

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод погружного насоса

УДК 62-83-523:661.671

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Романов Сергей Константинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф Сергей Владимирович	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук, доцент		

Томск – 2017 г.

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) Ю.Н. Дементьев
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Романову Сергею Константиновичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод погружного насоса	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1655/с от 09.03.2017г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик, Исследование имитационной модели асинхронного электропривода погружного насоса, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	Схема электрическая принципиальная;

	Схема электрическая функциональная; Схема электрическая структурная; Имитационная модель ПЭД; Демонстрационный лист; Техничко-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.03.2017г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф Сергей Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Романов Сергей Константинович		

РЕФЕРАТ

ПОГРУЖНОЙ НАСОС ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ, АСИНХРОННЫЙ ПОГРУЖНОЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, ИММИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.

Объектом исследования является частотно регулируемый асинхронный электропривод насоса погружного.

Цель работы – проектирование регулируемого электропривода переменного тока для насоса погружного центробежного.

При проектировании в процессе работы произвели расчёт, а затем выбрали электрооборудование для электропривода насоса.

Выбран скалярный способ управления асинхронным двигателем насоса

В процессе проектирования проведены исследования в области динамики и статики системы с использованием численных методов и с помощью ЭВМ.

Рассмотрены вопросы по обеспечению безопасности при работе с электрооборудованием.

Рассчитана стоимость работ по пуско-наладке, также произведен расчет экономии электроэнергии.

Выпускная квалификационная работа выполнена с использованием в текстовом редакторе Microsoft Office Word на листах белой бумаги формата А4 имитационное моделирование осуществлялось с помощью программных продуктов Matlab 2014b.

Содержание.

Технические требования	7
Введение	8
1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ И КОНСТРУКЦИЙ	19
1.1. Краткая характеристика скважин	19
1.2 Состав и комплектность установки электропривода центробежного насоса	19
2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	21
2.1. Определение параметров погружного насоса	21
2.2. Выбор двигателя	21
2.3. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным	22
2.4. Расчет и построение электромеханических характеристик	27
2.5. Расчет и построение механической характеристики	29
2.6 выбор преобразователя частоты	31
2.7 Математическое описание обобщенной машины	36
3 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	42
3.1 Математическое описание погружного асинхронного двигателя	42
3.2 Анализ асинхронного погружного электродвигателя в неподвижной системе координат	47
3.3 Анализ ПЭД в неподвижной системе координат	49
3.4. Анализ ПЭД во вращающейся системе координат	51
4. РАСЧЕТ И ВЫБОР КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ УЭЦН	55
4.1. Схема замещения кабельной линии	55
4.2. Расчет параметров схемы замещения	57
5. ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ПИТАНИЯ ПОГРУЖНОГО НАСОСА	59

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	60
6.. Социальная ответственность,	62
6.1. Производственная санитария,	64
6.2. Пожарная безопасность.	70
6.3. Охрана окружающей среды	71
6.4. Защита при ЧС	72
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖ- МЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕ- РЕЖЕНИЕ»	73
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ	75
7.1 Потенциальные потребители проекта.	75
7.2 Выбор и обоснование структурной схемы ЭП	76
7.3 Планирование проектных работ	81
7.4 Бюджет проектной работы	86
7.5 Определение экономической эффективности проекта	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	96
ПРИЛОЖЕНИЯ А	99

Технические требования

Для погружного центробежного насоса спроектировать регулируемый электропривод переменного тока.

Погружной центробежный насос предназначен для откачки пластовой жидкости из газовых скважин.

1. Должен обеспечивать стабильную скорость при диапазоне регулирования $D = 1:2$;
2. Время разгона $t = 1\text{с}$;
3. Погрешность скорости при изменении нагрузки не более 10%;
4. Напряжение питающей сети 0,4 кВ частота сети 50 Гц;
5. Электропривод должен иметь следующие виды защит;
 - От токов короткого замыкания;
 - От токов перегрузки;
 - От перенапряжений;

Введение

Создание бесштанговых насосов в нашей государстве стартовала уже вплоть до революции. Если А.С. Артюнов совместно с В.К. Барабашим создали нефтяной аппарат, в коем электроцентробежный вакуумнасос доводился в работу погружным электродвигателем. Русские инженеры, включая с 20-х лет, делали отличное предложение исследование поршеньковых насосов с поршеньковым пневматическим мотором. Один с 1-ый подобные насосы создал М.И. Марцишевский.

Разработка глубинного насоса с пневмодвигателем существовала продолжена в Азинмаше В.И. Документовым. глубинные центробежные насосы с электроприводом разрабатывались в довоенный промежуток А.А.Богдановым, А.В. Крыловым, Л.И. Автоштурман. Индустриальные примеры центробежных насосов с электроприводом находились изобретены в специальном конструкторском сервис-бюро согласно бесштанговым насосам. Данная учреждение проводит всегда деятельность согласно глубинным бесштанговым насосам, в этом части и согласно спиральным, диафрагмовым и др.

Нефтегазодобывающая индустрия с изобретением новых месторождений имела необходимость в насосах с целью отбора с скважины немалого числа воды. Безусловно, что же более разумен пятилопастный брандспойт, подходящий с целью крупных подач. С лопаточных насосов приобрели популяризация насосы с работниками колесами центробежного вида, потому как они предоставляли высокий давление рядом установленных подачах воды и габаритах насоса. Обширное использование глубинных центробежных насосов с электроприводом обуславливается многочисленными условиями. Рядом крупных отборах воды с скважины конструкции ЭЦН более экономные и минимально сложны рядом обслуживании, согласно сопоставлению с компрессионной добычей и восхождением воды насосами прочих видов. Рядом крупных подачах энерго расходы в устройство касательно не слишком велики. Услуги конструкций ЭЦН попросту, таким (образом равно как в плоскости

располагаются только лишь устройство управления и преобразователь, никак не призывающие непрерывного обслуживания.

Установка оснащения ЭЦН элементарно, таким (образом равно как устройство управления и преобразователь никак не имеют необходимость в приборе оснований. Данные 2 участка конструкции ЭЦН располагают как правило в простом помещении гаражного типа.

Глубинные насосы

По принципу перекачивания воды глубинные насосы принадлежат к команде многостадийных отвесных насосов.

Установка глубинных насосов в цилиндрических колодцах и бурильных скважинах определяет характерные черты их установки. Данные насосы обязаны обладать наименьшие поперечные объемы, а их наружная модель обязана отвечать фигуре выпуклых обсадных труб, изнутри каковых их определяют. Глубинные насосы выделяют 2-ух видов: насосы с трансмиссионным массой и погружные насосы.

Погружной брандспойт предполагает собою аппарат, складывающийся с центробежного многостадийного насоса и погружного электродвигателя с строгим сочетанием их валов. Подобным способом, исключается потребность в долгом трансмиссионном вале.

Насосный аппарат подвешивают в скважине в колонне водоподъемных труб и спускают в водичку в подобную глубину, Для того чтобы высший контрфланец дроссельной коробки был пониже динамического степени в скважине никак не меньше Нежели в 1,5 м. Дно электродвигателя обязано быть больше фильтра скважины никак не меньше Нежели в 1 м.

С целью забора вода с артезианских скважин в РФ используют погружные насосы 8 видов: ЭЦВ, АПТ, АП, АПВ, АПВМ, АЭНП, ЭНП,. В наше время период насосы АПТ, АП, АПВ, АПВМ, ЭНП прекращают производитъа и сменяются насосами ЭЦВ.

Погружные электронасосы с целью вода ЭЦВ издаются в согласовании с СТАНДАРТ 10428—79, что учитывает их производство больше СТО типоразмеров с целью скважин поперечником 100—500 миллиметров, с подачей вода 0,63—1200 м³/ч, давлением 12—1680 м, с совокупной минерализацией никак не более 1500 мг/л (засохший часть), рН = 6,5-^9,5 , с температурой вплоть до 25° Это вхождением хлоридов ие более 350 мг/л, сульфидов никак не более 500 мг/л, сероводорода никак не более 1,5 мг/л.

На рисунке 1 показан ПЭД.

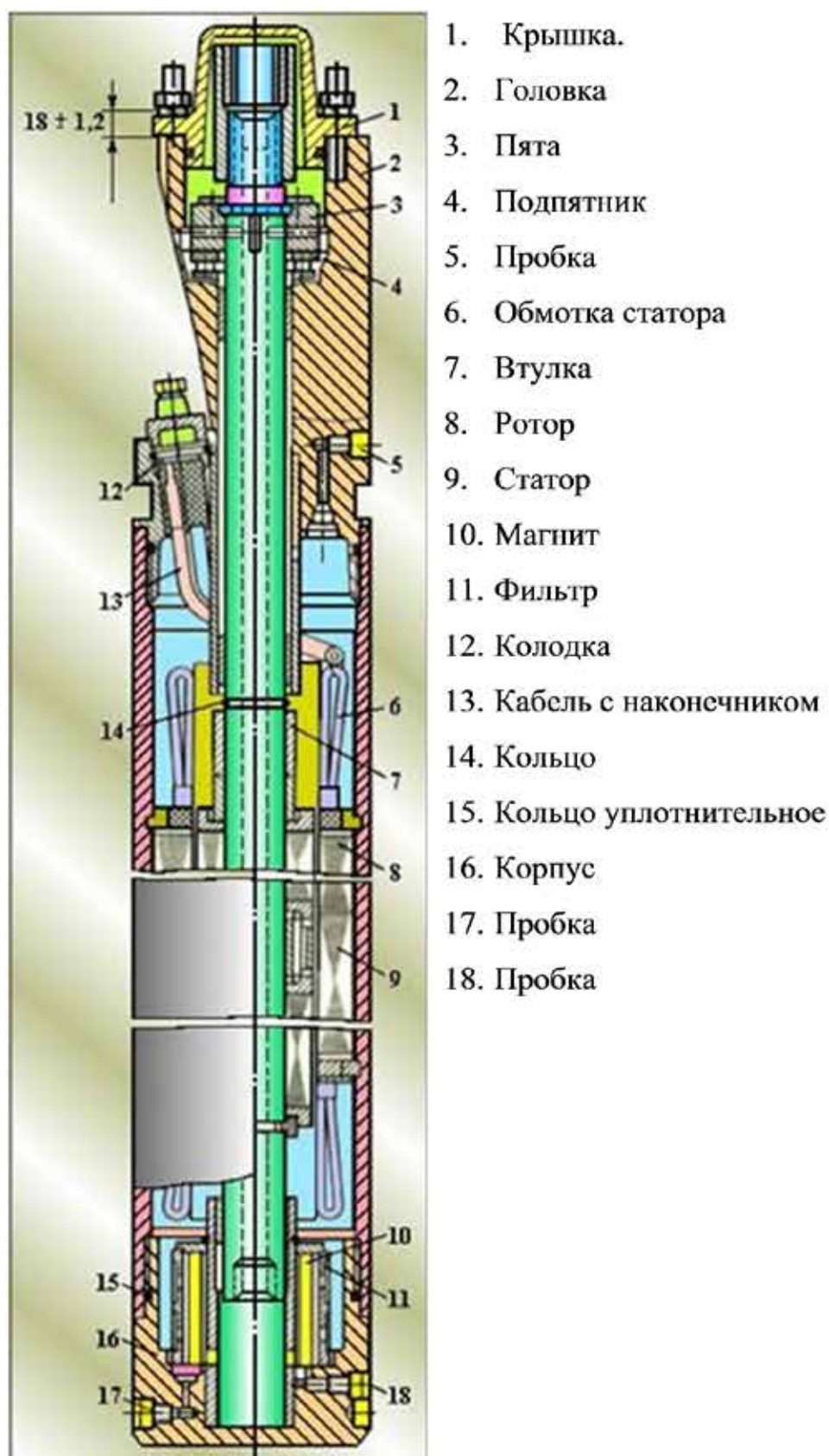


Рисунок 1-Погружной электродвигатель

Погружные моторы заключаются с электродвигателя и гидрозащиты. Моторы трехфазные асинхронные короткозамкнутые двухполюсные погружные унифицированной серии ПЭД в обычном и коррозиестойчивом исполнениях, климатизационного выполнения В, группы размещения 5 функционируют с сети переменного тока частотой 50 Гц и применяются в свойстве привода погружных центробежных насосов в модульном выполнении с целью откачки пластовый воды с штанговых скважин.

Моторы нужны с целью деятельность в окружению пластовый воды (состав нефти и нефтяной вода в разных масштабах) с температурой вплоть до 110 °С, включающей: машинные примеси с сравнительной твердостью частей никак не более 5 баллов согласно шкале Мооса - никак не более 0,5 г/л; газ: с целью обычного осуществления - никак не более 0,01 г/л; с целью коррозиестойчивого выполнения - никак не более 1,25 г/л; независимый голубое топливо (согласно размеру) - никак не более 50%. Гидростатическое сила в области деятельность мотора никак не более 20 МПа. Возможные отличия с нарицательных смыслов питающей узлы: согласно усилию - с недостаток 5% ВПЛОТЬ ДО преимущество 10%; согласно частоте переменного тока - $\pm 0,2$ Гц; согласно току - никак не больше нарицательного в абсолютно всех системах деятельность, в том числе заключение скважины в порядок. В шифре мотора ПЭДУСК-22-103ДВ5 ТУ ВОР 16-652.029 - 86 установлены последующие обозначения: ПЭДУ - погруженный двигатель стандартизированный; С - трехсекционный (недостаток азы - несекционный); К - некорродирующий (недостаток азы - обычное); 22 - производительность, кВт; 103 - калибр тела, миллиметров; Д - код модернизации гидрозащиты (отсутствие буквы – главная форма); В5 - климатизационное выполнение и группа размещения. В шифре электродвигателя ЭДК22-103В установлены последующие обозначения: ЭД - двигатель; К - коррозионностойчивый (недостаток азы - обычное выполнение); 22 - производительность, кВт; 103 - калибр тела, миллиметров; В - верхняя часть (недостаток азы - несекционный, С - посредственная часть, Н - тельная часть).

Запуск, руководство деятельности моторами и его охрана рядом аварийных системах исполняются особыми комплектными приборами. Максимальная продолжительно допустимая температура обмотки статора электродвигателей (согласно противодействию с целью электродвигателей поперечником тела 103 миллиметров) одинакова 170 °С, а других электродвигателей - 160 °С.

Электродвигатель заключается с статора, ротора, головки с токовводом, тела. Статор сделан с трубы, в какую запрессован шунт, сделанный с листовенный электротехнической начали. Электрообмотка статора - однослойная долгая шпучная. Фазы обмотки объединены в звезду. Мехротор короткозамкнутый, многосекционный. В структура ротора вступают стержень, сердечники, радиальные опоры (подшипники скольжения), пробка. Стержень пустой, сделан с прочной начали с особой отделкой плоскости. В основное проход астероид ротора верхнего и посредственного электродвигателей ввинчены 2 специализированные гайки, среди какими пристроен шар, преграждающий отлив масла с электродвигателя рядом монтаже. Сердечники исполнены с листовенный электротехнической начали. В пазы сердечников уложены красновато-желтые стержни, наваренные согласно торцам с короткозамыкающими кольцами. Сердечники вербуются в стержень, Попеременно с радиальными подшипниками. Комплект сердечников в валу зарегистрирован с одной края разрезным вкладышем, а с иной - пружинным перстнем. Сайлент-блок работает с целью смещения радиальных подшипников ротора рядом починке электродвигателя. Верхушка предполагает собою монтировочную штуку, монтируемую в верхней Доли электродвигателя (надо статором). В головке находится участок настойчивого подшипника, складывающийся с пяты и подпятника, последние радиальные подшипники ротора, участок токоввода (с целью несекционных электродвигателей) либо участок гальванического компоновки электродвигателей (с целью разборных электродвигателей). Токоввод - изолирующая планка, в пазы какой вделаны кабели с наконечниками. Участок гальванического компоновки обмоток верхнего, посредственного и нательного

электродвигателей заключается с производных кабелей с наконечниками и изоляторов, прикрепленных в головках и корпусах торцов секционирования. Проход перед пробкой работает с целью скачки масла в покровитель рядом монтаже мотора. В корпусе, пребывающем в исподней Доли электродвигателя (перед статором), размещены лучевой клин ротора и пробки. При помощи дыры перед пробку коротают закачку и отлив масла в двигатель. В данном корпусе электродвигателей существует спецфильтр с целью очищения масла.

Термоманометрическая концепция ТМС-Электон специализирована с целью контролирования отдельных научно-технических характеристик скважин, оснащенных УЭЦН, и охраны погружных аппаратов с противоестественных систем деятельность (перегревание электродвигателя либо уменьшение давления воды в способе насоса понижее возможного). Концепция ТМС-Электон заключается с погружного бдока, трансформирующего влияние и жар в частотно-манипулированный турбоэлектрический знак, и навозного устройства, исполняющего функции блока кормления, усилителя-формирователя сигналов и аппарата управления режимом деятельность погружным электро-насосом согласно давлению и горячке. Односкважинный источник давления и температуры (ТМСП) сделан в варианте трубчатого непроницаемого контейнера, размещаемого в исподней Доли электродвигателя и присоединенного к нолевой месту его статорной обмотки. Навозный источник, констатируемый в комплектное механизм Электон, гарантирует развитие сигналов в нее выключение и отключение насоса согласно давлению и горячке, а кроме того определение противодействие обособленности. В свойстве направления взаимосвязи и энергопитания ТМСП применяется насильственная линия кормления погружного электродвигателя. Концепция содержит интерфейсы –RS 232 RS 485 с целью включения компьютеров и имеет возможность применяться с целью передачи информации в прочие аппарата.

Погружные насосы сравнивая с артезианскими с трансмиссионными валами имеют ряд превосходств:

исключается потребность внедрения длинноватого вертикального вала с промежуточными подшипниками, миниатюризируется металлоемкость насоса;

недоступность трансмиссионного вала разрешает использовать погружные насосы в искривленных скважинах;

упрощается система водоподъемного трубопровода, установка и демонтаж насосной установки;

миниатюризируется площадь павильона над скважиной.

Вследствие данных превосходств погружные насосы

Отрасли применения скважинных насосов

- ЖКХ
- Горно-химическая
- Угледобывающая
- Водоснабжение
- Понижение уровня вод в карьерах
- Водопонижение в шахтах и рудниках
- Процессы выщелачивания
- Добыча урана
- Подача морской, сеноманской, минеральной воды
- Системы пожаротушения
- Шахтный и участковый водоотлив при подземных горных работах
- Водоотлив при строительстве подземных хранилищ в соляных штоках методом растворения
- Насосы работают на многих объектах СНГ
- Водопонижение минеральной воды на Коршуновском ГОК. Компания Мечел
- Водопонижение при добыче Алмазов в компании Алроса
- Откачка воды из Шахт. Компания Норильский Никель
- Добыча метана из угольных пластов. Газпром добыча Кузнецк

УЭЦН для добычи метана из угольных пластов

При этом обилие добычи в пласте бурятся вертикальные, наклонные и горизонтальные скважины. Потом ниже зоны перфорации имея цель откачки излишка воды из пласта и наибольшего понижения противодавления на него (для независимого выхода метана) случается спуск УЭЦН. Таким макаром поддерживается высокоэффективная добыча воды из скважин со понижением серьезных и операционных издержек. И еще понижается риск засорения среды газовых месторождений.

Применение:

- откачка лишней воды с скважин с целью добычи угольного метана.

Преимущества:

- увеличенная материал в осложнённых обстоятельствах эксплуатации ниже области перфорации;
- надежная деятельность рядом высочайшем содержании частей угля в воды;
- возможность эксплуатации в скважинах с температурой 200°C рядом узком дебите;
- наличие компактных УЭЦН перед обсадные колонны поперечником 102, 114 и 127 миллиметров;
- уменьшение единых затрат равно как в оснащение, таким (образом и в лично процедура бурения.

