846000	537050
11	30	50	1692000	1656700
12	50	50	2820000	1656700
Итого:	158	162	8911200	5893780

Срок окупаемости составляет 5 месяцев: Суммарная выручка за этот период составила 1128000 руб, а издержки 950800 руб. Годовые вложения в данном случае составят 5893780 рублей, при выручке, с учетом подоходного налога, 8911200 руб. Стоимость нераспроданной продукции к концу года составляет 240000 руб. После 6 месяцев производство принесёт доход, равный издержкам следующего месяца (партия 4 штук), что позволит бизнесу обеспечивать себя без дополнительных инвестиций (за исключением крайне малых вложений на 11 месяце). Денежные вложения за 6 месяцев составят 1135960 руб.

7.10 Стратегия продвижения продукта на рынок

Продвижение продукта можно разделить на два основных этапа:

- Продвижение продукта на рынке до изготовления/поставок самого продукта

1. Создание и распространение наглядной информации (буклеты, презентации, видео) об эффективности предлагаемой продукции с помощью интернет сайта, социальных сетей, а также с помощью интернет рекламы.

2. Презентация продукта на конференциях, форумах, выставках по подходящей тематике (Восточный нефтегазовый форум 2020, Владивосток; Нефть и газ 2020, Сургут, Тюменский нефтегазовый форум 2020, Нефть и газ. Топливо-энергетический комплекс 2020, Тюмень; Нефть. Газ. Химия 2020, Ижевск; РОС-ГАЗ-ЭКСПО 2020, Спб, и т.д.)

3. Поиск заинтересованных покупателей посредством прямого предложения продукта компаниям

4. Предоставление скидок за оформление договоров на покупку до выхода продукта на рынок

5. Проведение предпродажных тестов оборудования на реальных участках компаний

- Улучшение положения на рынке выпускаемого продукта

1. Использование услуг маркетинговых агентств с выделением минимум 20% прибыли

2. Предоставление скидок за оформление покупки определенного числа продукции

3. Исследование и анализ рынка

Раздел 8 Социальная ответственность

Введение

Объектом исследования в данной работе является система диагностики колебаний насосно-компрессорных труб в составе устройства электроцентробежного насоса (УЭЦН). В данной части будут рассматриваться условия сохранения экологической безопасности и требуемых условий труда при использовании как самой разрабатываемой системы, так и УЭЦН, в соответствии с нормативными документами.

Так как область применения системы связана с добычей нефти, раздел социальной ответственности в данной работе имеет большую актуальность.

Нефтяные добывающие компании, потенциальные пользователи разрабатываемого продукта, в связи со спецификой своей работы, имеют высокий стандарт безопасности для всех применяемых приборов, систем и оборудования, что еще раз доказывает актуальность социальной направленности в работе.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовое право – вид социальных правил, система социально-трудовых норм, установленных государством или работодателем и являющихся регулятором социально-трудовых отношений. Основными документами, на которые опирается трудовое право, является Конституция Российской Федерации, трудовой кодекс, а также применительно к специфике данной ВКР – правила устройства электроустановок.

Работа по добыче нефти, непосредственно с нефтяными скважинами, к тому же предусматривающая работу с электрооборудованием, может быть отнесена к опасной работе, имеющей вредные факторы.

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере.

Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда. [16, ст.147]

Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск предоставляется работникам, условия труда на рабочих местах которых, по результатам специальной оценки, условий труда отнесены к вредным условиям труда 2, 3 или 4 степени либо опасным условиям труда.