Особенности:

- износостойкое выполнение ЭЦН;
- комплектация погружного мотора кожухом с целью успешного остужения;
- наличие фильтра с целью понижения попадания в работники аппараты насоса угольных частей;

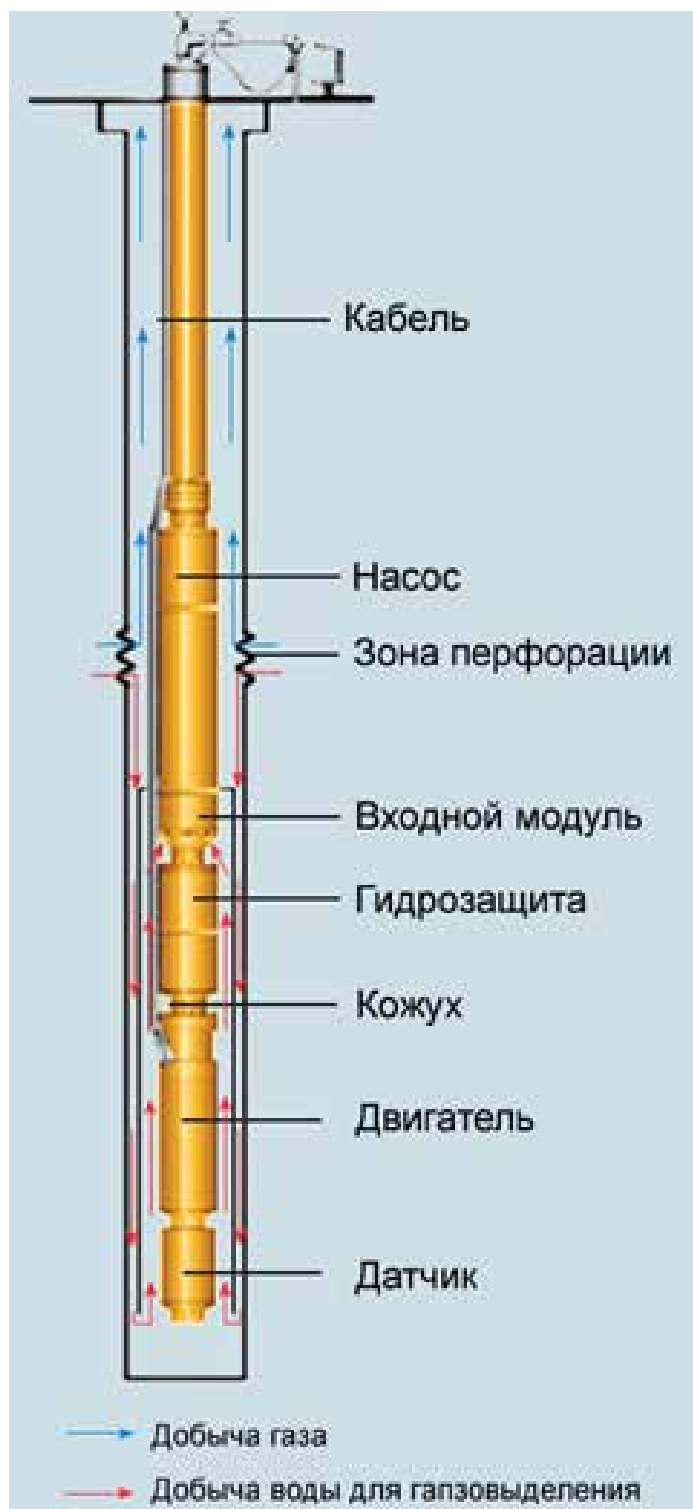


Рисунок2- Конфигурация УЭЦН для угольного метана

1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ И КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Краткая характеристика скважин

Глубина спуска насоса в пределах до 1100 метров.

Динамический уровень в основном колеблется в пределах от 70 до 800 метров.

1.2 Состав и комплектность установки электропривода центробежного насоса.

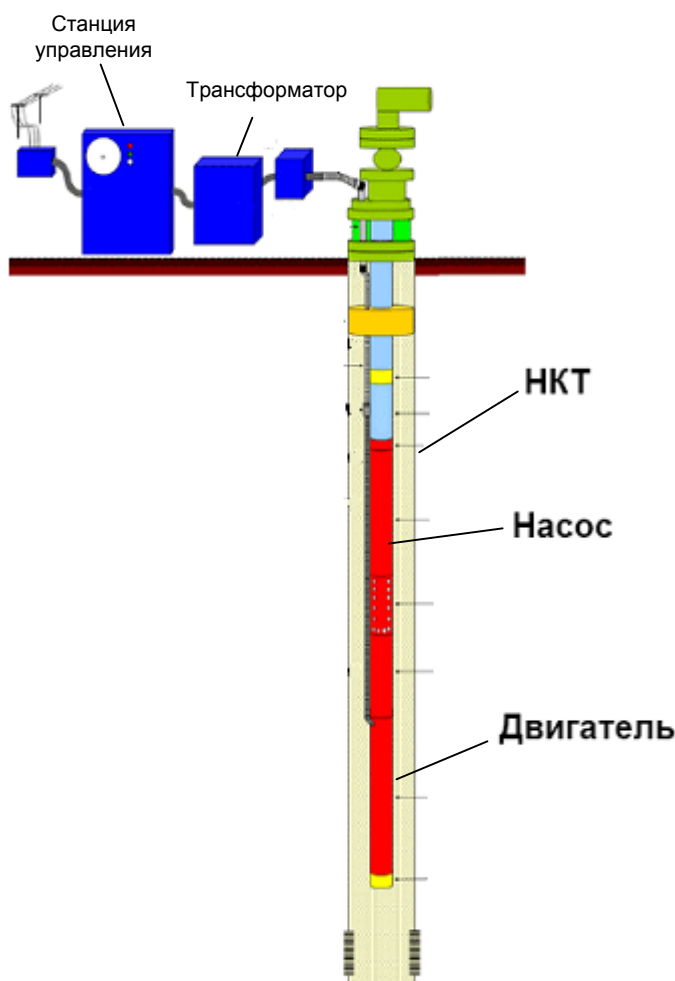


Рисунок 3 Установка центробежного насоса электропривода.

Установка УЭЦН состоит из погружного насосного аппарата (электродвигателя с гидрозащитой и насоса), кабельной полосы (круглого плоского кабеля с муфтой кабельного ввода), колонны НКТ, оборудования устья скважины и наземного электрического оборудования: трансформатора и станции управления (комплектного прибора) (см. рисунок 3.).

Трансформаторная подстанция конвертирует напряжение промышленной сети до хорошей величины на зажимах электродвигателя с учетом потерь напряжения в кабеле.

Станция управления гарантирует управление работой насосных аппаратов и его охрану при хороших режимах.

Погружной насосный аппарат, состоящий из насоса и электродвигателя с гидрозащитой и компенсатора, спускается в скважину по НКТ. Кабельная линия гарантирует подвод электричества к электродвигателю. Кабель крепится к НКТ, железными колесами. На протяженности насоса и протектора кабель тонкий, закреплен к ним железным колесами и защищен от дефектов кожухами и хомутами

Над секциями насоса устанавливаются обратный и сливной клапаны.

Оборудование устья скважины гарантирует подвеску на фланце обсадной колонны НКТ с электронасосом и кабелем, герметизацию труб и кабеля, также отвод доставаемой воды в выходной трубопровод.

2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Определение параметров погружного насоса

Главными чертами насоса считаются:

- Расход;
- Напор (воды);

Подбор насоса выполняется сообразно с главным условием подъёма данного числа воды (зависимо от дебета скважины) на земную плоскость Н.

Для этой скважины подходит погружной насос ЭЦНМ5-50-1300 со следующими параметрами:

- Производительность насоса - 50 ;
- Напор - 1300 м;
- Гидравлическая мощность насоса – 17 кВт;
- КПД насоса – 43%

2.2. Выбор двигателя

ПЭД подкрадывается под насос отталкиваясь от нужной силы. Мощность мотора обязана быть:

$$N_d \geq 1,05 N_g,$$

где N_d – мощность мотора;

N_g – гидравлическая мощность насоса;

$$N_d = 1,05 \times 17 = 17.85 \text{ кВт}$$

По каталогу подыскиваем движок, соответственный условию отраженному в формуле :

Движок ПЭДТН 22-103 В5

Мощность мотора $N_d=22$ кВт.

2.3. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным

Для расчета электрохимических и механических характеристик асинхронного двигателя воспользуемся его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, рисунок 4.

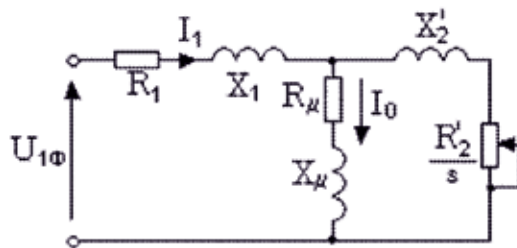


Рисунок 4 - Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\begin{aligned}\overline{U_{1\phi}} - \overline{E_1} - j \cdot X_1 \cdot \overline{I_1} &= 0; \\ \overline{E_1} + j \cdot X_2' \cdot \overline{I_2'} + R_2' \cdot \overline{I_2'} / s &= 0; \\ \overline{I_1} + \overline{I_2'} - \overline{I_0} &= 0.\end{aligned}$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих системе основных уравнений асинхронного двигателя, изображена на рисунке 5.

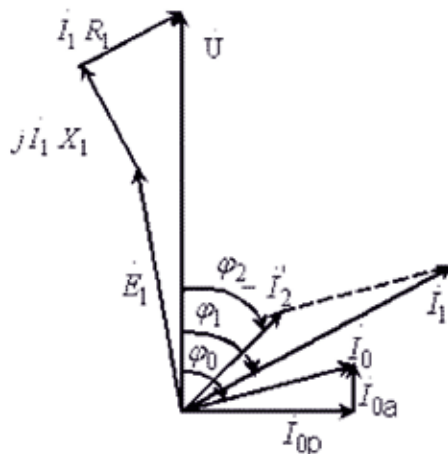


Рисунок 5 - Векторная диаграмма асинхронной машины

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным по методике расчета [5].

Асинхронный двигатель ПЭДТН22-103В5 со следующими параметрами:

$P_n = 22$ кВт, - номинальная мощность двигателя;

$U_n = 700$ В, - линейное напряжение;

$n_n = 3000$ об/мин, - синхронная частота вращения;

$s_n = 5.8\%$, - номинальное скольжение;

$\eta_n = 81\%$, - коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности (100%-я нагрузка);

$\cos \phi_n = 0.879$ - коэффициент мощности в режиме номинальной мощности;

$L_s \cong L_r = 0.169$ Гн - индуктивность статора и ротора;

$L_{ls} \cong L_{lr} = 2.693 \cdot 10^{-3}$ Гн - индуктивность рассеяния статора и ротора;

$L_m = 0.166$ Гн - взаимоиנדукция;

$J = 0.32$ кг·м² - момент инерции электродвигателя;

$k_i = \frac{I_n}{I_n} = 6$ о.е, - кратность пускового тока;

$\kappa_n = \frac{M_n}{M_n} = 1.8$ о.е, - кратность пускового момента;

$k_{\max} = \frac{M_k}{M_n} = 2.2$ о.е., - кратность максимального момента;

$k_{\min} = \frac{M_{\min}}{M_n} = 1.4$ о.е, - кратность минимального момента;

Эти данные позволяют определить параметры схемы замещения при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют 0,02 P_n ;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти из выражения:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* I_{11} (1 - s_n) / (1 - p_* s_n)]^2}{1 - [p_* (1 - s_n) / (1 - p_* s_n)]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{19.533^2 - [0,75 \cdot 25.749 \cdot (1 - 0.058) / (1 - 0,75 \cdot 0.058)]^2}{1 - [0,75 \cdot (1 - 0.058) / (1 - 0,75 \cdot 0.058)]^2}} = 6.601 \text{ A}, \quad (3.3.1)$$

где I_{11} - номинальный ток статора двигателя;

$$I_{11} = \frac{P_n}{3 \cdot U_n \cdot \cos \phi_n \cdot \eta_n} = \frac{22000}{3 \cdot 400 \cdot 0,879 \cdot 0,81} = 25.749 \text{ A}; \quad (3.3.2)$$

I_{11} - ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_n}{3 \cdot U_n \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 22000}{3 \cdot 400 \cdot 0,869 \cdot 0,81} = 19.533 \text{ A}; \quad (3.3.3)$$

$\cos \phi_{p_*}$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке;

η_{p_*} - КПД при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_n$ - коэффициент загрузки двигателя.

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями:

- современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на 10-15% меньшей номинальной [1]. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $p_* = 0,75$ практически равны между собой, т.е. $\eta_n \approx \eta_{0,75} = 81\%$

- коэффициент мощности при той же нагрузке $p_* = 0,75$ значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это

отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведенной на рисунке 6.

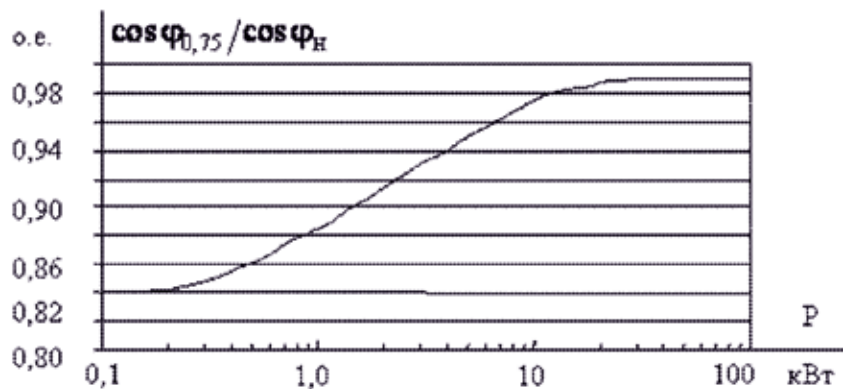


Рисунок 6 - Зависимость $\cos \phi_{0,75} / \cos \phi_n$ от мощности асинхронного двигателя

Согласно зависимости, приведенной на рисунке 1.3, для мощности двигателя $P = 22000$ Вт отношение $\cos \phi_{0,75} / \cos \phi_n = 0,98$, следовательно, коэффициент мощности при частичной нагрузке составит $\cos \phi_{p*} = 0,98 \cdot \cos \phi_n = 0,869$.

(3.3.4)

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения

$$s_k = s_n \frac{k_{MAX} + \sqrt{(k_{MAX})^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta (k_{MAX} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta (k_{MAX} - 1)} =$$

$$= 0,058 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 \cdot 0,058 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,058 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,283 \quad (3.3.5)$$

где

$$C_1 = 1 + (I_0 / (2 \cdot k_i \cdot I_{1n})) = 1 + (6.601 / (2 \cdot 6 \cdot 25.749)) = 1.021. \quad (3.3.6)$$

Значение коэффициента β находится в диапазоне 0,6 – 2,5, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 1$.

Определим коэффициент A_1

$$A_1 = mU_{1\Phi}^2(1 - s_n)/(2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_n) = 3 \cdot 400^2 \cdot (1 - 0,058)/(2 \cdot 1,021 \cdot 2,2 \cdot 22000) = 4,573.$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = A_1/(\beta + 1/s_k)C_1 = 4,573/(1 + 1/0,283) \cdot 1,021 = 0,987 \text{ Ом}, \quad (3.3.8)$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 R_2' \beta = 1,021 \cdot 0,987 \cdot 1 = 1,008 \text{ Ом}. \quad (3.3.9)$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{\text{кн}}$:

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,283^2) - 1} = 3,394, \quad (3.3.10)$$

тогда

$$X_{\text{кн}} = \gamma C_1 R_2' = 3,394 \cdot 1,021 \cdot 0,987 = 3,42 \text{ Ом}. \quad (3.3.11)$$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления $X_{\text{кн}}$ сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной, рассчитаем по следующему выражению

$$X_{2\text{н}}' = 0,58 X_{\text{кн}} / C_1 = 0,58 \cdot 3,42 / 1,021 = 1,942 \text{ Ом}. \quad (3.3.12)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки определим по следующему выражению

$$X_{1\text{н}} = 0,42 X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 3,42 = 1,436 \text{ Ом}. \quad (3.3.13)$$

По найденным значениям C_1 , R_2' , R_1 и X_K определим критическое скольжение

$$s_k = \frac{C_1 R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = \frac{1,021 \cdot 0,987}{\pm \sqrt{1,008^2 + 3,42^2}} = \pm 0,283. \quad (3.3.14)$$

Данное значение критического скольжения совпадает со значением, посчитанным ранее с абсолютной погрешностью δ меньше 0,0001.

Согласно векторной диаграмме (рисунок 1.2) э.д.с. ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

(3.3.15)

$$E_1 = \sqrt{(U_{1j} \cos \varphi_{1н} - R_1 I_{1н})^2 + (U_{1j} \sin \varphi_{1н} + X_1 I_{1н})^2} = \\ = \sqrt{(400 \cdot 0,879 - 1,008 \cdot 25,749)^2 + (400 \cdot \sin(0,497) + 1,436 \cdot 25,749)^2} = 397,37 \text{ В},$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu н} = E_1 / I_0 = 397,37 / 6,601 = 60,203 \text{ Ом}. \quad (3.3.16)$$

Используя параметры схемы замещения можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик.

2.4. Расчет и построение электромеханических характеристик

Электромеханическая характеристика, определяющая зависимость приведенного тока ротора от скольжения s

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + (X_{1н} + X_{2н}')^2}} = \\ = \frac{400}{\pm \sqrt{(1,008 + 0,987 / \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0})^2 + (1,436 + 1,942)^2}}, \quad (3.4.1)$$

где

$U_{1j} = 400 \text{ В}$ - фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{p} = 314 \text{ рад/с} \quad (3.4.2)$$

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя представляет интерес электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$, отражающая зависимость тока статора I_1 от скорости ω (скольжения s). Ток статора I_1 определяется путем сложения вектора тока намагничивания $\bar{I}_0$ и вектора тока ротора $\bar{I}_2'$ (рисунок 1.2). Обычно это производится с помощью круговой диаграммы.

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя I_0 реактивным ($I_{0,A} = 0$), ток статора I_1 через приведенный ток ротора I_2' можно найти по формуле

$$\begin{aligned} I_1 &= \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega)^2 \cdot 0.673} = \\ &= \sqrt{6.601^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot 6.601 \cdot I_2'(\omega)^2 \cdot 0.673} \end{aligned} \quad (3.4.3)$$

Вид электромеханических характеристик представлен на рисунке 7.

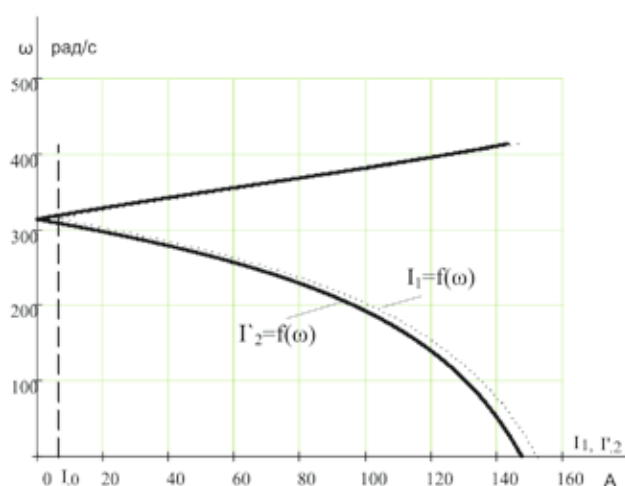


Рисунок 7. - Электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$, $I_2' = f(\omega)$ асинхронного двигателя

2.5. Расчет и построение механической характеристики

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется следующим выражением

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{кн}^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 400^2 \cdot 0.987}{314 \cdot \frac{314 - \omega}{314} \cdot \left[\left(1.008 + \frac{0.987}{\frac{314 - \omega}{314}} \right)^2 + 3.42^2 \right]} \quad (3.5.1)$$

Расчетная характеристика:

Момент номинальный:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_0(1 - S_H)} = \frac{22000}{314 \cdot (1 - 0.058)} = 74,38 \text{ Нм} \quad (3.5.2)$$

$$\text{Момент минимальный: } M_{мин} = M_{ном} \cdot k_{мин} = 74,38 \cdot 1.4 = 104,13 \text{ Нм} \quad (3.5.3)$$

$$\text{Момент критический: } M_{кр} = M_{ном} \cdot k_{макс} = 74,38 \cdot 2,2 = 163,63 \text{ Нм} \quad (3.5.4)$$

$$\text{Момент пусковой: } M_{пуск} = M_{ном} \cdot M_{пуск}^* = 74,38 \cdot 1,8 = 133,88 \text{ Нм} \quad (3.5.5)$$

Вид механической характеристики приведен на рисунке 8.