Минимальная продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска работникам, составляет 7 календарных дней. [16, ст.117]

Работодатель, осуществляющий наем работников на опасные и вредные работы обязан обеспечить:

1. Безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов;

2. Применение прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке средств индивидуальной и коллективной защиты работников;

3. Соответствующие требованиям охраны труда условия труда на каждом рабочем месте;

4. Режим труда и отдыха работников в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права;

5. Приобретение и выдачу за счет собственных средств специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, смывающих и обезвреживающих средств, прошедших обязательную

сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке, в соответствии с установленными нормами работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением;

6. Обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, проведение инструктажа по охране труда, стажировки на рабочем месте и проверки знания требований охраны труда; [16, ст.212]

Государственный надзор за соблюдением требований по безопасному ведению работ на опасных производственных объектах осуществляется уполномоченными федеральными органами исполнительной власти при осуществлении ими федерального государственного надзора в области промышленной безопасности. [16, ст.366]

8.2 Производственная безопасность

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека. Основные возможные опасные и вредные факторы, которые могут воздействовать работника при эксплуатации проектируемого решения, приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные Документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1. Повышенное содержание паров нефти и газа в воздухе			+	ГОСТ 12.1.005-88
2. Работы с электрическим током		+	+	ПУЭ; ГОСТ Р 12.1.019-2009
3. Работы в условиях низкой температуры			+	ГОСТ 12.1.005-88
4. Нервно-психические перегрузки		+	+	МР 2.2.9.2311-07
5. Работы при повышенном уровне шума			+	ГОСТ 12.1.003-83
6. Умственное перенапряжение	+			ГОСТ Р ИСО 10075-3-2009; МР 2.2.9.2311-07

8.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

1. Повышенное содержание паров нефти и газа в воздухе

Пары нефти и газа появляются в воздухе соответственно из-за добычи и последующей транспортировке по технологическому процессу этих полезных ископаемых. Попадание большого количества данных веществ в организм человека вызывает токсическое отравление. Согласно источнику [17] содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции, для контроля за

качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих.

В качестве средств индивидуальной защиты могут быть использованы респираторы.

2. Работы с электрическим током

Система УЭЦН имеет множество токоведущих частей. Электрический ток, при прохождении через тело человека может вызывать ожоги в местах прикосновения к токоведущим частям, поражение внутренних органов, остановку сердца.

Оценка условий труда, проведение медосмотров, получение групп допуска по электробезопасности, соблюдение техники безопасности, знание правил технической эксплуатации используемого оборудования, умение оказывать первую помощь пострадавшему, применение средств индивидуальной защиты снижает вероятность поражения электрическим током.

3. Работы в условиях низкой температуры

Все нефтяные скважины расположены на открытом воздухе, а их обслуживание проводится и в зимнее время года. Долгая работа на холоде без соблюдения требований охраны труда опасна обморожениями. Привлечение работников к выполнению трудовых обязанностей в холодное время на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях должно сопровождаться перерывами для обогрева и отдыха, которые включаются в рабочее время (не относятся к обеденному перерыву) и подлежат оплате [16, ст.109].

Температура воздуха в местах обогрева должна поддерживаться в диапазоне 21–25°C, данные помещения также следует оборудовать устройствами для обогрева кистей и стоп с температурой 35–40°C.

Допустимое время пребывания на холоде и минимальное количество 10 минутных перерывов за 4 часа работы определяется в соответствии с методическими рекомендациями источника [18].

4. Нервно-психические перегрузки

Нервно-психические перегрузки связаны с большим объемом выполняемых работ, а также с ответственностью, возлагаемой на работника. Такие перегрузки опасны нестабильным психологическим состоянием, снижением работоспособности и т.д. Нервно-психические перегрузки должны быть на том уровне, на котором они не снижают работоспособность и не имеют отрицательных последствий для человека. Следуя медицинским рекомендациям, а также организовывая периодические проверки психологического состояния работника, можно избежать перегрузок в данной области.

5. Работы при повышенном уровне шума

Шум сопровождает как монтаж установки, так и непосредственную ее работу. Повышенная шумность грозит повреждением слуховых органов, головными болями и т.д. Нормативным документом, регламентирующим уровни шума для различных категорий рабочих мест служебных помещений, является ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности», согласно которому, допустимые уровни звукового давления следует принимать, как в таблице 13 [19].