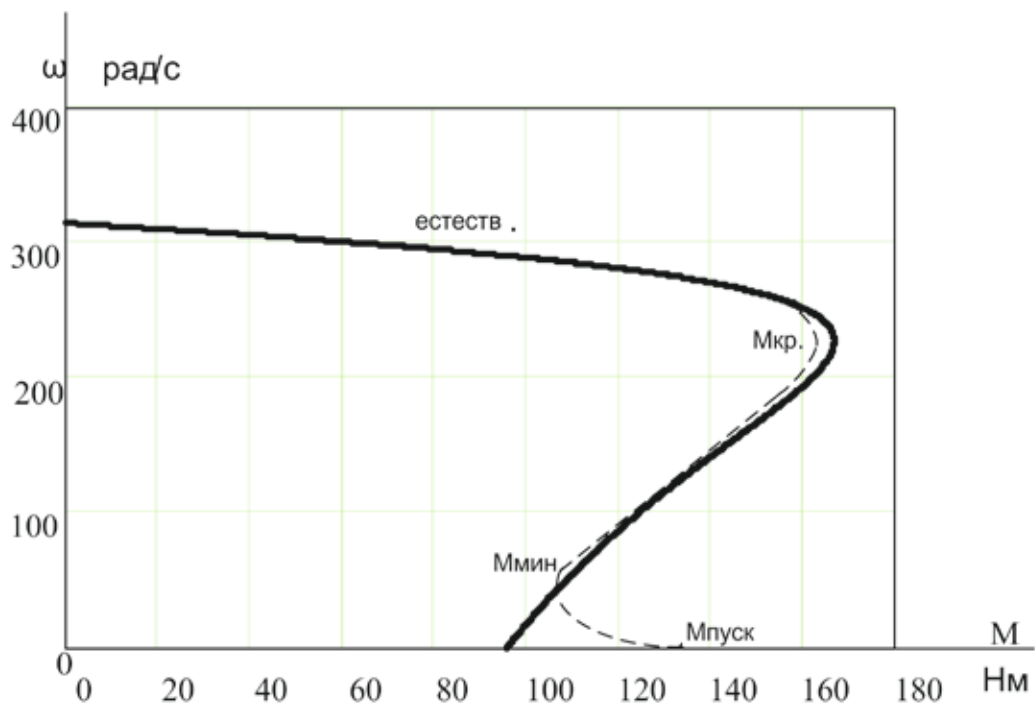


Рисунок 8 – Механическая характеристика $M = f(\omega)$ асинхронного двигателя.

Данными методами можно построить электромеханическую характеристику, но механическая характеристика получается не точной, так как не учитываются многие факторы и приняты допущения магнитные и механические потери в двигателе составляют $0,02 P_n$, активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются, оказывающие влияние на характеристику АД.

Расхождения в расчетных данных с паспортными, построенных по ним графиков вызвано тем, что паспортные данные приведены для двигателя с насыщенной магнитной системой, а мы не учитывали насыщение двигателя. Этим и вызвано различие полученных графиков и расчетных данных с паспортными.

2.6 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Наконец на реальный эпизод единственным приспособлением, позволяющим регулировать частоту вращения асинхронного мотора считается преобразователь частоты.

ПЧ используют для регулировки частоты вращения электродвигателей переменного тока, приводящих во вращение разные рабочие механизмы (насосы, вентиляторы, компрессоры и др.). Регулировка частоты электродвигателя ЭЦН позволяет регулировать и производительность самого насоса. Причём регулировка данное случается довольно плавненько, т. к. прогрессивные ПЧ свидетельством регулировать частоту с дискретностью 0,1 Гц.

Не считая регулировки частоты использование ПЧ позволяет:

- Производить мягкий разгон и останов фактически в отсутствии превышения номинального тока при разгоне.
- Иметь $\cos\varphi=1$ на входе фактически, собственно важно для сбережения чистоты сети.
- Производить быстродействующие наибольшие охраны (К примеру, по наибольшему току).

2.6.1. Особенности применения ПЧ в системе «ПЧ – трансформатор - погружной двигатель»

При работе преобразователя частоты в системе «ПЧ - увеличивающий трансформатор - погружной эл-двигатель» появляется ряд заморочек:

1. Воздействие на входной трансформатор.
2. Как понятно, следствием работы преобразователя частоты считается увеличение утрат в стали и обмотках, а, как следует, и завышенный нагрев трансформатора. Помимо всего этого, появляется доп грохот в работе трансформатора.
3. Воздействие на выходной трансформатор.
4. Выходной трансформатор кроме того подвержен воздействию работы преобразователя частоты. В трансформаторе растут утраты в стали и

появляется гул при его работе. В кабелях, которые сплавляют выход преобразователя с увеличивающим трансформатором, кроме всего прочего возрастает возможность пробоя изоляции в связи увеличения скорости нарастания напряжения в импульсах, создаваемых инвертором.

5. Есть методы понижения отрицательного воздействия ПЧ на УЭЦН
6. • Использование ПЧ с высочайшей частотой ШИМ разрешает сделать лучше синусоидальность входного напряжения, собственно приводит к:

Использование LC-фильтров кроме того доводит до совершенства форму синусоиды и существенно понижает значение пиков напряжения, собственно значит:

- Убавление нагрева трансформатора, кабеля и мотора
- Замедляет дряхление изоляции
- Увеличению эпизода и к.п.д. мотора

В момент выбора преобразователя частоты нужно учитывать ряд необыкновенностей, обусловленных физическими параметрами.

Характеристики мотора и скважины.

В момент выбора станции управления нужно управляться параметрами мотора и скважины. Мощность преобразователя частоты и всей остальной силовой техники находится в зависимости от силы мотора и от глубины его месторасположения в скважине. Традиционно для номинальной работы преобразователь частоты подбирают на типоразмер повыше, нежели мощность мотора.

Коль скоро преобразователь частоты поставить на движок большей силы, нежели сам преобразователь, то нет практически никакой гарантии, собственно привод запустится, и будет трудиться. У любого преобразователя частоты есть собственные внутренние обороны, которые не дадут возможность трудиться приводу за пределами критичных характеристик (выходной ток не

может превосходить разрешенного ценности). Преобразователь частоты сможет запустить движок, хотя он будет трудиться нестабильно, собственно имеет возможность привести к выходу его из строя.

Станция управления "Электон-05" создана для регулировки частоты вращения, оптимизации работы и обороны серийно издаваемых электродвигателей. Область внедрения - погружные асинхронные либо вентильные электродвигатели для добычи нефти, асинхронные электродвигатели общепромышленного выполнения, используемые для водозаборов и водоснабжения, приводов винтообразных насосов, для дымососов и промвентиляции.

Отличительные черты управления серии ЭЛЕКТОН 05

- входные цепи сделаны на наиболее высочайшее напряжение для увеличения стойкости при краткосрочных перенапряжениях;
- стабилизация weekenda напряжения при эксплуатации от нестабильной питающей сети;
- интегрированный фильтр уготован для сокращения коэффициента несинусоидальности напряжения на входе СУ;
- свой либо интегрированный счетчик для учета употребляемой интенсивной и реактивной электричества;
- USB-порт для съема инфы на типовой USB Flashнакопитель;
- LAN-порт для подключения в сеть Ethernet по протоколу Modbus TCP;
- конструкция отличается повышенной ремонтпригодностью.

Существует вероятность пуска насосной конструкции согласно определяемой проекте, в прирученном и в машинальном порядке, а кроме того вероятность укрепления научно-технического параметра (частоты, тока, давления) с поддержкой интегрированного ПИД-регулятора.

2.6.2. Дополнительные возможности станции управления с преобразователем частоты

Не считая всех перечисленных выше плюсов СУ с ПЧ надо отметить некие оригинальные способности, вносимые в СУ ПЧ:

- Мягкий запуск останов

Не считая конфигурации частоты вращения электродвигателя, преобразователь частоты сможет плавно разгонять движок до номинального режима работы и плавно его одергивать. Мягкий запуск и торможения ликвидируют биения приспособления, следовательно, сокращают механический и электронный износ оборудования.

- Запуск ЭЦН при турбинном вращении (сантим.. набросок 9.)

Известно, собственно при остановке насоса вода начинает стекать, появляется турбинное вращение, т. е. разворот мотора в обратном направлении. Повторный пуск в случае турбинного вращения вероятен лишь по его завершении. На опыте нашей эксплуатации данное время оформляет от 20 до 60 минут. Используя станцию управления с преобразователем частоты возможно запустить движок в каждый миг, пренебрегая турбинное направление вращения.

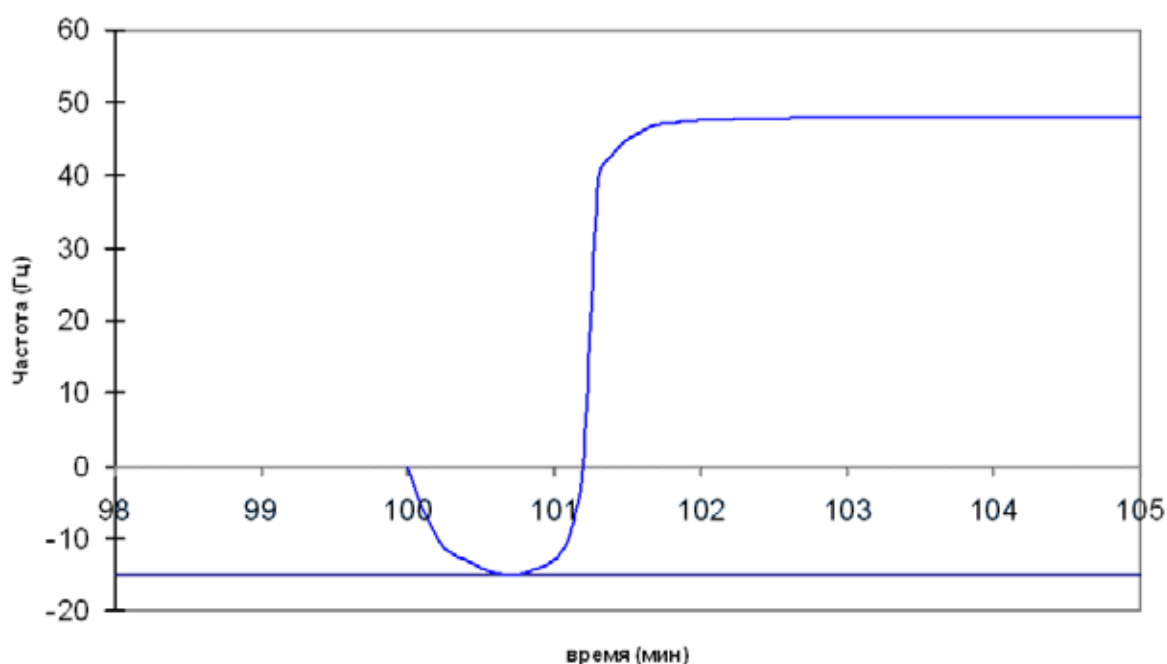


Рисунок 9. График торможения и разгона при турбинном вращении.

Методология запуска довольно ординарна:

При пуске ПЧ начинает «поиск» частоты вращения в иную сторону. Обнаружив данную частоту, он плавно подхватывает движок, потом плавно тормозит и запускает в иную сторону и выходит на рабочую частоту. Данная необыкновенность разрешает сберечь время и поболее много применять ресурс оборудования.

Ø Способности расклинивания мотора маршрутом раскачки.

При заклинивании насоса случается срабатывание обороны от заклинивания вала (Оборона от перегрузки).

В случае если запустить движок после чего не удаётся в обычном режиме, то единственное, собственно остаётся данное снять охрану от перегрузки и попробовать запустить двигатель путём подачи на него прямого напряжения и, как следствие ничем неконтролируемого тока. Нужно ли гласить, собственно при этом методе расклинивания и движок и насос и всё электрическое оборудование претерпевают «шоковые» перегрузки.

При применении ПЧ в этом случае может быть использование методологии «раскачки» ПЧ подаёт завышенное напряжение пониженной частоты в некоем, а потом в ином направлении, вроде бы раскачивая движок. При всем этом эпизод на валу мотора быть может повыше номинального, а ток, все же, не превосходить номинального. Эта вероятность присуща исключительно СУ с ПЧ. Использование подобных методологий, с внедрением реверсивного контактора, как скоро абсолютное напряжение подаётся то в некую, то в иную сторону влечёт за собой механические загрузки повышенные на насос и повышенные загрузки на электрооборудование.

2.7. Математическое описание обобщенной асинхронной машины

Обобщенная асинхронная машина показана на рисунке 10. Она содержит трехфазную обмотку на статоре и трехфазную обмотку на роторе. Обмотки статора и ротора подключены к симметричным трехфазным источникам напряжения. Математическое описание такой машины базируется на известных законах.

Уравнения равновесия ЭДС на обмотках статора и ротора базируется **на** втором законе Кирхгофа.

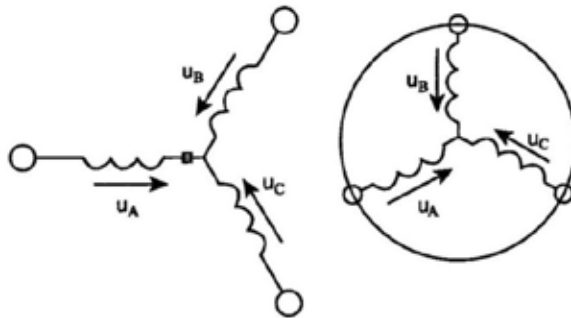


Рисунок 10 – Обобщённая асинхронная машина.

Для статора

Для ротора

$$\left\{ \begin{array}{l} u_A = R_A \cdot i_A + \frac{d\psi_A}{dt} \\ u_B = R_B \cdot i_B + \frac{d\psi_B}{dt} \\ u_C = R_C \cdot i_C + \frac{d\psi_C}{dt} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} u_a = R_a \cdot i_a + \frac{d\psi_a}{dt} \\ u_b = R_b \cdot i_b + \frac{d\psi_b}{dt} \\ u_c = R_c \cdot i_c + \frac{d\psi_c}{dt} \end{array} \right. \quad (3.6.1)$$

В уравнениях (3.6.1) фигурируют мгновенные напряжения, токи потоко-
сцепления статора и ротора, а также активные сопротивления обмоток. Обычно
обмотки выполняются симметричными, поэтому $R_A = R_B = R_C = R_s$ – актив-
ное сопротивление статорной обмотки, $R_a = R_b = R_c = R_r$ – активное сопро-
тивление роторной обмотки.

Вторым используемым законом является **закон Ампера**, который связывает потокосцепления обмоток с токами, протекающим по обмоткам:

Для статора

$$\left. \begin{aligned} \psi_A &= L_{AA} \cdot i_A + L_{AB} \cdot i_B + L_{AC} \cdot i_C + L_{Aa} \cdot i_a + L_{Ab} \cdot i_b + L_{Ac} \cdot i_c \\ \psi_B &= L_{BA} \cdot i_A + L_{BB} \cdot i_B + L_{BC} \cdot i_C + L_{Ba} \cdot i_a + L_{Bb} \cdot i_b + L_{Bc} \cdot i_c \\ \psi_C &= L_{CA} \cdot i_A + L_{CB} \cdot i_B + L_{CC} \cdot i_C + L_{Ca} \cdot i_a + L_{Cb} \cdot i_b + L_{Cc} \cdot i_c \end{aligned} \right\} \quad (3.6.2a)$$

Для ротора

$$\left. \begin{aligned} \psi_a &= L_{aA} \cdot i_A + L_{aB} \cdot i_B + L_{aC} \cdot i_C + L_{aa} \cdot i_a + L_{ab} \cdot i_b + L_{ac} \cdot i_c \\ \psi_b &= L_{bA} \cdot i_A + L_{bB} \cdot i_B + L_{bC} \cdot i_C + L_{ba} \cdot i_a + L_{bb} \cdot i_b + L_{bc} \cdot i_c \\ \psi_c &= L_{cA} \cdot i_A + L_{cB} \cdot i_B + L_{cC} \cdot i_C + L_{ca} \cdot i_a + L_{cb} \cdot i_b + L_{cc} \cdot i_c \end{aligned} \right\} \quad (3.6.2б)$$

Симметричные уравнения для определения потокосцеплений показывают, что потокосцепление каждой обмотки зависит от токов во всех обмотках; эти зависимости проявляются через взаимоиндукцию.

В уравнениях (3.6.2) $L_{AA}, L_{BB}, L_{CC}, L_{aa}, L_{bb}, L_{cc}$ являются собственными индуктивностями соответствующих обмоток все остальные – взаимоиндуктивностями между соответствующими обмотками.

Третьим законом, лежащим в основе анализа, является второй **закон Ньютона** – закон равновесия моментов на валу машины:

$$J_{\Sigma} \cdot \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} = \vec{M} - \vec{M}_n \quad (3.6.3)$$

Где

- J (кг·м²) – момент инерции на валу машины, учитывающий инерционность как самой машины, так и приведенной к валу инерционности рабочего механизма и редуктора

- $\vec{\omega}_m \left(\frac{1}{rad} \right)$ – угловая скорость вала машины

- $\vec{M}_n$ (Н·м) – момент рабочего механизма, приведенный к валу, в общем случае он может быть функцией скорости и угла поворота.

Наконец, четвертым и последним законом, лежащим в основе анализа машины, является закон, сформулированный **Ленцем**, как **правило левой руки**. Этот закон связывает векторные величины момента, потокосцепления и тока:

$$\vec{M} = k \cdot (\vec{\psi} \times \vec{i}) \quad (3.6.4)$$

Перечислим основные серьёзные трудности при исследовании машины:

1. в уравнениях (3.6.3 и 3.6.4) фигурируют векторные величины, а в уравнениях (3.6.1 и 3.6.2) скалярные
2. количество взаимосвязанных уравнений равно 16, а количество коэффициентов – 44
3. коэффициенты взаимоиндукции между обмотками статора и ротора в уравнениях (3.6.2) являются функцией угла поворота ротора относительно статора, то есть уравнения (3.6.2) являются уравнениями с переменными коэффициентами
4. уравнение (3.6.4) является нелинейным, так как в нем перемножаются переменные.

На пути упрощения математического описания асинхронной машины, да и вообще всех машин переменного тока, удачным и изящным оказался **метод пространственного вектора**, который позволил существенно упростить и сократить вышеприведенную систему уравнений. Метод позволяет связать уравнения (3.6.1 – 3.6.4) в единую систему с векторными переменными состояния. Суть метода состоит в том, что мгновенные значения симметричных трехфазных переменных состояния (напряжения, токи, потокосцепления) можно математически преобразовать так, чтобы они были представлены одним пространственным вектором. Это математическое преобразование имеет вид (например, для тока статора) :

$$\vec{i} = \frac{2}{3} \cdot (i_A + \vec{a} \cdot i_B + \vec{a}^2 \cdot i_C) \quad (3.6.5)$$

Где $\vec{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}}$, $\vec{a}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$ – векторы, учитывающие пространственное смещение обмоток.

$$i_A = I_m \cdot \cos(\omega \cdot t), i_B = I_m \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{2\pi}{3}\right), i_C = I_m \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad - \text{ трех-}$$

фазная симметричная система токов статора. Подставив в уравнения (3.6.5) значение мгновенных токов, найдем математическое описание пространственного вектора статорного тока:

$$\vec{i}_s = \frac{2}{3} \cdot \left(\cos \omega t + e^{j\frac{2\pi}{3}} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + e^{j\frac{4\pi}{3}} \cdot \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right) = I_m \cdot e^{j\omega t} \quad (3.6.6)$$

На рисунке 11 представлена геометрическая интерпретация пространственного вектора тока — это вектор на комплексной плоскости с модулем (длиной) I_m , вращающийся с угловой скоростью ω в положительном направлении. Проекции вектора $\vec{i}_s$ на фазные оси А, В, С определяют мгновенные токи в фазах. Аналогично пространственными векторами можно представить все напряжения, токи и потокосцепления, входящие в уравнения (1), (2).

Теперь можно переходить к упрощению уравнений.

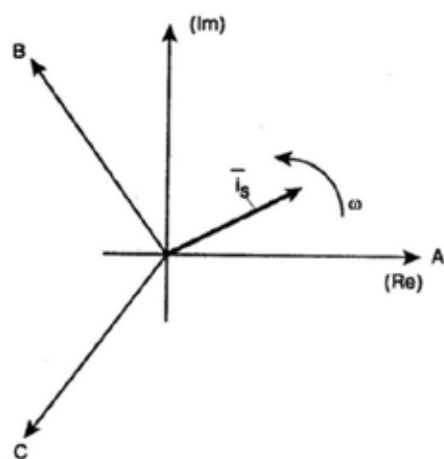


Рисунок 11 – Пространственный вектор тока.

Шаг первый. Для преобразования уравнений (3.6.1) в мгновенных значениях к уравнениям в пространственных векторах умножим их на выражения: первые уравнения на $\frac{2}{3}$, вторые на $\frac{2}{3} \cdot \vec{a}$, третьи на $\frac{2}{3} \cdot \vec{a}^2$, — и сложим отдельно для статора и ротора. Тогда получим:

$$\begin{cases} \vec{u}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} \\ \vec{u}_r = R_r \cdot \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} \\ \vec{\psi}_s = L_s \cdot \vec{i}_s + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_r \\ \vec{\psi}_r = L_r \cdot \vec{i}_r + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_s \end{cases} \quad (3.6.7)$$

где L_s, L_r – собственные индуктивности статора и ротора

$L_m(\Theta)$ – взаимная индуктивность между статором и ротором.

Таким образом, вместо двенадцати уравнений (3.6.1) – (3.6.2) получено лишь четыре уравнения (3.6.7).

Шаг второй. Переменные коэффициенты взаимной индукции в уравнениях для потокосцеплений (3.6.7) являются результатом того, что уравнения равновесия ЭДС для статора записаны в неподвижной системе координат, связанной со статором, а уравнения равновесия ЭДС для ротора записаны во вращающейся системе координат, связанной с ротором. Метод пространственного вектора позволяет записать эти уравнения в единой системе координат, вращающейся с произвольной скоростью ω_k . В этом случае уравнения (3.32) преобразуются к виду:

$$\begin{cases} \vec{u}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_s \\ \vec{u}_r = R_r \cdot \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \cdot \vec{\psi}_r \\ \vec{\psi}_s = L_s \cdot \vec{i}_s + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_r \\ \vec{\psi}_r = L_r \cdot \vec{i}_r + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_s \end{cases} \quad (3.6.8)$$

где $\omega = z_p \cdot \omega_m$, z_p – число пар полюсов в машине.

В уравнениях (3.6.8) все коэффициенты являются величинами постоянными, имеют четкий физический смысл и могут быть определены по паспортным данным двигателя, либо экспериментально.

Шаг третий. Этот шаг связан с определением момента. Момент в уравнении (3.6.4) является векторным произведением любой пары векторов. Из

уравнения (3.6.8) следует, что таких пар может быть шесть $(i_s, i_r); (\psi_s, \psi_r); (i_s, \psi_s); (i_s, \psi_r); (i_r, \psi_r); (i_r, \psi_s)$. Часто в рассмотрение вводится потокосцепление взаимной индукции $\psi_m = L_m (i_s + i_r)$. В этом случае появляется ещё четыре возможности представления электромагнитного момента машины через следующие пары: $(i_s, \psi_m); (i_r, \psi_m); (\psi_s, \psi_m); (\psi_r, \psi_m)$. После выбора той или иной пары уравнение момента приобретает определенность, а количество уравнений в системе (3.6.8) сокращается до двух. Кроме того, в уравнениях (3.6.3) и (3.6.4) векторные величины момента и скорости могут быть заменены их модульными значениями. Это является следствием того, что пространственные векторы токов и потокосцеплений расположены в плоскости, перпендикулярной оси вращения, а векторы момента и угловой скорости совпадают с осью. В качестве примера покажем запись уравнений момента через некоторые пары переменных состояния машины.

$$\begin{aligned} M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Mod}(i_s^\times i_r) \\ M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Mod}(\psi_s^\times i_s) \\ M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Mod}(\psi_r^\times i_s) \end{aligned} \quad (3.6.9)$$

3 Имитационное моделирование

3.1. Математическое описание погружного асинхронного двигателя

Все параметры и переменные состояния электропривода представляются в относительных единицах. Использование относительных единиц при моделировании режимов работы электрических машин источников их питания характеризуется наглядностью и определённым удобством при моделировании

Общая формула перехода к относительным единицам имеет вид:

$$y = \frac{Y}{Y_0} \quad (3.7.1)$$

где Y – значение физической величины (параметра, воздействия, переменной

состояния и др.) в *исходной* системе единиц, например в единицах СИ;

Y_0 – *базисное* значение, выраженное в той же исходной системе, принятое в качестве единицы измерения величины Y в системе относительных единиц;

y – значение величины в системе *относительных* единиц.

В качестве основных базовых величин выбираются амплитудные номинальные значения фазного напряжения и тока, а также номинальное значение угловой частоты:

$$U_b = \sqrt{2} \cdot U_1, I_b = \sqrt{2} \cdot I_1, \omega_b = 2\pi \cdot f_1 \quad (3.7.2)$$

на этой основе определяются базовые значения всех переменных и коэффициентов, входящих в уравнения, а также базового времени:

$$R_b = \frac{U_b}{I_b}, L_b = \frac{U_b}{\omega_b \cdot I_b}, \psi_b = \frac{U_b}{\omega_b}, M_b = \frac{3}{2} z_p \frac{U_b \cdot I_b}{\omega_b}, t_b = \frac{1}{\omega_b} \quad (3.7.2)$$

В дальнейшем используются уравнения только в относительных величинах. Обобщенная система уравнений для описания асинхронной машины принимает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{u_s} = r_s \cdot \overline{i_s} + \frac{d\overline{\psi_s}}{dt} + j \cdot \alpha_k \cdot \overline{\psi_s} \\ \overline{u_r} = r_r \cdot \overline{i_r} + \frac{d\overline{\psi_r}}{dt} + j \cdot (\alpha_k - \nu) \cdot \overline{\psi_r} \\ \overline{\psi_s} = x_s \cdot \overline{i_s} + x_m \cdot \overline{i_r} \\ \overline{\psi_r} = x_r \cdot \overline{i_r} + x_m \cdot \overline{i_s} \\ m = k \cdot \text{Mod}(\overline{\psi_i} \times \overline{i_k}) \\ T_m \frac{d\nu}{dt} = m - m_n \end{array} \right. \quad (3.7.3)$$

В этих уравнениях все переменные относительные, полученные как результат деления реальных значений на базовые, все коэффициенты также безразмерные, полученные аналогично. Переменные и параметры в относительных единицах:

$$\overline{u} = \frac{\vec{u}}{U_b}, \quad \overline{i} = \frac{\vec{i}}{I_b}, \quad \overline{\psi} = \frac{\vec{\psi}}{\psi_b} - \text{относительные электромагнитные переменные состояния.}$$

$$\alpha_k = \frac{\omega_k}{\omega_b}, \quad \nu = \frac{\omega}{\omega_b} - \text{относительная частота статора и относительная скорость ротора.}$$

$$m = \frac{M}{M_b} - \text{относительный момент на валу машины}$$

$$r_s = \frac{R_s}{R_{\bar{\sigma}}}, \quad r_r = \frac{R_r}{R_{\bar{\sigma}}}, \quad x_s = \frac{X_s}{R_{\bar{\sigma}}} = \frac{X_{s\sigma} + X_m}{R_{\bar{\sigma}}}, \quad x_r = \frac{X_r}{R_{\bar{\sigma}}} = \frac{X'_{r\sigma} + X_m}{R_{\bar{\sigma}}}, \quad x_m = \frac{X_m}{R_{\bar{\sigma}}}$$

– относительные параметры.

В уравнениях (3.7.3) время принято безразмерным $\bar{t} = \frac{t}{t_b} = \omega_b \cdot t$, то есть

единицей измерения времени является не секунда, а $t_b = \frac{1}{\omega_b \cdot t}$.

Амплитудное значение номинального фазового напряжения:

$$U_{\bar{o}} = \sqrt{2} \cdot U_{1n} = \sqrt{2} \cdot 400 = 565,68 \text{ (В)} \quad (3.7.4)$$

Амплитудное значение номинального фазного тока:

$$I_{\bar{o}} = \sqrt{2} \cdot I_{1n} = \sqrt{2} \cdot 25,8 = 36,49 \text{ (А)} \quad (3.7.5)$$

Номинальное базисное сопротивление

$$R_{\bar{o}} = \frac{U_{\bar{o}}}{I_{\bar{o}}} = \frac{U_{nm}}{I_{nm}} = \frac{U_{1n}}{I_{1n}} = \frac{400}{25,8} = 15,5 \text{ (Ом)} \quad (3.7.6)$$

Номинальная угловая частота питающего напряжения двигателя

$$\omega_{\bar{o}} = \omega_{1n} = 2 \cdot \pi \cdot f_{1n} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ (рад/с)} \quad (3.7.7)$$

Базисное потокоцепление

$$\psi_{\bar{o}} = \frac{U_{\bar{o}}}{\omega_{\bar{o}}} = \frac{565,68}{314} = 1,8 \text{ (Вб)} \quad (3.7.8)$$

Базисная мощность

$$P_{\bar{o}} = \frac{3}{2} \cdot U_{\bar{o}} \cdot I_{\bar{o}} = \frac{3}{2} \cdot 565,68 \cdot 36,49 = 30962,5 \text{ (Вт)} \quad (3.7.9)$$

Базисный момент

$$M_{\bar{o}} = \frac{P_{\bar{o}} \cdot z_p}{\omega_{\bar{o}}} = \frac{30962,5 \cdot 1}{314} = 98,6 \text{ (Н·м)} \quad (3.7.10)$$

Полные индуктивные сопротивления обмоток статора и ротора

$$X_s = X_{s\sigma} + X_m = 1,436 + 60,203 = 61,64 \text{ (Ом)} \quad (3.7.11a)$$

$$X_r = X'_{r\sigma} + X_m = 1,942 + 60,203 = 62,145 \text{ (Ом)} \quad (3.7.11b)$$

Индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора

$$L_{s\sigma} = \frac{X_{s\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,436}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0046 \text{ (Гн)} \quad (3.7.12)$$

$$L_{r\sigma} = \frac{X'_{r\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,942}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0062 \text{ (Гн)} \quad (3.7.13)$$

Взаимная индуктивность

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{60,203}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,192 \text{ (Гн)} \quad (3.7.14)$$

Полные индуктивности обмоток статора и ротора

$$L_s = L_{s\sigma} + L_m = 0,0046 + 0,192 = 0,1966 \text{ (Гн)} \quad (3.7.15)$$

$$L_r = L_{r\sigma} + L_m = 0,0062 + 0,192 = 0,1982 \text{ (Гн)} \quad (3.7.16)$$

Механическая постоянная времени электродвигателя в (о.е.)

$$T_m = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{\phi}^2}{z_p \cdot M_{\phi}} = \frac{0,32 \cdot 314^2}{1 \cdot 98,6} = 320 \quad (3.7.17)$$

Базовые значения активных сопротивлений

$$r_s = \frac{R_s}{R_{\phi}} = \frac{1,008}{15,5} = 0,065$$

$$r_r = \frac{R_r}{R_{\phi}} = \frac{0,987}{15,5} = 0,064 \quad (3.7.18)$$

$$\text{Базовое время} \quad \bar{t} = \omega_{\phi} \cdot t \quad (3.7.19)$$

Базовые значения индуктивных сопротивлений

$$x_s = \frac{X_s}{R_{\phi}} = \frac{61,64}{15,5} = 3,977$$

$$x_r = \frac{X_r}{R_{\phi}} = \frac{62,145}{15,5} = 4,01 \quad (3.7.20)$$

$$x_m = \frac{X_m}{R_{\phi}} = \frac{60,203}{15,5} = 3,884$$

Определим безразмерные коэффициенты

$$\begin{aligned}
x'_s &= x_s - \frac{x_m^2}{x_r} = 3,977 - \frac{3,884^2}{4,01} = 0,215 \\
k_r &= \frac{x_m}{x_r} = \frac{3,884}{4,01} = 0,966 \\
r'_s &= r_s + k_r^2 \cdot r_r = 0,065 + 0,966^2 \cdot 0,064 = 0,125 \\
T'_s &= \frac{x'_s}{r'_s} = \frac{0,215}{0,125} = 1,72 \\
T_r &= \frac{x_r}{r_r} = \frac{4,01}{0,064} = 62,656
\end{aligned} \tag{3.7.21}$$

Введение относительных величин существенно сокращает время моделирования и позволяет устранить многие проблемы при моделировании. Рассмотрим модели асинхронной машины в различных системах координат и их основные характеристики.

Схема асинхронной машины с короткозамкнутым ротором (АКЗ) получается из обобщенной схемы (рис.3.6), если обмотки ротора замкнуть накоротко. При этом в общих уравнениях следует положить $\overline{u_r} = 0$.

$$\left\{ \begin{aligned} \overline{u_s} &= r_s \cdot \overline{i_s} + \frac{d\overline{\psi_s}}{dt} + j \cdot \alpha_k \cdot \overline{\psi_s} \\ \overline{u_r} &= r_r \cdot \overline{i_r} + \frac{d\overline{\psi_r}}{dt} + j \cdot (\alpha_k - \nu) \cdot \overline{\psi_r} \\ \overline{\psi_s} &= x_s \cdot \overline{i_s} + x_m \cdot \overline{i_r} & (*) \\ \overline{\psi_r} &= x_r \cdot \overline{i_r} + x_m \cdot \overline{i_s} & (**) \\ m &= k \cdot \text{Mod}(\overline{\psi_i} \times \overline{i_k}) \end{aligned} \right. \tag{3.8.1}$$

Для динамических систем необходимо учитывать переходные электромагнитные процессы в машине. В этом случае в качестве пары переменных, описывающих машину, оставим пространственные векторы тока статора и потокосцепления ротора.

Из уравнения (**) выразим вектор тока ротора:

$$\overline{i_r} = \frac{\overline{\psi_r} - x_m \cdot \overline{i_s}}{x_r}$$

Подставим в уравнение (*)

$$\overline{\psi_s} = x_s \cdot \overline{i_s} + \frac{x_m}{x_r} \cdot (\overline{\psi_r} - x_m \cdot \overline{i_s})$$

После ряда преобразований получим

$$\begin{cases} \overline{u_s} - k_r \cdot \overline{u_r} = r \cdot \overline{i_s} + x_s' \cdot \frac{d\overline{i_s}}{dt} + k_r^2 \cdot r_r \cdot \overline{i_s} - \frac{k_r}{T_r} \cdot \overline{\psi_r} + j \cdot \nu \cdot k_r \cdot \overline{\psi_r} \\ 0 = -k_r \cdot r_r \cdot \overline{i_s} + \frac{1}{T_r} \cdot \overline{\psi_r} + \frac{d\overline{\psi_r}}{dt} + j \cdot (\alpha_k - \nu) \cdot \overline{\psi_r} \\ m = k \cdot \text{Mod}(\overline{\psi_r} \times \overline{i_s}) \\ \overline{T_m} \cdot \frac{d\nu}{dt} = m - m_H \end{cases} \quad (3.8.2)$$

Для того чтобы лучше понять физические процессы, происходящие в АД, исследуем машину в различных системах координат, сравним результаты и сделаем некоторые выводы, необходимые при построении электропривода на базе этой машины. Заметим, что для предоставления пространственных векторов используется комплексная плоскость.

3.2. Анализ асинхронного погружного электродвигателя в неподвижной системе координат

Анализ АД в неподвижной системе координат ($\omega_k=0$, $\alpha_k=0$) вещественная ось обозначается через α , а мнимая через β . Пространственные векторы в этом случае раскладываются по осям:

$$\begin{cases} \overline{u_s} = u_{s\alpha} + j \cdot u_{s\beta} \\ \overline{u_r} = u_{r\alpha} + j \cdot u_{r\beta} \\ \overline{i_s} = i_{s\alpha} + j \cdot i_{s\beta} \\ \overline{\psi_r} = \psi_{r\alpha} + j \cdot \psi_{r\beta} \end{cases} \quad (3.9.1)$$

Подставив эти значения в уравнения (3.9.1) и приравняв отдельно вещественные и мнимые части, получим:

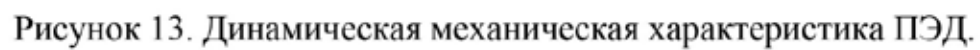
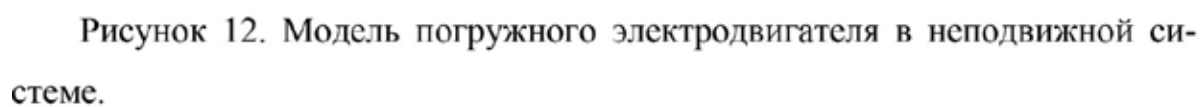
$$\left\{ \begin{array}{l} u_{s\alpha} - k_r \cdot u_{r\alpha} = r \cdot i_{s\alpha} + x_s' \cdot \frac{di_{s\alpha}}{dt} + k_r^2 \cdot r_r \cdot i_{s\alpha} - \frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{r\alpha} - v \cdot k_r \cdot \psi_{r\beta} \\ u_{s\beta} - k_r \cdot u_{r\beta} = r \cdot i_{s\beta} + x_s' \cdot \frac{di_{s\beta}}{dt} + k_r^2 \cdot r_r \cdot i_{s\beta} - \frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{r\beta} + v \cdot k_r \cdot \psi_{r\alpha} \\ 0 = -k_r \cdot r_r \cdot i_{s\alpha} + \frac{1}{T_r} \cdot \psi_{r\alpha} + \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} + v \cdot \psi_{r\beta} \\ 0 = -k_r \cdot r_r \cdot i_{s\beta} + \frac{1}{T_r} \cdot \psi_{r\beta} + \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} - v \cdot \psi_{r\alpha} \\ m = k_R \cdot (\psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}) \\ \overline{T_m} \cdot \frac{dv}{dt} = m - m_H \end{array} \right. \quad (3.9.2)$$

Система уравнений (3.9.2) в операторной форме примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{s\alpha} - k_r \cdot u_{r\alpha} = r \cdot \left(1 + T_s' \cdot p\right) \cdot i_{s\alpha} - \frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{r\alpha} - v \cdot k_r \cdot \psi_{r\beta} \\ u_{s\beta} - k_r \cdot u_{r\beta} = r \cdot \left(1 + T_s' \cdot p\right) \cdot i_{s\beta} - \frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{r\beta} + v \cdot k_r \cdot \psi_{r\alpha} \\ 0 = -k_r \cdot r_r \cdot i_{s\alpha} + \left(\frac{1 + T_r}{T_r}\right) \cdot \psi_{r\alpha} + v \cdot \psi_{r\beta} \\ 0 = -k_r \cdot r_r \cdot i_{s\beta} + \left(\frac{1 + T_r}{T_r}\right) \cdot \psi_{r\beta} - v \cdot \psi_{r\alpha} \\ m = k_r \cdot (\psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}) \\ T_m \cdot p \cdot v = m - m_H \end{array} \right. \quad (3.9.3)$$

Модель АД, построенная по уравнениям (3.9.3), представлена на рисунке 12., а результаты моделирования на рисунке 12,13,14.