Таблица 13– Допустимые уровни звукового давления

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

7. Умственное перенапряжение

Умственное перенапряжение при разработке продукта является следствием большого количества вычислений, сложных логических и математических задач, большим количеством информации. Перенапряжение опасно головными болями, нестабильным психологическим состоянием и т.д. В соответствии со стандартами серии ИСО 10075 различные аспекты умственной нагрузки следует рассматривать по отдельности: стресс, умственное напряжение и его последствия. Так, умственное напряжение на работе должно быть на том уровне, на котором оно не снижает работоспособность и не имеет отрицательных последствий для человека. Следуя медицинским рекомендациям, а также организовывая периодические проверки психологического состояния работника, можно избежать перенапряжения в данной области.

8.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

1. Повышенное содержание паров нефти и газа в воздухе

Избежать попадания паров нефти и газа в дыхательные пути человека можно как индивидуальными средствами защиты, такими как (респираторы, противогазы, маски), так и обеспечением лучшей герметичности нефтяной скважины и путей прохождения нефти и посредством использования средств удаления токсичных веществ.

2. Работы с электрическим током

К индивидуальным средствам защиты от поражения электрическим током относят: диэлектрические перчатки, ботинки, галоши, коврики, колпака, изолирующие штанги, клещи, указатели напряжения

К коллективным средствам защиты от поражения электрическим током относят защитные ограждения; заземления, зануления, предупредительные, автоматические выключатели.

3. Работы в условиях низкой температуры

Для предотвращения негативных последствий от работы при низкой температуре, каждому работнику следует использовать специальный утепленный комплект одежды, а также соблюдать установленные перерывы в теплых помещениях.

4. Нервно-психические перегрузки и умственное перенапряжение

К средствам защиты от данных вредных факторов можно отнести лишь соблюдение установленного режима работы, соблюдение медицинских рекомендаций по снижению уровня влияния таких нагрузок на организм, а также проведение обследований по выявлению нервных перегрузок у работников, с применением необходимых мер.

6. Работы при повышенном уровне шума

К индивидуальным средствам защиты от повышенного шума относят специальные шумоподавляющие наушники. К коллективным средствам защиты относят отражающие экраны, применение звукоподавляющих материалов, устранение источника шума или снижение его уровня.

8.3 Экологическая безопасность

При добыче нефти происходит загрязнение атмосферы, поверхностных водотоков, подземных вод, недр.

Защита селитебной зоны: зачастую, нефтедобывающие объекты располагаются на значительном удалении от населенных пунктов. При нефтедобыче основные вредные факторы влияют на водные ресурсы. Поэтому рекомендуется обеспечить санитарно-защитную зону в районе от 1 км.

Защита атмосферы: охрана воздушной среды в нефтяной промышленности проводится, главным образом, в направлении борьбы с потерями нефти за счет уменьшения испарения ее при сборе, транспортировке, подготовке и хранении. Попадание нефтяных паров и сопутствующего газа в атмосферу способствует повышению в ней содержания углекислого газа. Эта проблема в данный момент является широко распространенной. При эксплуатации УЭЦН, для уменьшения испарения при перекачке нефти насосом, проектируются герметизированные системы сбора нефти и антикоррозионные наружные и внутренние покрытия насоса (УЭЦН) и емкостей, устанавливаются непримерзающие клапаны, расширяется применение резервуаров с понтонами или плавающими крышами и другие технические решения.

Защита гидросферы: среди загрязнителей водных объектов одно из первых мест занимает нефтегазодобывающая промышленность. Многие химические реагенты, используемые в нефтедобыче, а также сами нефтепродукты при их разливе, при попадании в природные воды оказывают отрицательное влияние на их физико-химический состав, самоочищающую

способность, а также могут оказывать токсическое воздействие на живой организм, в том числе и на человека. Для предотвращения данных видов загрязнения, следует соблюдать все правила работы для недопущения разлива нефти, а также искать решения по использованию экологически безопасных химических реагентов при нефтедобыче. Также, следует продолжать разрабатывать эффективность восстановления водных объектов, загрязнённых после прекращения нефтедобычи.

Защита литосферы: среди загрязнителей почвогрунтовых недр нефтегазодобывающая промышленность также занимает одно из первых мест. Попадание нефти в почву, поверхностные грунты, приводит к разрушению их структур, снижению водопроницаемости, ухудшает корневое питание растений, снижает количество микроорганизмов в почве, способствует образованию в ней углекислого газа. Для защиты литосферы от загрязнения нефтепродуктами, следует соблюдать все правила работы для недопущения разлива нефти, а также искать решения по использованию более экологически безопасных для литосферы способов добычи нефти. Также, следует продолжать разрабатывать эффективность восстановления почвы и грунтов, загрязнённых после прекращения нефтедобычи.

В ходе эксплуатации электрических машин, отходы требуют специальных методов утилизации. К данным методам можно отнести следующие [20]:

- Отделение металлических частей от неметаллических;
- Металлические части переплавляются для последующего использования;
- Неметаллические части подвергаются специальной переработке.

Утилизация электрических машин включает в себя такие работы, как погрузка, транспортировка, разгрузка, складирование, демонтаж и переработка на специализированных полигонах для централизованного сбора и захоронения.

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

8.4.1 Анализ вероятных ЧС

На месте эксплуатации УЭЦН можно спрогнозировать виды ЧС.

Природного характера:

1. Сильные морозы (ниже – 40 С°).
2. Снежные заносы.

Техногенного характера:

1. Пожары.
2. Отключение электроэнергии.
3. Взрывы.
4. Разливы нефти.
5. Короткое замыкание оборудования.

Специфической особенностью большинства объектов нефтегазовой промышленности является наличие значительного объема нефти и газа, что обуславливает возникновение аварий, пожаров, взрывов, затоплений, опасного поражения местности и атмосферы сильнодействующими ядовитыми веществами.

Также на производствах могут возникать чрезвычайные ситуации биолого-социального характера, такие как инфекционная заболеваемость людей.

8.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Примем наиболее вероятным видом ЧС – пожар. Источником возникновения данного вида ЧС на местах нефтедобычи может послужить неисправность основного производственного электрооборудования и его неправильная эксплуатация. Повреждение электрических кабелей, несоблюдение работниками правил пожарной (курение, разведение костров и

выжигание травы) безопасности, небезопасное использование и хранение горючих и взрывоопасных материалов и предметов, их содержащих, неправильное использование обогревающего и отогревающего оборудования, а также природные факторы (стихийные пожары, молнии).

К превентивным мерам можно отнести разработку требований пожарной безопасности, обучение им всего персонала, периодическая проверка знаний, контроль за соблюдением правил персоналом. Правильное в пожаробезопасном плане оборудование мест нефтедобычи и недопущение использования неисправного электрического и другого оборудования, а также использование средств электрической защиты (зануление, заземление, автоматические выключатели).

При авариях на нефтедобывающих объектах необходимо:

1. Вызвать на место аварии пожарную часть, сообщить в скорую медицинскую помощь и инспекцию Госгортехнадзора; вызвать при выбросах и открытом фонтанировании скважины военизированный отряд по предупреждению возникновения и по ликвидации открытых газовых и нефтяных фонтанов [21].

2. Подготовить к действию средства пожаротушения; прекратить на месте аварии и смежных участках работы; удалить из опасной зоны всех рабочих, не занятых аварийными работами; доступ лиц к месту аварии должен производиться только с разрешения ответственного руководителя работ по ликвидации аварий.