На вход модели в момент времени $t=0$ подаются напряжения $u_{s\alpha} = \cos(t)$, $u_{s\beta} = \sin(t)$, тем самым реализуя прямой пуск.



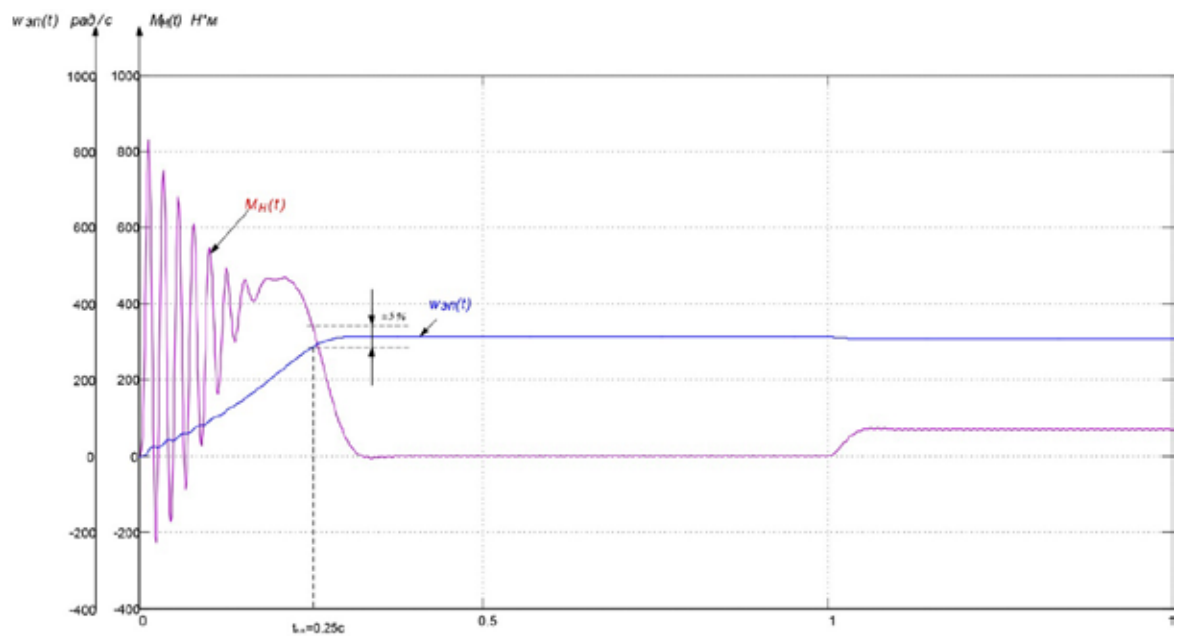


Рисунок 14. График переходного процесса пуска без нагрузки скорости и момента ПЭД с последующим набросом нагрузки.

В результате моделирования были получены переходные процессы по скорости и моменту. Из рисунка видно, что без нагрузки двигатель развил скорость равную синхронной, а при набросе нагрузки скорость просела.

3.4. Анализ ПЭД во вращающейся системе координат

Во вращающейся с относительной скоростью α_k системе координат с вещественной осью x и мнимой осью y уравнения (3.9.3) в операторной форме запишутся в виде :

$$\begin{cases} u_{sx} - k_r \cdot u_{rx} = r \cdot \left(1 + T'_s \cdot p\right) \cdot i_{sx} - x'_s \cdot \alpha_k \cdot i_{sy} - \frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{rx} - v \cdot k_r \cdot \psi_{ry} \\ u_{sy} - k_r \cdot u_{ry} = r \cdot \left(1 + T'_s \cdot p\right) \cdot i_{sy} - x'_s \cdot \alpha_k \cdot i_{sx} - \frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{ry} + v \cdot k_r \cdot \psi_{rx} \\ 0 = -k_r \cdot r_r \cdot i_{sx} + \left(\frac{1 + T'_r}{T_r}\right) \cdot \psi_{rx} - (\alpha_k - v) \cdot \psi_{ry} \\ 0 = -k_r \cdot r_r \cdot i_{sy} + \left(\frac{1 + T'_r}{T_r}\right) \cdot \psi_{ry} + (\alpha_k - v) \cdot \psi_{rx} \\ m = k_r \cdot (\psi_{rx} \cdot i_{sy} - \psi_{ry} \cdot i_{sx}) \\ T_m \cdot p \cdot v = m - m_H \end{cases} \quad (3.10.1)$$

Модель АД во вращающейся системе координат, составленная по уравнениям (3.10.1) представлена на рисунке 15, а результаты моделирования на рисунке 16,17.

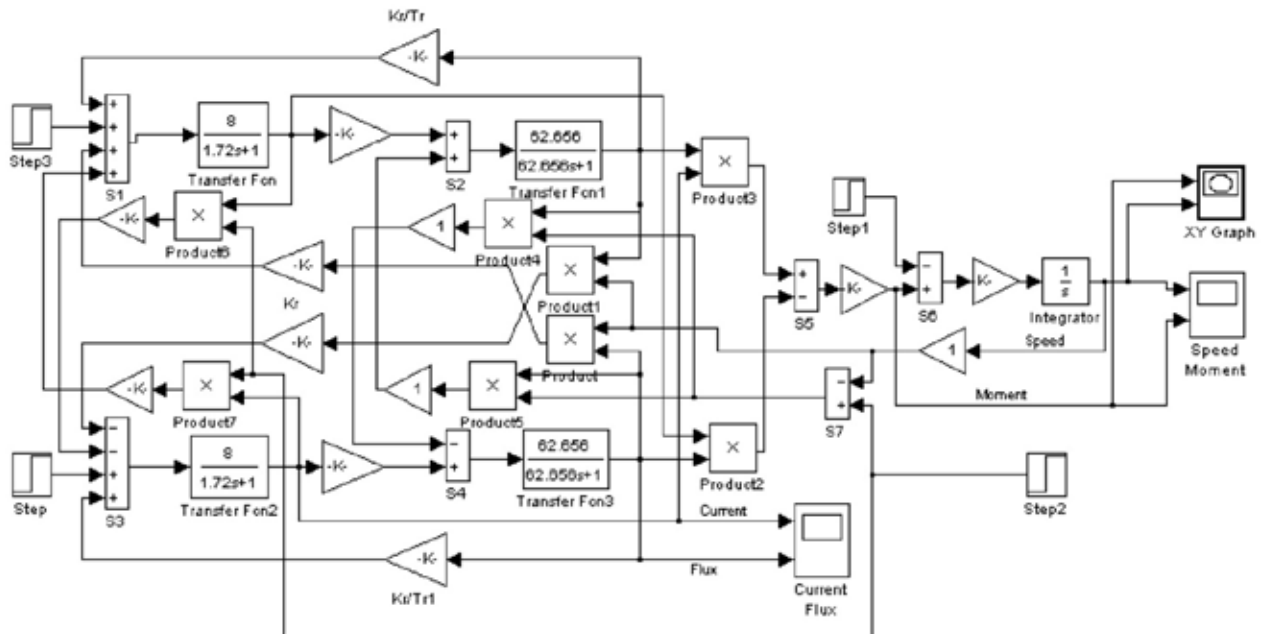


Рисунок 15 – Модель ПЭД во вращающейся системе координат.

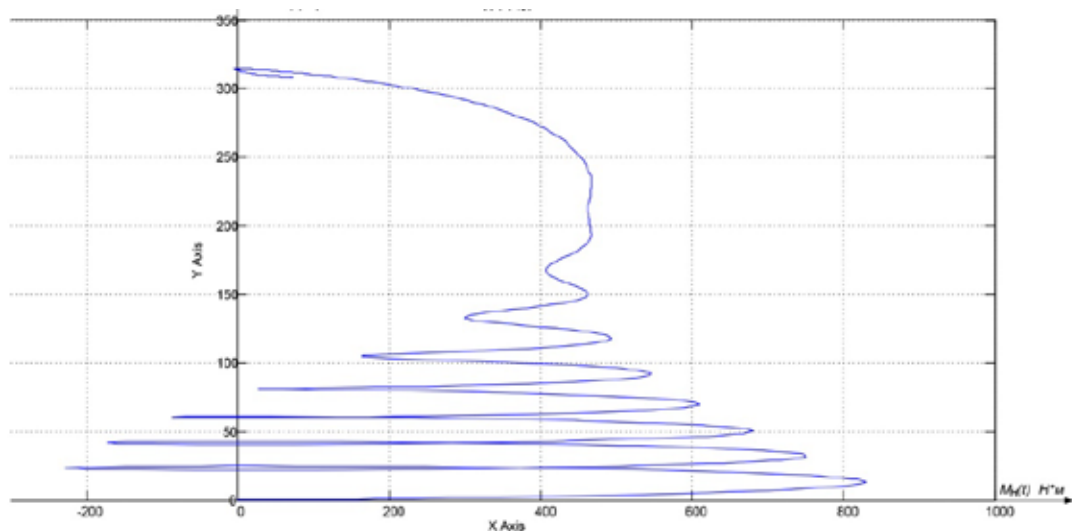


Рисунок 16. Динамическая механическая характеристика ПЭД (вращающаяся система).

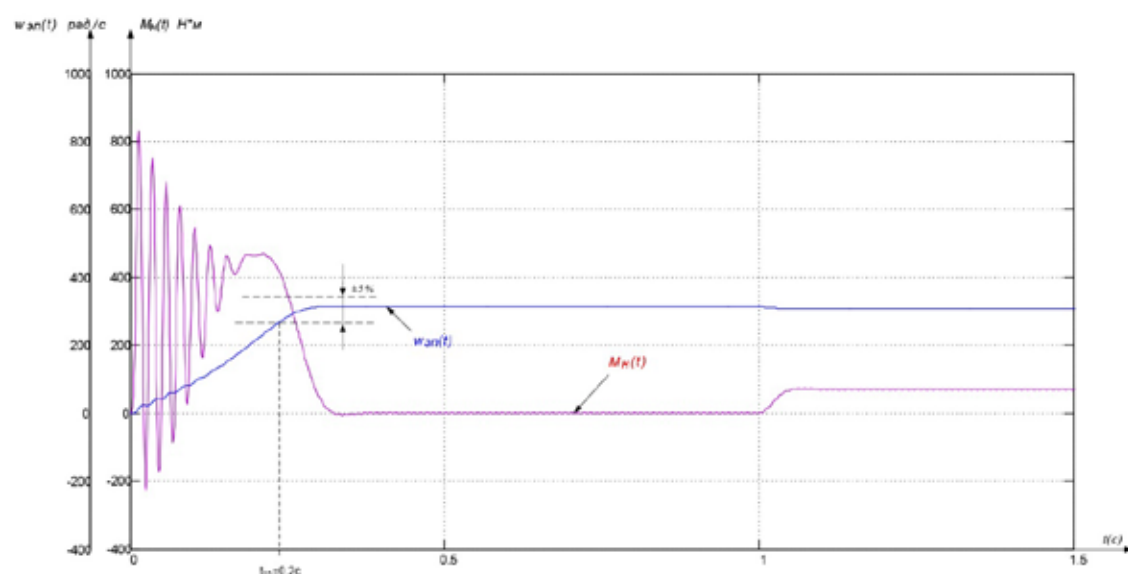
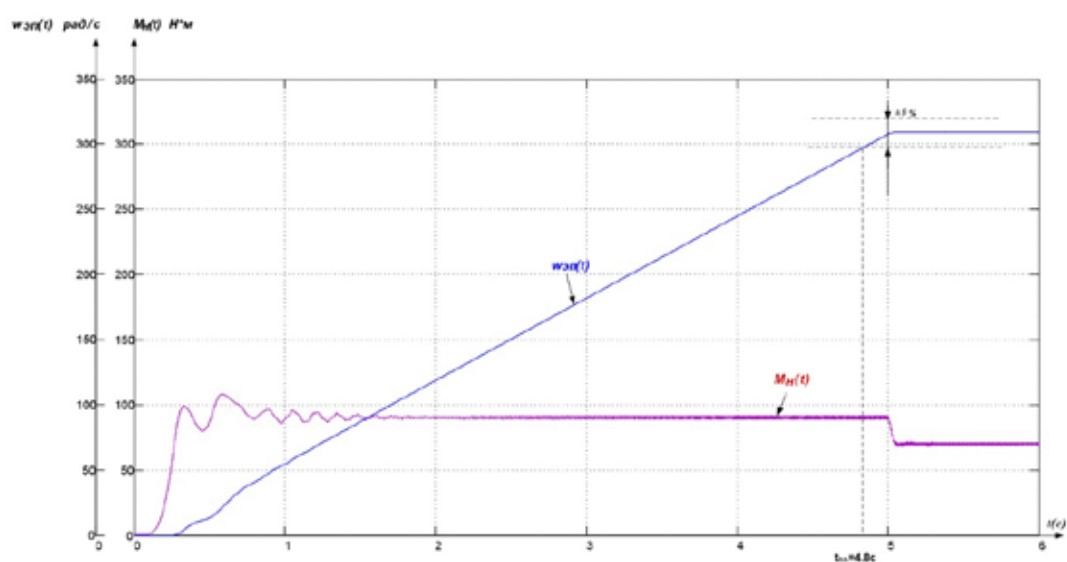


Рисунок 17. . График переходного процесса пуска без нагрузки скорости и момента ПЭД с последующим набросом нагрузки.

Сравнивая результаты моделирования в неподвижной и во вращающейся системе координат, можно сделать вывод об их полной идентичности. Вид переходных процессов при прямом пуске асинхронного электродвигателя показывает наличие колебательной составляющей в кривой электромагнитного момента и затухающей по мере разгона двигателя. При достижении динамической характеристикой критического значения, двигатель имеет максимальное ускорение. Большие ударные моменты при пуске двигателя могут приводить к выходу из строя механизма машины. Значения токов обмоток

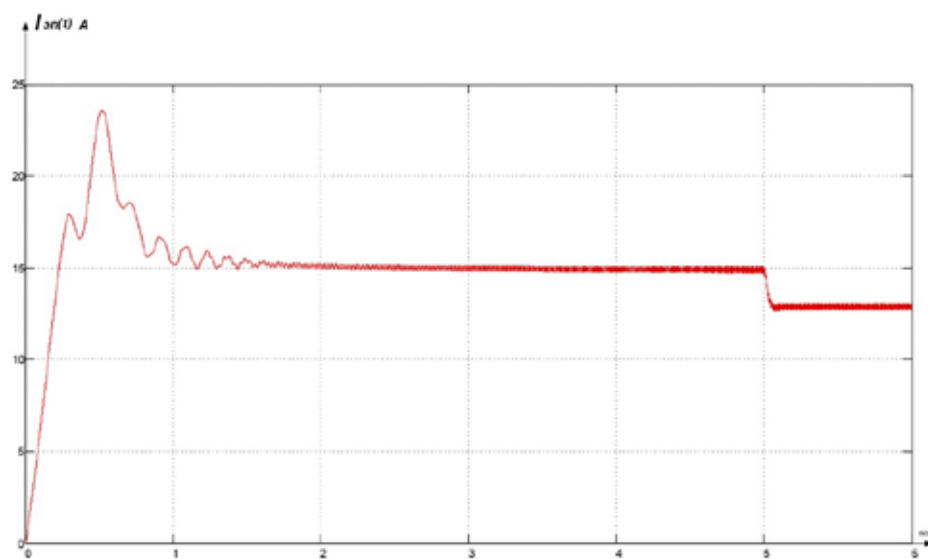
статора во время разгона двигателя достигают значения в несколько сот ампер, что приводит к выходу из строя обмотки статора двигателя, по окончании времени разгона ток уменьшается до номинального. В итоге прямой пуск асинхронного двигателя не позволяет получить удовлетворительных переходных характеристик с этой целью на входе был установлен задатчик интенсивности

Графики переходных процессов с использованием задатчика интенсивности представлены на рисунке 18.



Рису-

нок 18. График переходного процесса пуска под нагрузкой скорости и момента ПЭД с использованием задатчика интенсивности..



Рису-

нок 19.- График переходного процесса пуска под нагрузкой тока статора с использованием задатчика интенсивности..

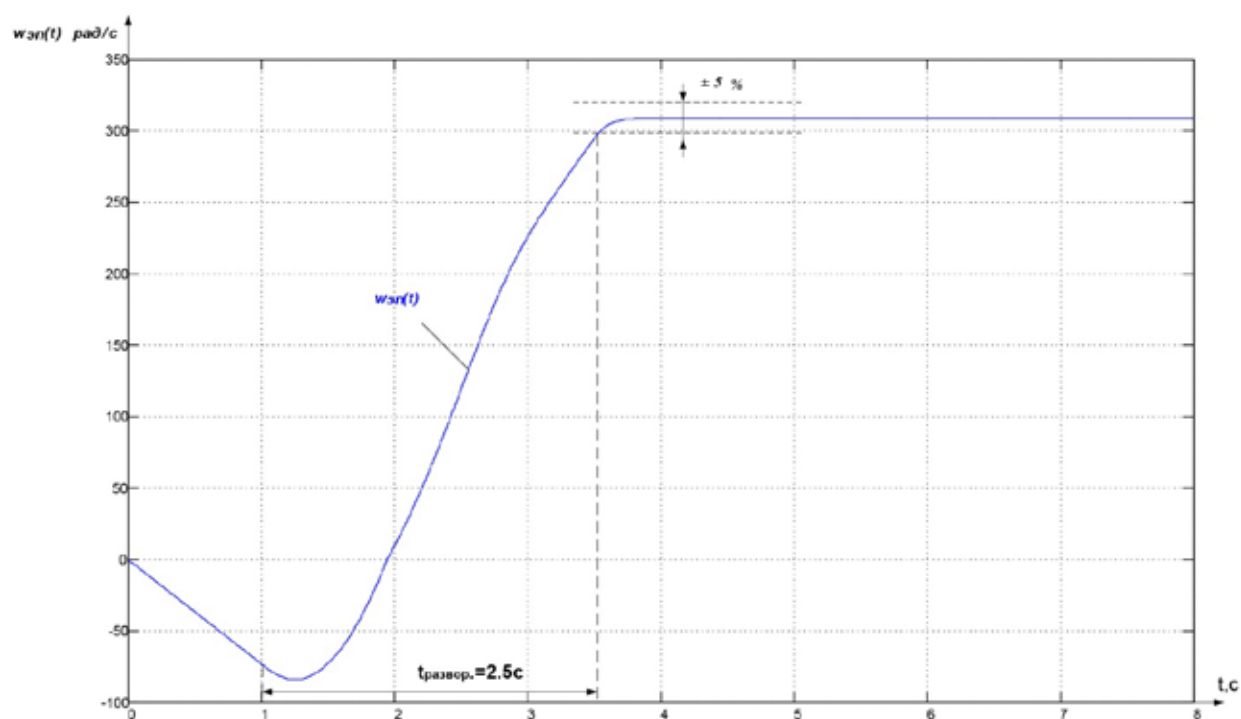


Рисунок 20.- График переходного процесса при развороте турбинного вращения.

Проанализировав полученные графики переходных процессов, можно сказать, что разработанный электропривод удовлетворяет предъявляемым требованиям. Применение датчика интенсивности исключает колебательность переходного процесса и обеспечивает заданный темп разгона.

4 РАСЧЕТ И ВЫБОР КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ УЭЦН

При исследовании действий протекающих в кабельной полосе УЭЦН, нужно учитывать необыкновенности ее системы. Так, кабельная линия в целом случае составлена из нескольких участков кабеля, соединенных друг от друга при помощи соединительных муфт. Помимо всего этого, коль скоро доз-воляет поперечник обсадной колонны скважины, немалая часть кабельной по-лосы исполнена круглым кабелем, а участок в. конкретной близости от по-гружного электродвигателя — плоским кабелем наименьшего сечения. Спайка этих участков также делается с помощью соединительной муфты.

Кабельную линию в едином характеризуют утраты напряжения ΔU и утраты мощности ΔP в линии. Эти значения зависят от напряжения питания, тока нагрузки, коэффициента, мощности нагрузки, и также, от параметрических показателей линии.