3. Принять меры к локализации и ликвидации аварии с применением средств защиты и искробезопасных инструментов; удалить по возможности ЛВЖ и ГЖ из емкостей и аппаратов, расположенных в зоне аварийного режима, понизить давление в технологических аппаратах;

4. Принять меры к обеспечению бесперебойного водоснабжения для целей тушения пожара;

5. Аварийное положение может быть отменено после ликвидации аварии, тщательного обследования технологического состояния оборудования и коммуникации на месте аварии, анализов на отсутствие взрывоопасных концентраций горючих газов и паров.

6. Порядок совместных действий технического персонала предприятия, пожарной охраны и военизированного отряда по предупреждению и ликвидации открытых газовых и нефтяных фонтанов при ликвидации аварий определяется Инструкцией по организации и безопасному ведению работ при ликвидации открытых газовых и нефтяных фонтанов.

Выводы по разделу

Нефтедобывающие работы, использующие промышленное электрооборудование, относятся к категории опасных работ, способных оказывать вредное влияние как на работников, так и на окружающую среду. Исходя из этого, рассмотрев все опасное и вредное влияние, можно сделать вывод об актуальности данного раздела в рамках данной ВКР.

Основываясь на результатах раздела «Социальная ответственность», можно снизить опасные и вредные факторы, а в отдельных случаях уменьшить вероятность несчастных случаев на объекте и организовать работу при ЧС.

Заключение

В выпускной квалификационной работе решены поставленные задачи, направленные на достижение цели по расчету и проектированию электропривода погружного насоса в составе установки электроцентробежного насоса с исследованием крутильных колебаний насосно-компрессорной трубы.

В результате проведенных исследований выполнено:

1. Изучен технологический процесс и основные проблемы при механизированной добыче нефтяных скважин, осуществляемой установкой электроцентробежного насоса, в составе которой функционирует погружной электродвигатель, служащий для привода насоса и насосно-компрессорная труба, колонна которой служит основой для оборудования погружной части установки.

2. Выполнен обзор условий работы критически важного элемента погружной части установки электроцентробежного насоса – насосно-компрессорной трубы. Анализ факторов, которые приводят к ее разрушению, тем самым повышают риск аварийной ситуации и падения оборудования в нефтедобывающую скважину, показал основные технологические проблемы, которые могут выявляться фиксированием крутильных колебаний вала, происходящих вследствие вращения ПЭД, что позволит оценивать состояние НКТ.

3. В работе выполнен расчет и выбор силового оборудования системы электропривода установки электроцентробежного насоса. На основе параметров напора, дебита и плотности нефти, а также других принятых исходных данных скважины (ПАО «Сургутнефтегаз») произведен выбор и обоснование характеристик погружного асинхронного электродвигателя марки Franklin Electric с номинальной мощностью 75 кВт. Для силовой части электропривода произведен расчет и выбор медного кабеля КПвОппБП-120 с определением

потерь линейного напряжения в кабеле в 330 В. Номинальная длина кабеля 2600м, масса – 4295 кг, допустимый ток – 169 А (при температуре среды 50 °С) и номинальное рабочее напряжение – 3300 В.

4. Выполнено проектирование каналов измерения основных технологических параметров. Для отслеживания температуры ПЭД, температуры и давления пластовой жидкости, уровня вибрации ПЭД по двум осям, сопротивления изоляции ПЭД и погружного кабеля выбран блок погружной телеметрии «Эталон-ТМС».

5. В работе произведен подбор наземного оборудования УЭЦН.

– в соответствии с мощностью ПЭД рассчитана мощность промышленного трансформатора с выбором и обоснованием типа ТМПН-125/3- УХЛ1 с номинальным напряжением 1540 В и 36 ступенями регулирования. С учетом требований к промышленным трансформаторам нефтедобывающих скважин, данный тип сохраняет возможность необходимого диапазона регулирования напряжения;

– для системы регулируемого привода выбран преобразователь частоты Danfoss vlt automationdrive fc 301 P75K НО, рассчитанный на мощность двигателя 75 кВт и имеющий выходной ток 147 А;

– для управления работой электропривода УЭЦН выбран скалярный способ регулирования с законом $\frac{U}{f^2} = const$, обеспечивающий нормальный режим работы ПЭД при насосной нагрузке.

6. В работе произведен расчет статических характеристики ПЭД. Определены параметры Т образной схемы замещения ПЭД, выполнен расчет и построение естественных механических и электромеханических характеристик АД и искусственных характеристик при частотном управлении АД с использованием инструментальных средств и функции интерполяции среды MathCAD. Расчет статической нагрузки электропривода с построением графиков момента нагрузки и механической характеристики ПЭД показал, что

электродвигатель при заданном моменте сопротивления обеспечивает нормальный режим работы и запас перегрузки по моменту.

7. В работе произведен расчет и построение динамических характеристик электропривода. Выполнено моделирование асинхронного двигателя с помощью программы MATLAB Simulink.

- построена имитационная модель для прямого пуска АД без нагрузки с расчетом и построением переходных характеристик скорости и момента, а также динамической характеристики при прямом пуске АД без нагрузки;

- построена имитационная модель для запуска АД напрямую от сети с набросом нагрузки с расчетом и построением переходных характеристик скорости и момента, а также динамической характеристики при прямом пуске АД с набросом нагрузки;

- построена имитационная модель для запуска АД напрямую от сети с насосной нагрузкой с расчетом и построением переходных характеристик скорости и момента, а также динамической характеристики при прямом пуске АД при насосной нагрузке;

- построена имитационная модель для запуска АД без нагрузки с ПЧ, задатчиком интенсивности и IR-компенсацией с расчетом и построением переходных характеристик скорости и момента, а также динамической характеристики при прямом пуске АД с ПЧ без нагрузки;

- построена имитационная модель для запуска АД с набросом нагрузки с ПЧ, задатчиком интенсивности и IR-компенсацией с расчетом и построением переходных характеристик скорости и момента, а также динамической характеристики при прямом пуске АД с ПЧ при набросе нагрузки;

- построена имитационная модель для запуска АД с насосной нагрузкой с ПЧ, задатчиком интенсивности и IR-компенсацией и построением с расчетом и построением переходных характеристик скорости и момента, а также динамической характеристики при прямом пуске АД с ПЧ при насосной нагрузке.

В результате имитационных исследований были установлены правильность работы электропривода и приведенных в работе расчетов.

8. В составе работы выполнен один из этапов математического моделирования по разработке системы диагностики НКТ в режиме реального времени. Этап включает исследование крутильных колебаний вала насосно-компрессорной трубы в составе УЭЦН. Исследование выполнено на проведении математических расчетов и моделировании крутильных колебаний НКТ. Представлено решение прямой задачи распределения углов при крутильных колебаниях вала при известном краевом воздействии момента на вал. В решении учтен значительный вес совокупности всего оборудования, включая ПЭД, находящегося на незакрепленном нижнем конце НКТ. Сформированы начальные и краевые условия, которым должна удовлетворять функция, полученная в ходе решения сформированного дифференциального уравнения. Результаты решения прямой задачи представлены стадиями положения угла в различные моменты времени, полученные в среде MathCad. Результаты моделирования крутильных колебаний вала выполнены в среде Comsol, в результате чего были получены графики распределения углов и моментов по длине вала во времени.

9. В работе представлена постановка обратной задачи, решение которой достаточно трудоемко и громоздко, требует проведения большого объема математических преобразований, что выходит за рамки выпускной квалификационной работы и откладывает ее выполнение на этап магистерского диссертационного исследования.

10. В работе предложена концепция работы предлагаемого к разработке технического устройства, которое позволит осуществлять мониторинг необходимых параметров НКТ (упругость, эластичность, защемление), а соответственно определять возможное скорое разрушение вала трубы вследствие ее истирания, усталостных разрушений и т.д.