4.1. Схема замещения кабельной линии

Главными параметрами, определяющими кабельную линию, считаются энергичные противодействия фаз R_A, R_B, R_C , распределенные личные индук-тивности фаз L_A, L_B, L_C , распределенные емкости фаз что же касается экрана C_A, C_B, C_C , также межфазные обоюдные индуктивности M_{AB}, M_{BC}, M_{AC} и емко-сти C_{AB}, C_{BC}, C_{AC} .

Как говорить в случае; обозначенные характеристики разны для любого из участ-ков, что имеет какую либо связь с производственным разбросом ха-рактеристик, дряхлением изоляции, различным качеством электронных со-единений в муфтах. Помимо всего этого, нужно, учесть широкий спектр кон-фигурации температуры среды зависимо от глубины подвески погружного оборудования и, как последствие, перемена характеристик кабеля на различ-ных участках зависимо от температуры.

Таким макаром, режим работы любого из участков кабельной полосы находится в зависимости от характеристик всех других участков, источника кормления, нрава и величины перегрузки, также критерий среды. Как следует,

от совокупы данных причин находятся в зависимости характеристики полосы в общем и режим работы всего электротехнического ансамбля УЭЦН.

Схема замещения одной фазы таковой кабельной полосы, представляемой п участками, работающей в составе электротехнического ансамбля УЭЦН приведена на рисунке 20, а соответственная энергетическая структурная модель - на рисунке 21.

Приведенная модель характеризуется последующими параметрами:

Полное количество, подсистем $K - 2n$;

Численность электронных подсистем $Kэ - n$;

Численность термических подсистем $Kт - n$;

Полное количество преобразователей энергии (ПЭ) $П - 2n$;

Число ПЭ вида «электронная - электронная» $Пээ - n$;

Численность ПЭ вида «электронная - термическая» $Пэт - n$;

Число силовых каналов передачи энергии $С - 1$;

Численность ступенек переустройства в силовых каналах $ПС - n$;

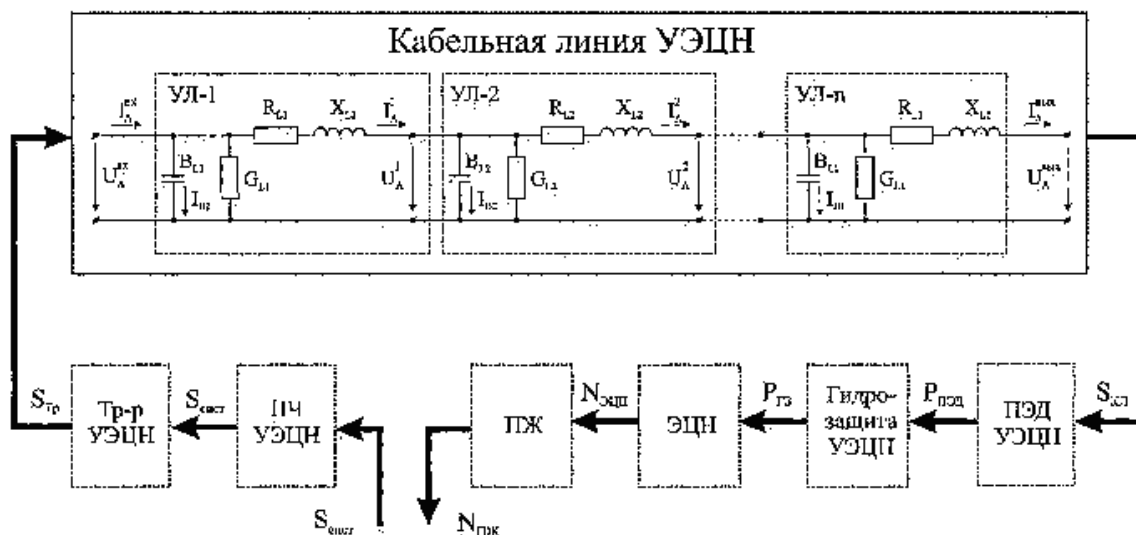


Рисунок 20. Схема кабельной линии замещения, действующей в составе ЭТК УЭЦН.

4.2 Расчет параметров схемы замещения

Для оценки кабельной - полосы УЭЦН, произведем расчет характеристик схемы замещения для простого варианта, как скоро линия состоит из 1-го участка кабеля. Линия исполнена плоским кабелем КПБП сечением . 6 мм. Протяженность кабеля. 1500 метром. Линия питает погружной, эл-двигатель на подобии ПЭДТН22-103В5 -производства ЗАО «Новомет» мощностью 22 кВт, с номинальным напряжением. 700 В. Коэффициент силы мотора равен. 0,879; к.п.д. - 81%,

Зная симметричный нрав перегрузки, какой считается асинхронный эл-двигатель, воспримем утраты напряжения и силы в некой фазе исследуемой полосы, аппроксимируя заключительную схемой с сосредоточенными параметрами. Беря во внимание условно маленькую длину; кабельных линий УЭЦН-(до'3 км), используем; Г-образную. схему замещения (набросок 21),

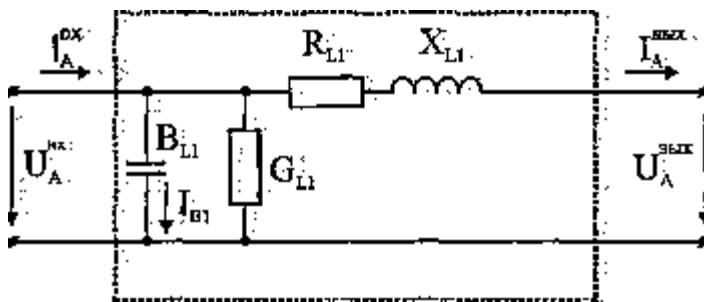


Рисунок 21. Г-образная схема замещения кабельной линии УЭЦН.

Активное сопротивление линии :

$$R_L = l \times R_0 = l \times \frac{1}{s \lambda} = 1500 \times \frac{1}{16 \times 50} = 1.875 \text{ Ом}$$

где $s=16 \text{ мм}^2$ — сечение линии, $\lambda=50 \text{ мСм}$ — удельная проводимость меди.

Индуктивное противодействие полосы:

$$X_L = l \cdot X_0 = l \cdot 0.02 \cdot \pi \cdot \left(\ln \frac{a}{\gamma} + \frac{1}{4} \right) = 1500 \cdot 0.08 \cdot 10^{-3} = 0.12 \text{ Ом.}$$

где $a = \sqrt[3]{a_1 a_2 a_3}$ - среднегеометрическое расстояние меж фазными проводниками кабеля, λ - приведенный радиус фазного проводника;

Реактивная проводимость кабельной полосы, имеющая емкостной нрав, ориентируется так :

$$b_L = l \cdot b_0 = l \cdot (31 + 9\sqrt{s}) = 1500 \cdot (31 + 9\sqrt{16}) = 100.5 \cdot 10^3 \text{ нСм.}$$

Воспримем значение утрат напряжения в кабельной полосе УЭЦН в номинальном режиме работы электродвигателя.

Активная мощность, потребляемая электродвигателем в режиме работы номинальном:

$$P_{1H} = P_{2H} / \eta = 22 / 0,81 = 27,16 \text{ кВт.}$$

Мощность реактивная:

$$Q_{1H} = P_{1H} \cdot \tan(\varphi) = 27,16 \cdot \tan(\arccos(0.879)) = 16.13 \text{ кВАр.}$$

Тогда напряжения потери

$$\Delta U_H = \frac{P_{1H} \cdot R_L + Q_{1H} \cdot X_L}{U_{1H}} = \frac{27160 \cdot 1.875 + 16130 \cdot 0.12}{700} = 75.5 \text{ В,}$$

что составляет 11% от питающей величины напряжения.

5 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ПИТАНИЯ ПОГРУЖНОГО НАСОСА

Отталкиваясь из расчета линии кабельной и мощности электродвигателя погружного, найдем повышающий трансформатор:

Трансформатор ТМПН-63/856-73ХЛ1:

Номинальная мощность $S_N = 63$ кВА..

Номинальное первичное напряжение $U_N = 380$ В.

Номинальное вторичное напряжение $U_{2N} = 781$ В.

Напряжения ступеней регулирования:

1023-982-941-900-856-824-781-739-698-657 В.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Романову Сергею Константиновичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места насосной станции по откачки пластовой жидкости погружным насосом .

Рабочее место представляет собой площадка на открытом воздухе, находящиеся на высоте вблизи электрооборудования под высоким напряжением. Вредные и опасные факторы производственной среды: длительное время пребывания персонала в условиях низких или высоких температур, высокая влажность (летом- дожди) движущиеся машины и механизмы монтажного и ремонтного оборудования, вероятность поражения электрическим током, пониженный уровень освещенности (в ночное время), повышенный уровень вибрации и шума от работающих приводных электродвигателей, высокое давление трубопровода, воздействие вредных газов и паров (нарушение герметичности фланцевых соединений), воздействие движущих частей оборудования, нагревающихся до высоких температур. Чрезвычайные и аварийные ситуации – пожары.

- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды;

Основными вредными факторами погружного насоса серии УЦЭН являются:

- а) Воздействие вредных газов и паров, запыленность;
- б) Шум и вибрация;
- в) Метеорологические условия;
- г) Недостаточная освещенность рабочей зоны.

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды;

Опасными факторами являются:

Возможность получения травм в следствии:

- а) движения машин и механизмов;
- б) высокое давление трубопроводов
- в) расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола);
- г) Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

3. Охрана окружающей среды:

- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);

- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

4. Защита в чрезвычайных ситуациях:

- перечень возможных ЧС на объекте;
- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;
разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

Перечень графического материала:

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖД	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Романов Сергей Константинович		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

ВВЕДЕНИЕ

Социальная ответственность – это объективная необходимость отвечать за нарушения социальных норм. Она определяет характер взаимоотношения человека с окружающим обществом, людьми. В основе социальной ответственности лежит общественная природа поведения человека.

Цель данного раздела выявить и проанализировать опасные и вредные факторы, имеющие на добычи пластовой жидкости, и разработка мер по снижению вредных факторов воздействующих на обслуживающий персонал. Данные мероприятия должны учитывать нормы, правила, инструкции, документы, закрепленные в нормативно правовых актах. Добыча пластовой жидкости в частности нефти и газа, воды - трудный и опасный процесс, требующий от персонала специальных навыков и технической подготовки для работы на специальном дорогостоящем оборудовании. УЭЦН – сложная электромеханическая установка, имеющая в своем составе вращающиеся детали, находящиеся под давлением трубопроводы и токоведущие кабели, отчего является объектом повышенной опасности. Главной задачей улучшения условия труда является обеспечения безопасности труда, снижения уровня производственного травматизма, сохранение здоровья и жизни рабочего персонала. Для обеспечения безопасности труда необходимо строго выполнять требования техники безопасности, использовать средства индивидуальной защиты от вредных и опасных факторов появляющиеся при производственной деятельности. Здоровье и безопасность труда персонала должны быть обеспечиваться выполнением норм и правил при монтаже УЭЦН, так и при их эксплуатации. Добыча полезных ископаемых «пластовой жидкости» испокон веков остается самой сложной, опасной и трудоемкой работой, особенно если эти ископаемые приходится добывать с большой глубины и в неблагоприятных климатических условиях. Добыча сопряжена с опасными и вредными производственными факторами. Приведем обобщающую таблицу 1, необходимую для общего

представление обо всех выявленных факторах на площадках по откачки пластовой жидкости.

Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) проводится с использованием «Классификация вредных и опасных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003-74 (с изменен. №1, октябрь 1978 г., переиздание 1999г.)»

Таблица 1 – Основные элементы производственного процесса , формирующие опасные и вредные факторы.

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Монтаж, обслуживание и ремонт.		Движущиеся машины и механизмы	
		Электрический ток	
		Высокое давление трубопроводов	
		Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола)	
	Воздействие вредных газов и паров, запыленность		
	Превышение уровня шума		
	Превышение уровня вибрации		
	Метеорологические условия		
	Пониженный уровень освещенности		

6.1 Производственная санитария

6.1.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.

Воздействие вредных газов и паров, запыленность.

Площадка, как правило, засыпаются песком чтобы исключить скользкие места в зимний период, поэтому при сильных ветрах случается поднятие частиц песка и пыли, которые могут попасть в глаза и верхние дыхательные пути. Нормирование метеорологических параметров устанавливает ГОСТ 12.1.005-76.

В ходе производственных операций рабочие могут подвергаться воздействию вредных газов и паров, источником которых являются нарушения герметичности фланцевых соединений, механической прочности фонтанной арматуры (свище, щели по шву) вследствие внутренней коррозии или износа, превышения максимально допустимого давления, отказы или выходы из строя регулирующих и предохранительных клапанов. Пары газа при определенном содержании их в воздухе могут вызвать отравления и заболевания. При постоянном вдыхании природных газов и поражается центральная нервная система, снижается артериальное давление, становится реже пульс и дыхание, понижается температура тела. Особенно опасен сероводород – сильный яд, действующий на нервную систему. Он нарушает доставку тканям кислорода, раздражающе действует на слизистую оболочку глаз и дыхательных путей, вызывает острые и хронические заболевания, ПДК H_2S – 0,1 мг/м³ (ГОСТ 12.1.005-76.) Высокое давление и загазованность указывают на повышенную пожаро-и взрывоопасность объекта. Для борьбы с воздействием данного фактора необходимо применять средства защиты дыхательных путей СИЗОД (распираторы, лепестки)

Превышение уровня шума.

Процесс добычи ископаемых связан с работой множества приводов и механизмов, которые издают различные шумы. Для снижения шума необходимо применять различные методы коллективной защиты:

Уменьшение уровня шума в источнике его возникновения;

Рациональное размещение оборудования;

Борьба с шумом на путях его распространения, в том числе изменения направленности излучения шума;

Использование средств звукоизоляции, звукопоглощение и установка глушителей шума, в том числе акустическая обработка поверхностей помещения.

Таблица 2 – Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука (ГОСТ 12.1.003-83 с изм. 1999г)

Рабочие места	Уровень звукового давления, дБл, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука эквивалентные уровни звука, дБл.
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятия	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Борьба с шумом заключается, в поглощение его источника. Для снижения механического шума необходимо смазывать трущиеся места механизмов, проводить своевременный ремонт оборудования, применять балансировку вращающихся частей. Снижения шума в электрических машинах путем изменения их конструкции.

Превышение уровня вибрации.

Одним из важным моментом в работе оборудования является его вибрация, в результате не отбалансированных его узлов, элементов или особенности конструкции. В целом вибрация сказывается разрушающим характером для него.

Для борьбы с вибрацией оборудования, к их элементам конструкции применять материалы поглощающие вибрацию, в частности специальные сплавы, пластмассы, резины, вибродемпфирующие покрытия. Для поглощения общей вибрации оборудования использовать виброгасящие фундаменты.

Метеорологические условия.

Одна из главных особенностей условий труда операторов по добычи из пластов – это работа, в основном, на открытом воздухе, а также работа, связанная с перемещениями на территории объекта и между объектами, частыми подъемами на специальные площадки, находящиеся на высоте. Поэтому в условиях сурового климата Западной Сибири и Крайнего Севера с низкими температурами (зимой до -50°C) и высокой влажностью (летом до 100%) играет метеорологические факторы. При низкой (сверхдопустимых норм) температуре окружающей среды тепловой баланс нарушается, что вызывает переохлаждение организма, ведущее к заболеванию. В случае низкой температуры воздушной среды уменьшается подвижность конечностей вследствие интенсивной теплоотдачи организм, что сковывает движения. Это может послужить причиной несчастных случаев и аварий.

При длительном пребывании работающего в условиях низкой температуры и, следовательно, переохлаждении организма возможно возникновение различных острых и хронических заболеваний: воспаление верхних дыхательных путей, ревматизм и другие. Результатами многократного воздействия низких температур являются пояснично-крестцовый радикулит и хроническое повреждение холодом (ознобление).

При высокой температуре снижаются внимание и скорость реакции работающего, что может послужить причиной несчастного случая и аварии. При работе в летнее время при высокой температуре (до +50 С) возможны перегревания организма, солнечные и тепловые удары.

Для снижения влияния метеорологических условий необходимо применять, спецодежду установленного образца исходя из климатических условий района где выполняются работы по добычи из пластов. А так же оборудования мест обогрева и отдыха персонала в течение рабочего времени, и отведение времени из рабочего времени на данные мероприятия.

В районах с жарким и очень жарким климатом в служебных помещениях и в жилых комнатах общежитий вахтовых поселков должны быть установлены кондиционеры.

Пониженный уровень освещенности.

В процессе работы на персонал влияет фактор пониженного освещенности рабочего места. Неудовлетворительное освещение может исказить информацию, кроме того вызывать утомление всего организма в целом. Освещение должно обеспечивать работу без напряжения зрения.

На площадках используется естественное, совмещенное и искусственное освещение. Для освещения помещений применяется газоразрядные лампы низкого и высокого давления – люминесцентные, натриевые, металлогенные, дуговые ртутные лампы.

Освещение делятся на рабочее, аварийное, охранное. Рабочее включает в себя стационарное, местное, ремонтное освещение. Охранное освещение предусматривается по периметру производственной площадки. Ремонтное освещение необходимо запитать от источника пониженного напряжения 12-42 В. При выполнении точных работ, следует использовать переносные светильники.

Таблица 3 - Нормы освещенности рабочих поверхностей при искусственном освещении основных производственных зданий и площадок в нефтяной промышленности. (СНиП II – 4-79).

Наименование объекта	Освещенность (ЛК) при общем освещении лампами накаливания
Рабочая площадка	30
Роторный стол	100
Пульт и щит управления без измерительной аппаратуры (рычаги, рукоятки)	75
Пульт и щит управления с измерительной аппаратурой	150
Маршевые лестницы, переходы	10
Насосные станции	50
Места управления задвижками на территории резервуарных парков	30

6.1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Движущиеся машины и механизмы.

Опасность для персонала представляет движение механизмов и узлов оборудования. Для предотвращения травматизма необходимо проводить инструктажи по ТБ. Определить маршруты безопасного прохода персонала к рабочим местам, с указанием их, используя соответствующие информационные таблички. Механизмы выполняющие движущие либо вращающие функции должны быть обеспечены защитными кожухами, если не возможна установка их, выполняется ограждение опасного механизма.

Электрический ток.

Эксплуатация скважин с УЭЦН характеризуется с наличием высокого напряжения в силовом кабеле. Причем станция управления и скважина оборудования УЭЦН обычно находятся на расстоянии друг от друга и часть кабеля проходит по поверхности, что увеличивает зону поражения электротоком, а

следовательно и вероятность несчастного случая. Электрический ток, протекая через тело человека, производит термическое, механическое, электролитическое, биологическое действие.

К электротравмам относят электрический удар, при котором происходит сокращение различных мышц, что приводит к судорогам, нарушению сердечной деятельности и остановке дыхания. Остановка сердца связана с фибрилляцией – хаотичное сокращении сердечной мышцы.

Таблица 4 – Предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений прикосновения и сила тока по ГОСТ 12.1.038 – 82

Род и частота тока	Нормируемая величина	ПДУ при t,с.	
		0,01-0,08	Свыше 1
Переменный	U_d	650В	36В
	I_d	-	6мА
Постоянный	U_d	650В	40В
	I_d	-	15мА

Для защиты персонала от возможного поражения током необходимо, чтоб работы связанные с монтажом (демонтаж) погружного агрегата УЦЭН и его обслуживание допускается электротехнический персонал, знающих схемы подключения, прошедших обучения , стажировку, а так же проверку знаний с присвоением квалификационной группы по электробезопасности. Работы выполнять в СИЗ (диэлектрических перчатках).

Высокое давление трубопроводов.

В процессе работы УЦЭН все трубопроводы находятся под давлением. Для замера и контроля за давлением должны быть установлены стационарные манометры с трехходовыми кранами. Конструкция устьевого оборудования должна обеспечивать возможность снижения давления в затрубном пространстве, а так же закачку жидкости для глушения скважины. Персонал в течении смены должен производить контроль за работой оборудования в частности и за давлением в трубопроводах, с помощью показаний манометров и заносить

в журнал установленной формы. Проверять герметичность фланцевых соединений, кроме того, проверяют правильность настройки регуляторов давления и предохранительных устройств (предохранительные запорные клапаны, клапаны блокировки, сбросные и отсекательные клапаны).

Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола).

Монтаж (демонтаж) УЦЭН и дальнейшее обслуживание связано с частыми подъемами персонала на различную высоту от поверхности земли(пола). Для исключения падения необходимо места прохода персонала оборудовать перилами, ограждением. Когда нет возможности оградить рабочие места то необходимо применять СИЗ (монтажные пояса, страховочные канаты)

6.2 Пожарная безопасность.

Площадки по откачки пластовой жидкости являются опасным исходя из пожарной безопасности объектом, в зависимости от рода откачиваемой жидкости присваивается категория по пожарной безопасности.

При добыче метана из угольных пластов присваивается степень пожарной опасности: категория А. Производство, связанное с получением, применением или хранением: жидкостей, имеющих температуру вспышки паров (28°C) и ниже; паров или газов с нижним пределом взрываемости 10% и менее в количествах, которые могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси; горючих жидкостей при температуре нагрева их до 250°C

Опасным фактором для человека является открытый огонь , продукты горения токсичных продуктов, повреждение и обрушение здания , взрыв.

Для предотвращения пожара необходимо выполнять ряд профилактических мероприятий:

1. Предотвращать образование горючей среды.
2. Предотвращать образование в горючей среде источников зажигания .

3. Уменьшение объема горючей среды.

4. Контроль за исправностью электрооборудования.

Территория должна быть оборудована пожарным щитом, с необходимыми первичными средствами тушения. Персонал должен быть проинструктирован по поведению в случаях пожарной ситуации, уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения, владеть информацией по эвакуации с объекта.

Для тушения пожара используют следующие средства пожаротушения: ручные пенные огнетушители типа ОП, углекислотные огнетушители ОУ-2, пенопроизводящие установки – пеносмесители, воздушнопенные стволы, генераторы высококоротной пены, гидранты и другие средства.

6.3 Охрана окружающей среды

При добычи пластовой жидкости в частности нефти, газа и т.д., наносится большой вред недрам земли, так как данные ресурсы являются не возобновляемыми, поэтому по исчерпанию промышленного объема залежей приходится бурить новые скважины и заново монтировать оборудование. Добывающий участок постоянно перемещается, оставляя за собой остатки добываемого сырья, мусора (остатки жизнедеятельности человека). Все это наносит большой вред живой природе, влияет на гидрологию, климат, условия жизни местного населения. Химические вещества, пыль, бытовые отходы заражают воздух, воду, почву, воздействуют на биопродуктивность водоемов и окружающей животный мир. Воздействие шума, вибрации, динамическое воздействие на почву так же негативно сказывается на окружающей природу.

Для снижения интенсивности загрязнения необходимо проводить ряд мероприятий.

Для снижения выброса вредных веществ в воздух необходимо, создавать препятствия на пути их распространения используя различные фильтры и создания полос озеленения вокруг производственного объекта.

Для снижения воздействия на гидросферу необходимо: регулярная проверка, и анализ выброса вредных веществ в сточные воды, водоемы, создания систем очистки.

Для снижения шумового воздействия необходимо строительство препятствий на пути распространения шума.

Для снижения выброса бытовых отходов, отходов промышленного производства, необходимо производить утилизацию – переработку отходов. Для временного хранения отходов использовать площадки ТБО.

Рациональное использование и обязательную рекультивацию земель после бурения.

6.4. Защита при ЧС

Насосные станции в соответствии с требованиями постановления Правительства Российской Федерации от 19.09.1998г №1115 «О порядке отнесения организации к категориям по гражданской обороне» отнесены к объектам по гражданской обороне.

На насосные станции могут повлиять следующие опасности:

1. Разрушение в следствии воздействия техногенного характера.

Для исключения вероятности данного ЧС необходимо : на территории не хранить вещества химического и радиоактивного характера. Учесть при проектировании два независимых источника питания, так как станция относится к первой категории по электроснабжению.

2. Пожар на территории объекта.

3. Вмешательство сторонних лиц (теракт).

Для снижения риска вероятности ЧС необходимо : проработать с персоналом методику снижения риска ЧС, действия при ЧС. На объекте необходимо учесть при проектировании средства доведения сигналов оповещения при ГО и ЧС до персонала. На объекте должно быть наличие дополнительного источника электропитания, запасов питьевой воды, запасных частей для оборудования.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Романов Сергей Константинович

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление / специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- общая сумма всех затрат на выполнение проекта составляет 223 147руб.; - в разработке проекта задействованы 2 человек: руководитель проекта, инженер-разработчик;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» - минимальный размер оплаты труда в 2017 году составляет 6675 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- Отчисления по страховым взносам - 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Потенциальные потребители результатов проекта - Формирование вариантов проектного решения проблем с учетом потерь электроэнергии
2. Планирование и формирование бюджета проектной работы	- Планирование работ по проекту - Расчет бюджета затрат на проектирование - Расчет капитальных вложений в основные средства
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение экономической эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Линейный график проекта
2. Смета затрат

3. Структура затрат на ремонт

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Романов Сергей Константинович		

7.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение эффективности проекта с точки зрения его конкурентоспособности, капиталоемкости и стоимости эксплуатации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить потенциальных потребителей;
- выбрать и обосновать структурную схему электропривода;
- произвести планирование этапов работ;
- рассчитать бюджет проекта;
- определить экономическую эффективность проекта.

7.1. Потенциальные потребители проекта.

В нефтегазодобывающей промышленности существует проблема отбора из скважины большого количества межпластовой жидкости. В настоящее время для ее откачки применяются скважные центробежные насосы с электроприводом, которые не учитывают основные особенности объекта:

- заклинивание при попадании инородных частиц в лопасти насоса, т.е. необходима возможность расклинивания путем раскачки;
- при остановке вода начинает стекать, возникает турбинное вращение, т.е. необходима возможность запуска двигателя в любой момент, игнорируя турбинное вращение.

Разработка и внедрение частотно-регулируемого асинхронного электропривода погружного насоса позволит решить данные проблемы, а так же повысит надежность работы насоса, снизит эксплуатационные затраты и расходы на электроэнергию.

Потенциальными потребителями данной разработки являются предприятия Кузбасса по добыче метана из угольных пластов, а также предприятия ЖКХ, водоснабжения, горно-химической промышленности и т.д.

7.2. Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода.

Выбор структурной схемы электропривода произведем из трех вариантов:

- 1 – электропривод постоянного тока с глубоким регулированием;
- 2 – электропривод переменного тока с частотным регулированием;
- 3 – электропривод постоянного тока с неглубоким регулированием и механическим редуктором;

Таблица 4 - Сравнительная характеристика вариантов построения структурной (принципиальной) схемы

	Варианты		
	1-ый	2-ой	3-ий
1. Общее количество составных частей	2	4	6
2. Количество типов элементов	7	8	10
3. Количество оригинальных элементов	1	3	5
4. Стоимость покупных комплектующих	25446,5	19227,22	20456,7
5. Показатели надежности (межремонтный период)	316	358	378
6. Питание:			
а) вид	0,4кВ	0,4кВ	0,4кВ
б) мощность	100кВт	22 кВт	130 кВт
7. Габариты	103	123	138
8. Масса	72	90	120

Выбор структурной (принципиальной) выполним с использованием экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;

4. уровень затрат на эксплуатацию;

5. коэффициент мощности;

По выбранным критериям с помощью экспертов присвоен коэффициент весомости, отражение их важности (приведены в таблице 5).

Таблица 5 - Коэффициент весомости критериев

Номер критерия	1	2	3	4	5
Коэффициент весомости	0,9	0,9	0,7	0,6	0,2

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 6

Таблица 6 - Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов

Типы электропривода	Групповой критерий					Общая оценка качества
	0,9	0,9	0,7	0,6	0,2	
1	0,2	0,7	0,1	0,3	0,9	1,24
2	0,8	0,9	0,5	0,4	0,8	2,28
3	0,2	0,6	0,7	0,6	0,3	1,63

Общая оценка производится по сумме оценки частных критериев по каждому варианту. В качестве лучшего выбирается вариант, обеспечивающий наибольшее значение общей оценки – в данном случае 2й вариант.

Выбор технических решений на основе функционально – стоимостного анализа

Функционально – стоимостного анализа (ФСА) – метод системного исследования функций объекта (изделия, процесса, структуры), направленный на минимизацию затрат в сферах проектирования, производства и эксплуатации при сохранении или повышении качества и экономической ценности объекта для потребителей.

С помощью ФСА решаются задачи:

Оптимизации соотношении между потребительной стоимостью и затра-

тами (цена, эксплуатационные расходы) при проектировании и создании объекта;

Роста производительности;

Снижение себестоимости выпускаемой продукции, снижение брака и расходов по рекламациям, гарантийному обслуживанию;

Снижения эксплуатационных расходов (электроэнергии, затрат на ремонты и межремонтное обслуживание и др.).

Принципиальное отличие ФСА – применение функционального подхода. Объект ФСА рассматривается как совокупность функций, которые он выполняет. При этом под функцией понимается проявление и/или сохранение его свойств в виде действий или состояний в процессе эксплуатации.

Классификация функций

По содержанию: потребительские, эксплуатационные, эстетические, экологические, эргономические.

Область проявления: внешние и внутренние.

Роль в удовлетворении потребностей: главные и второстепенные.

Степень полезности: полезные, бесполезные (ошибки, преждевременные), вредные.

Характер проявления: необходимые реализуемые и потенциально возможные.

Внешние функции делятся на:

Главная функция – определяет название, сущность и главную цель существования объекта.

Второстепенные – отражают побочные цели создания объекта (“обеспечивает изоляцию”, “гарантирует надежность” и т.д.).

Функциональное моделирование (ФМ)

ФМ – это процесс построения и использования функциональной модели

Содержание:

Логическое описание (формулирование) функций.

Группировка функций.

Определение иерархии функций.

Описание и графическое изображение функциональных связей в виде модели.

Оценка важности функций.

Таблица 7 - Состав и классификация функций электропривода

Вид функции	Формулировка
Главная	откачивает пластовую жидкость из газовых скважин
Вспомогательная	Гарантирует надежность
Вспомогательная	Преобразует напряжение промышленной сети до оптимальной величины
Вспомогательная	Обеспечивает герметичность
Вспомогательная	обеспечивает подвод электроэнергии к электродвигателю

Любая функция объекта имеет своего материального носителя – элемент системы.

Функция, выполняемая изделием, осуществляется определенным конструктивным элементом его электрической (кинематической, компоновочной) схемы.

Изделие рассматривается как носитель совокупности функций.

Важнейшим элементом ФСА конструкции изделия является установление материальных носителей функций и их стоимостная оценка (см. таблицу 8).

Рассмотрим распределение функций и затрат для рассматриваемого изделия для которого выделены следующие функции:

1 – откачивает пластовую жидкость из газовых скважин

2 – Гарантирует надежность

3 – Преобразует напряжение промышленной сети до оптимальной величины

4 – Обеспечивает герметичность

5 -Обеспечивает подвод электроэнергии к электродвигателю

Таблица 8 - Материальные носители и затраты по функциям проектируемого изделия

Элементы	Функции					За- траты на мон- таж	Суммар- ные за- траты у.е
изделия	1	2	3	4	5		
Насос	О	В	В	В	-		
электродвигатель с гидрозащитой	О	В	-	В	В		
компенсатор	-	-	В	-	В		
Кабельная линия	-	О			В		
Суммарные за- траты у.е	-	-	-	-	-		
Удельный вес в о.е.	947,62	386,78	193,39	193,39	116,03	96,70	1933,928 5
	0,49	0,2	0,1	0,1	0,06	0,05	1

Из таблицы видно, что основная доля затрат приходится на основную функцию 947,62 усл.ед.

Стоимость каждого материального носителя можно найти методом экспертного анализа о долевом участии материального носителя в выполнении соответствующей функции.

На основе результатов такого анализа необходимо построить функционально – стоимостную диаграмму ЭП или его части рис 22.

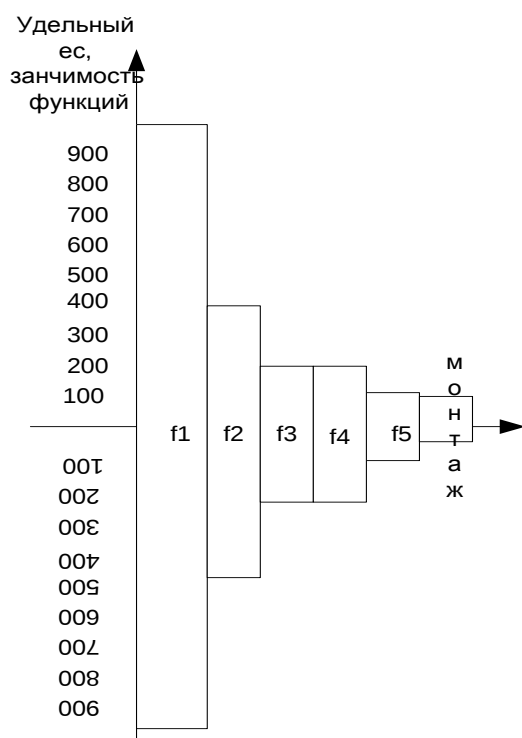


Рисунок 22 - Функционально – стоимостная диаграмма

7.3 Планирование проектных работ

Планирование проекта – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов.

Основные задачи:

1. Взаимная увязка работ проекта;
2. Согласование выполнения отдельных этапов работ во времени, определение их длительности и обеспечение их выполнения в установленные сроки;
3. Определение общего объема работ и потребных для его выполнения денежных, материальных и трудовых ресурсов;
4. Распределение общего объема работ между исполнителями.

В современной практике используется два основных метода календарного планирования, различающихся характером используемой при планировании информации, методами обработки и представления ее в виде плана (модели):

Графические методы планирования (линейное) и сетевые методы планирования и управления.

При графическом методе планирования на основе расчета трудоемкости и календарной продолжительности выполнения всех включенных в план работ с учетом их взаимосвязи и последовательности выполнения во временном масштабе (соответствующим производственному календарю планируемого года) строится графическая модель комплекса работ в виде линейной диаграммы, в которой положение и длина каждой линии характеризует дату начала (окончания) и продолжительность выполнения каждой работы. На основе линейного графика определяется общая продолжительность всего комплекса работ.

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ.

Разработка линейного графика должна производиться в следующей последовательности:

1. Составление перечня работ;
2. Определение трудоемкости и продолжительности работ;
3. Построение линейного графика в формате (см. таблицу 9);
4. Расчет сметы затрат

Таблица 9 - Линейный график проекта

№ п/ п	Наименование работ	исполнители	Длительность в календарных днях	График работ						
				январь			февраль			март
				1 ^я	2 ^я	3 ^я	1 ^я	2 ^я	3 ^я	и т.д.
1	Разработка ТЗ	Руководитель проекта. Инженер (бакалавр) --/--								
2	Составление плана									
3	Патентный поиск									

Таблица 9 - Перечень работ.

№	Работа	Продолжительность работы, (дн.)			Исполнители проекта
	(ij)	$t_{\min(ij)}$	$t_{(ij)}$	$t_{\max(ij)}$	
1	Составление ТЗ	8	10	12	Инженер
2	Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	9	14	15	Инженер
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	10	12	14	Инженер
4	Кинематическая схема механизма	16	20	24	Инженер
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	8	10	13	Инженер
6	Расчет мощности и выбор электродвигателя	11	14	17	Инженер
7	Выбор способа регулирования скорости	13	16	19	Инженер
8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь-электродвигатель»	16	20	24	Инженер
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	20	25	30	Инженер
10	Оптимизация САР электропривода	12	15	18	Инженер
11	. Разработка программы имитационного моделирования	8	10	12	Инженер

Таблица 9 - Перечень работ.

12	Вопросы безопасности и экологичности проекта	16	20	24	Инженер
13	Технико-экономические расчеты	23	28	33	Инженер
14	Составление пояснительной записки	12	15	18	Инженер
15	Разработка графического сопровождения проекта, защита проекта	18	20	22	Инженер

Длительность отдельных работ ($T_y(i,j)$) определялась по формуле:

$$T_y(i, j) = \frac{t_{i,j} \cdot k_{пер}}{C \cdot k_{в.н.} \cdot T_{см} \cdot k_{см}}, \quad (1)$$

где $t_{i,j}$ – трудоемкость выполнения работы (i,j) в нормо-час;

$k_{пер}$ – коэффициент перевода из рабочих дней в календарные,
 $k_{пер}=365/250=1.46$;

C - количество работников, занятых выполнением работы (i,j);

$k_{в.н.}$ – коэффициент выполнения норм ($1.1 \div 1.15$);

$T_{см}$ – продолжительность смены ($T_{см}=8$ часов);

$k_{см}$ – коэффициент сменности.

Определение состава исполнителей проекта – исполнитель проекта 1 человек.

При определении трудовых затрат по отдельным этапам НИР и ОКР можно придерживаться следующих соотношений (см. таблицу 10).

Таблица 10 - Соотношение трудовых затрат по отдельным этапам НИР и ОКР

Этапы НИР и ОКР	Трудоемкость работ, %
Научно-исследовательские работы	
1. Разработка ТЗ	4
2. Выбор направления исследования	37
3. Теоретические и экспериментальные исследования	48
4. Обобщение и оценка результатов исследования	11
итого	100
Опытно- конструкторские работы	
1. ТЗ и технико-экономическое обоснование	5
2. Эскизный проект	15
3. Технический проект	20
4. Разработка технической документации	60
итого	100

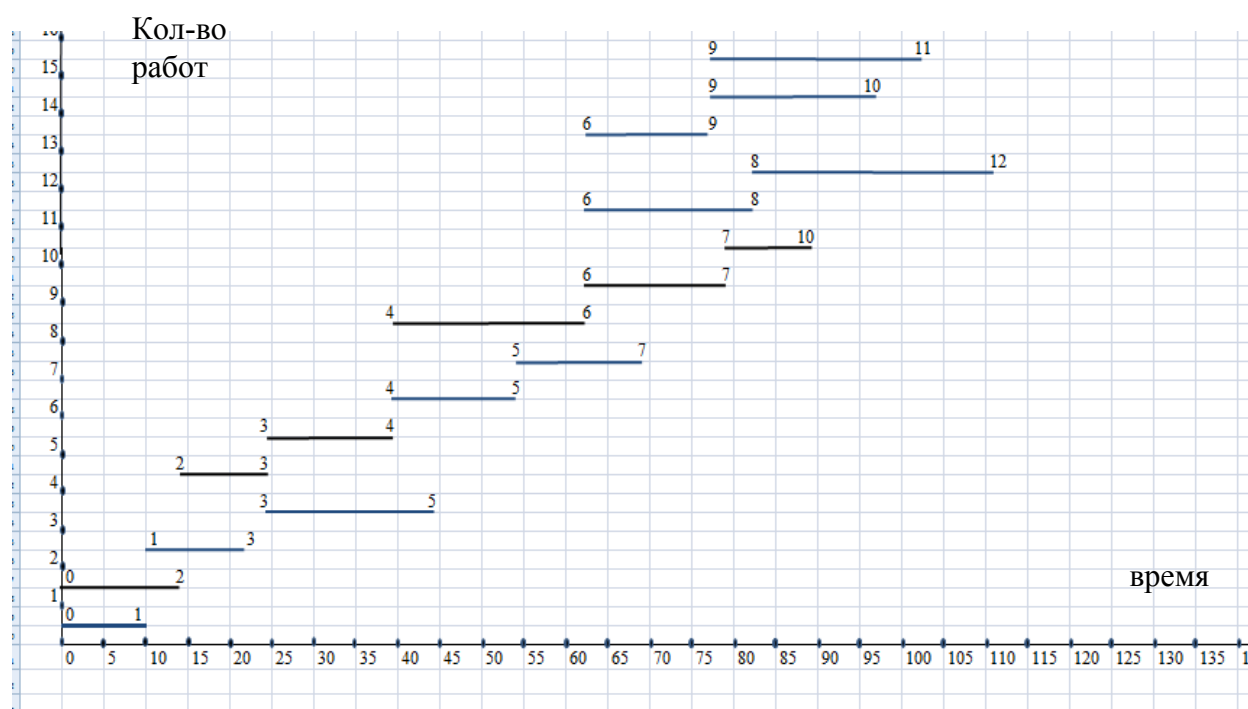


Рисунок 2 - Разработанный линейный график

Календарный план разработки проекта составлен с учетом всех выходных и праздничных дней. На разработку данного проекта потребуется 112 рабочих дней.

7.4 Бюджет проектной работы

Для составления бюджета проектной работы необходимо рассчитать следующие виды затрат:

- затраты на проектирование;
- капитальные вложения на реализацию проекта;
- расходы при эксплуатации электроприводов.

7.4.1 Расчет сметы затрат на проектирование.

Расчет сметы затрат на выполнение проекта, частью которого является ВКР, студента-дипломника, рекомендуется осуществлять методом сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов (таблица 11).

Таблица 11 - Смета затрат

Статьи расхода	Сумма		Примечания
	руб	%	
1. Материалы, покупные п/ф и комплектующие изделия	10000	4,48	Стенды, приборы, установки, программы
2. Специальное оборудование	15000	6,72	
3. Основная заработная плата научно-производственного персонала	60000	26,89	Трудоемкость нормо-ч, Стоимость 1-го нормо-ч.
4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	9000	4,03	10÷15% от ст.3
5. ЕСН	23460	10,51	34%
6. Расходы на научные и производственные командировки	43000	19,27	
7. Расходы и услуги сторонних организаций	3450	1,55	5% от(ст.3+ст.4)

Таблица 11 - Смета затрат

8.	Накладные расходы	48000	21,51	80% от ст.3
9.	Плановая прибыль	11236,8	5,04	8% от (ст.3+4+5+8)
10.	Сметная стоимость проекта	223146,8	100,00	

По результатам расчетов построим диаграмму структуры расходов:

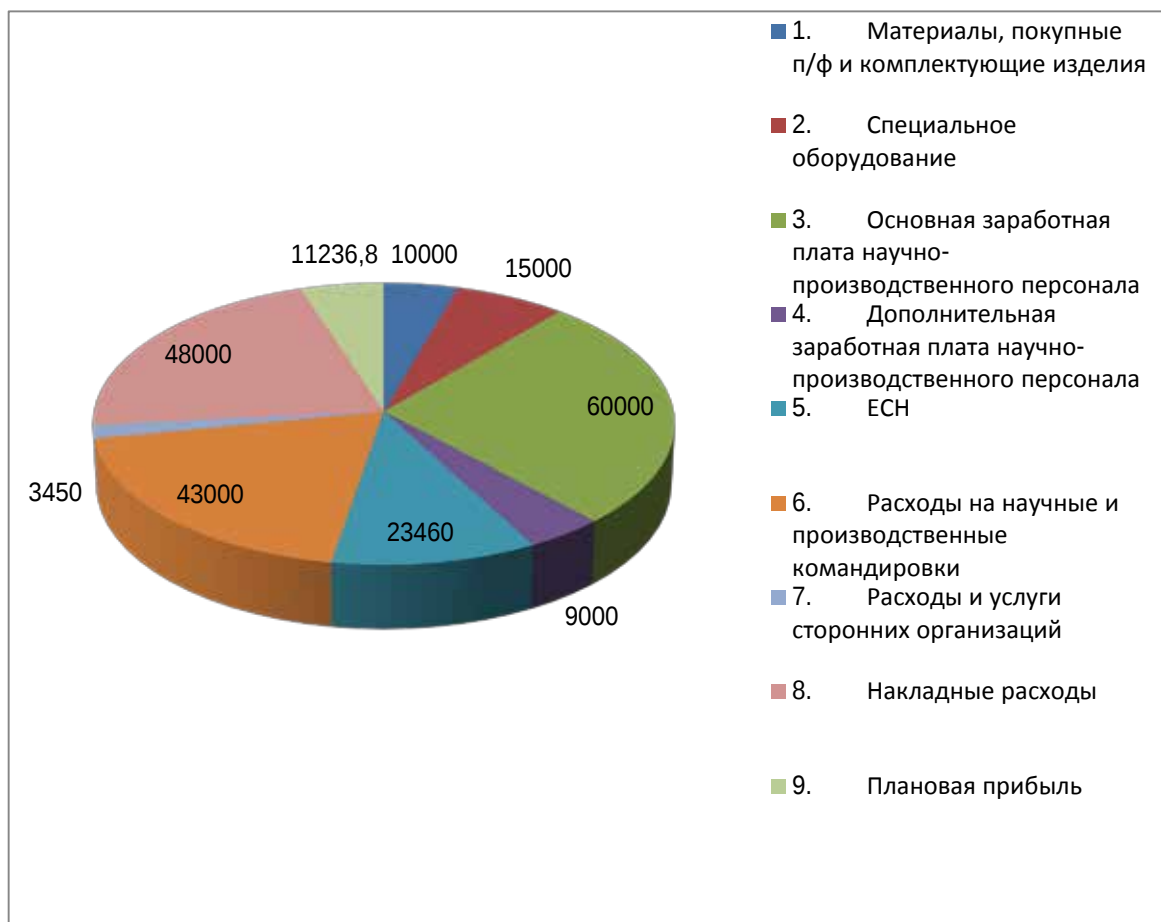


Рисунок 23 – Структура расходов

Таким образом, затраты на проектирование составили 223 147руб. Из них 92 460руб - заработная плата с отчислениями в социальные фонды, что составляет 41,4% от общей суммы затрат на проектирование.

7.4.2 Расчет капитальных вложений на реализацию проекта

Капитальные вложения (инвестиции в реальные активы предприятия) включают:

- Затраты на предпроектные работы;
- Затраты на приобретение, доставку, установку и наладку оборудования;
- Сопряженные затраты;
- Затраты на пополнение оборотных средств.

Расчет капитальных вложений оформить в виде таблицы 12:

Таблица 12 - Бюджет инвестиций

	Общая Стоимость, руб.
I. Оборудование:	2153449
II. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I.Комплектный привод (6%)	129206,94
III. Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II)	45653,12
IV. Плановые накопления монтажной организации (6%) от II	2739,19
V. Сметная стоимость проектно конструкторских работ	223146,8
Всего затрат	2554195,046

7.4.3 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

Расчеты отдельных статей эксплуатационных расходов ведутся по формулам:

Расчет стоимости силовой электроэнергии

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \times F_{\text{д}} \times K_{\text{м}} \times K_{\text{в}} \times K_{\text{з}}}{k_{\text{ов}} \times K_{\text{с}}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6-0.7);

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6-0.8);

$K_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7-0.8);

$K_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92-0.95);

$K_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9-0.93).

$$W_{\text{сил. Эн}} = 22 \times 248 \times 8 \times 0,6 \times 0,6 \times 0,7 / (0,92 \times 0,9) = 13284$$

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \times C_{\text{э}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий.

$$C_{\text{э}} = 2,5 \times 13284 = 33210 \text{ руб.}$$

Расчет амортизационных отчислений.

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{\text{год}} = K \times \frac{H_{\text{А}}}{100}, \quad (4)$$

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

$H_{\text{А}}$ – проценты отчислений на амортизацию

Электродвигатели – 9.6%

$$A_{\text{год}} = 2153449 \times 0,096 = 206731 \text{ руб.}$$

Издержки на ремонтно- эксплуатационное обслуживание электроприводов.

Оборудование электроприводов (электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) является ремонтируемым. Оно подвергается планово-предупредительным ремонтам, периодичность и объем которых регламентируется системой ППР и сетей промышленной энергетики.

Затраты на ППР электропривода

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{зар}}$ – заработная плата ремонтных рабочих;

$C_{\text{м}}$ – стоимость материалов для ремонта;

$C_{\text{опр}}$ – общепроизводственные расходы;

$C_{\text{охр}}$ – общехозяйственные расходы.

Для определения составляющих затрат на ППР необходимо установить периодичность ремонтного цикла, межремонтного периода, и трудоемкость работ по ППР. По трудоемкости работ определяется зарплата энергоперсонала.

Результаты расчетов трудоемкости ППР сведем в таблицу 13.

Таблица 13 - Результаты расчетов трудоемкости ППР

	дней
Капитальный ремонт:	43
Текущий ремонт:	3
Техническое обслуживание:	1
Оборудование	15
Пускорегулирующая аппаратура	15
Итого	77

На основе трудоемкости ремонтов и техобслуживания ЭП, ведется расчет зарплаты ремонтного и обслуживающего электротехнического персонала.

Основная заработная плата 110600 руб.

Стоимость материалов для ремонта ЭП 100% от основной зарплаты без доплат.

Общепроизводственные расходы – 200% от основной зарплаты.

Общехозяйственные расходы – 80% основной заработной платы рабочих.

Результаты расчетов приведены в таблице 14, их структура отражена на рисунке 24.

Таблица 14 - Смета затрат на ремонт

	стоимость, руб.	уд.вес, %
Основная заработная плата	110600	20,83
Стоимость материалов для ремонта	110600	20,83
Общепроизводственные расходы	221200	41,67
Общехозяйственные расходы	88480	16,67
Итого	530880	100,00

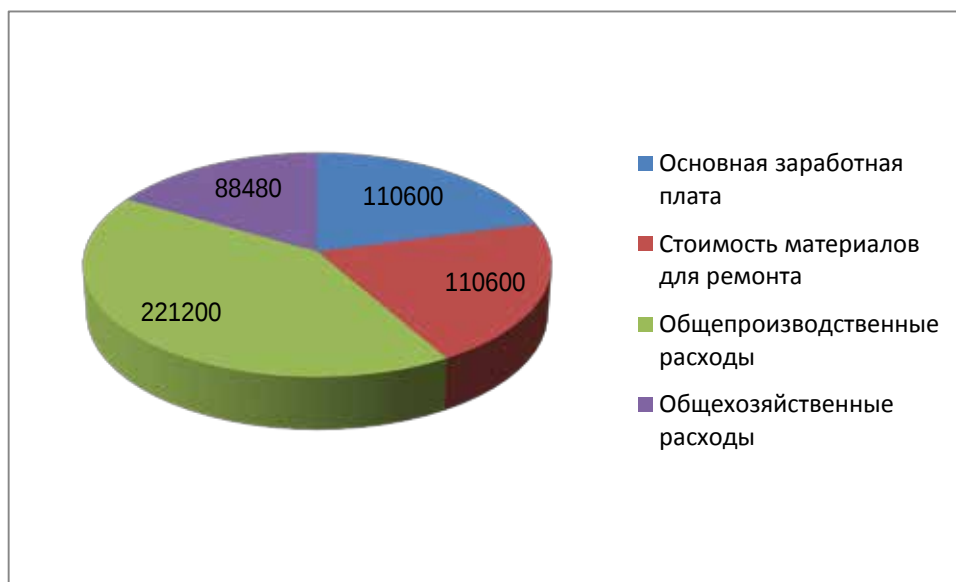


Рисунок 24 – Структура затрат на ремонт

Таким образом, мы определили, что общепроизводственные расходы составляют в смете затрат на ремонт наибольшую долю.

В результате расчёта бюджета проекта мы получили следующие значения:

- затраты на проектирование - 223 147руб, наибольшую долю из которых составляет заработная плата с отчислениями;

- инвестиционные расходы - 2 554 195руб, наибольшую долю из которых составляют затраты на приобретение оборудования;

- эксплуатационные расходы составили 530 880руб, наибольшую долю из которых составляют общепроизводственные расходы.

7.5 Определение экономической эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р.}i}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (6)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения включая ПНР ;

$$\Phi_{\text{р}1} = \Phi_{\text{max}} = 25\,447 + 129\,207 = 154\,654 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{р}2} = 19\,227 + 129\,207 = 148\,434 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{р}3} = 20\,457 + 129\,207 = 149\,664 \text{ руб}$$

Φ_{max} – максимальная стоимость всего проекта

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{\text{р}1}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{154654}{154654} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{\text{р}2}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{148434}{154654} = 0,95$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{\text{р}3}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{149664}{154654} = 0,96$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности определяется следующим образом:

$$I_{\text{р}i} = \mathring{a} \ a_i \times b_i, \quad (7)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 15), где Исп.1 - электропривод постоянного тока с глубоким регулированием; Исп.2 - электропривод переменного тока с частотным регулированием; Исп.3 - электропривод постоянного тока с неглубоким регулированием и механическим редуктором

Таблица 15 Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Расклинивание насоса	0,20	4	5	3
2. Игнорирование турбинного вращения	0,20	4	5	3
3. Ремонтопригодность	0,15	5	5	4
4. Энергосбережение	0,15	5	5	5
5. Надежность	0,20	3	4	3
6. Материалоемкость	0,10	3	4	3
ИТОГО	1	4	4,7	3,45

$$I_{p-исп1}=4*0,2+4*0,2+5*0,15+5*0,15+3*0,2+3*0,1=4;$$

$$I_{p-исп2}=5*0,2+5*0,2+5*0,15+5*0,15+4*0,2+4*0,1=4,7;$$

$$I_{p-исп3}=3*0,2+3*0,2+4*0,15+5*0,15+3*0,2+3*0,1=3,45.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}} = \frac{4}{1} = 4$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} = \frac{4,7}{0,95} = 4,94$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{р-исп3}}{I_{финр}^{исп.3}} = \frac{3,45}{0,96} = 3,59$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 16) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.маx}} = \frac{4}{4,94} = 0,8$$

$$\mathcal{E}_{ср2} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.маx}} = \frac{4,94}{4,94} = 1$$

$$\mathcal{E}_{ср3} = \frac{I_{исп.3}}{I_{исп.маx}} = \frac{3,45}{4,94} = 0,69$$

Таблица 16. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,95	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4	4,7	3,45
3	Интегральный показатель эффективности	4	4,94	3,59
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,8	1	0,69

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на второй вариант исполнения, как наиболее эффективный.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе произведен расчет и выбор:

1. Выбор насоса погружного центробежного;
2. Произведен расчет и выбор параметров электродвигателя погружного.
3. С использованием программы Matlab . составлена схема математической модели электродвигателя погружного асинхронного как для вращающейся системе координат, так и для неподвижной. При формировании модели электродвигателя производились следующие общепринятые допущения: инвертор автономный напряжения является идеальным и представляется звеном апериодического типа, то есть напряжение на его выходе имеет строго синусоидальную форму; система магнитная двигателя не насыщена; в стали потери не учитываются; режим работы трехфазный симметричный.
4. На основании мощности электродвигателя и требований технических выбран был частотный преобразователь фирмы Электон.
5. С помощью программы Matlab смоделирована была работа асинхронного погружного электродвигателя со скалярным способом управления.
6. Проведя анализ графиков переходных процессов можно сделать определенный вывод, что спроектированный асинхронный электропривод погружного насоса отвечает всем техническим требованиям.
7. Также был произведен расчет линии кабельной и произведен выбор трансформатора который питает погружной насос.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антонова З.Г. – Практикум в бизнеспланировании. Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 124 с.
2. Ланграф С. В. – реферат по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» на тему «Системы управления асинхронным электроприводом переменного тока».
3. Гарганеев А.Г., Каракулов А. С., Ланграф С. В., Нечаев М. А. Опыт разработки преобразователя частоты для асинхронного электропривода общепромышленного применения//Электротехника.2005№9.с.23-26
4. Булгаков А.А.– Частотное управление асинхронными электродвигателями.– М., «Наука», 1966 г., 298с.
5. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. - Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат, 1982 г., 392 стр.
6. Бочарников В. Ф; Погружные скважинные центробежные насосы с электроприводом: Учебное пособие. — Тюмень; Издательство «Вектор Бук», 2003.-336 с.
7. Шрейнер Р. Т., Дмитренко Ю. А. - Оптимальное частотное управление асинхронными электроприводами. – Кишинёв, «Штиинца», 1982 г., 328 стр..
8. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. – Расчёт характеристик электроприводов переменного тока. Ч1.Асинхронный двигатель.: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ ,2005 – 136с.
9. Сарбатов Р. С., Сандлер А. С. – Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. – М., «Энергия», 1974 г.
10. Ланграф С.В. – Асинхронный электропривод, методическое пособие, Томск, 2003 г.
11. Герман-Галкин С.Г.«Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0», Учебное пособие.– Спб.: КОРОНА принт, 2001
12. Ключев В. И. Теория электропривода: Учеб. Для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.: ил.

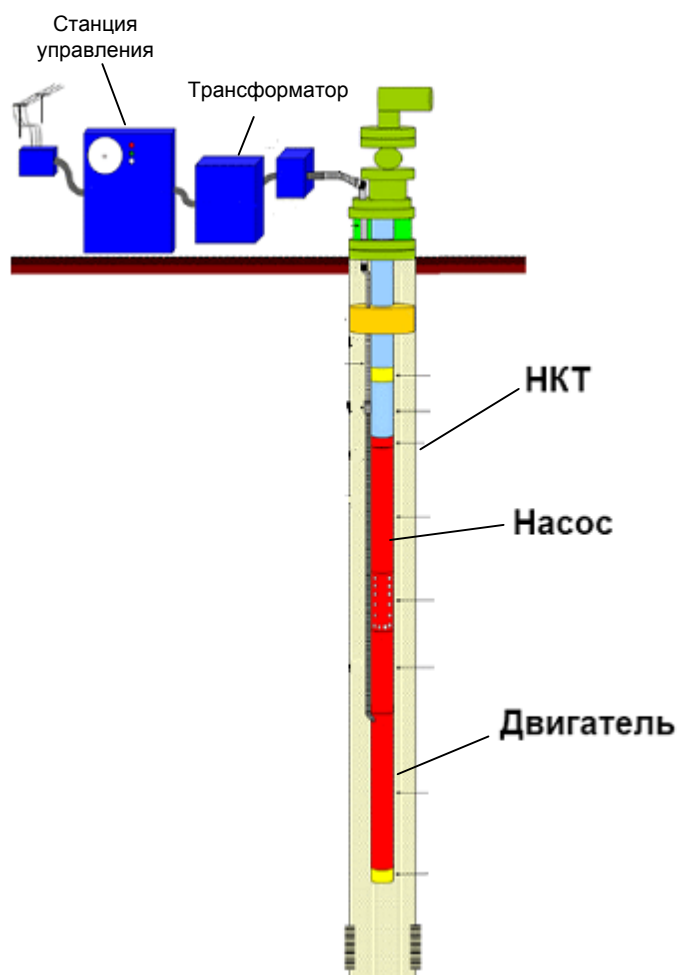
13. Криницына З.В., Кудинова А.С., Тарновская Л.И., Ясельская А.И. – Производственный менеджмент. Учебное пособие Томск:Изд.ТПУ, 2002. – 162с.
14. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. Екатеринбург. УРО РАН, 2000, 654 с.
15. НПБ 105-03 нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений и зданий по взрывоопасной и пожарной опасности.
16. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н., Сушников А.А. Автоматизированный электропривод – современная основа автоматизации технологических процессов//Электротехника №5, 2003. – 12-16с.
17. Мощинский Ю.А., Беспалов В.Я., Кирякин А.А. Определение параметров схемы замещения машины по каталожным данным // Электричество, 1998, №4, с. 38 – 42.
18. Автоматизированный электропривод промышленных установок. Под ред. Г.Б. Онищенко. – М.: РАСХН – 2001. – 520 с.: ил.
19. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
20. Чернышев А.Ю., Ланграф С.В. Исследование систем векторного управления асинхронным двигателем. Методические указания к выполнению лабораторных работ. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 22с.
21. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию. - М.: "Высшая школа", 1990. - 160 с.: ил.
22. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
23. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
24. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

25. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