Измеряя момент кручения трубы у ее основания на поверхности, используя математические расчеты, появляется возможность получить показатели, которые смогут дать информацию о наличии мест коррозии, истончения или других дефектов.

11. В седьмом разделе работы представлена концепция стартап проекта по разработке предлагаемого устройства диагностики, где предоставлены анализ перспективности такого устройства на рынке, экономическая эффективность и план производства и продаж, исходя из чего можно сделать вывод о возможности производства такого устройства.

12. В разделе социальной ответственности, основываясь на нормативных документах, приведены все опасные и вредные факторы связанные с тематикой работы, а также предложены варианты сокращения негативных воздействий как на работников, так и на окружающую среду.

Список литературы

1. Классификатор. Виды повреждений насосно-компрессорных труб при эксплуатации. – Самара: НИИ РиЭНТ, 2016. – 28 с.
2. Каталог ПЭД Franklin Electric [Электронный ресурс] – режим доступа к сайту: <http://www.pea.ru/docs/equipment/pumps/franklin-electric/>, свободный.
3. Каталог кабелей для нефтепогружных насосов [Электронный ресурс] – режим доступа к сайту: <https://www.rosskat.ru/products/neftyanoy-kabel/kpvppbp-120/>, свободный.
4. Каталог телеметрии для ПЭД [Электронный ресурс] – режим доступа к сайту: <https://www.irz.ru/products/3/18.html>, свободный.
5. Каталог силовых масляных трансформаторов [Электронный ресурс] - <https://www.rosskat.ru/products/neftyanoy-kabel/kpvppbp-120/>, свободный.
6. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов - Часть 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод. – 2-е издание, переработанное дополненное. Томск: изд. центр. Томского Политехнического Университета, 2015. -646 с.
7. Каталог преобразователей частоты Danfoss [Электронный ресурс] – режим доступа к сайту: https://drives.ru/userfiles/instrukciya_po_ehkspluatacii_chastotnogo_preobrazovatelya_danfoss.pdf, свободный.
8. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод – 2-е издание. – Москва: изд. Юрайт, 2017. -223 с.
9. Москаленко В.В. Электрический привод – учебник для студентов высш. уч. Заведений. – Москва: изд. «Инфра М» 2015 год. – 368 с.
10. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод переменного тока– Томск: изд. центр. Томского Политехнического Университета, 2011. -213 с.

11. «Neftegaz.RU» [Электронный ресурс]: журн. сайт – режим доступа к сайту: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/nefteservis/504501-ekspertnyy-podkhod-k-mekhanizirovannoy-dobyche/>, свободный.
12. «Все о нефти» [Электронный ресурс]: науч. сайт – режим доступа к сайту: <https://vseonefti.ru/neft/global-oil-2019.html>, свободный.
13. «Газпром нефть» [Электронный ресурс]: журн. сайт – режим доступа к сайту: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2015-november-projects/1109736/>, свободный.
14. Годовой отчет ПАО «Сургутнефтегаз» за 2018 год. – Сургут: ПАО «Сургутнефтегаз», 2019. – 49 с.
15. Справочник «Газпром в цифрах 2014-2018 год» - Санкт Петербург: ПАО «Газпром», 2019 – 100 с.
16. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 16.12.2019).
17. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
18. МР 2.2.7.2129-06 «Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях»
19. ГОСТ 12.1.003–83 Система стандартов безопасности труда. Шум – общие требования безопасности.
20. ГОСТ Р ИСО 1410-2010 Оценка жизненного цикла продукта.
21. ППБО-85 Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности.
22. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
23. Правила устройства электроустановок. – 6 и 7-е изд. – Новосибирск: Норматика, 2014. –464 с.
24. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

25. МР 2.2.9.2311-07 Методические рекомендации. Состояние здоровья работающих в связи с состоянием производственной среды.

26. ПОТ Р М-004-97 Межотраслевые правила по охране труда при использовании химических веществ.

27. ГОСТ Р ИСО 10075-3-2009 Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки.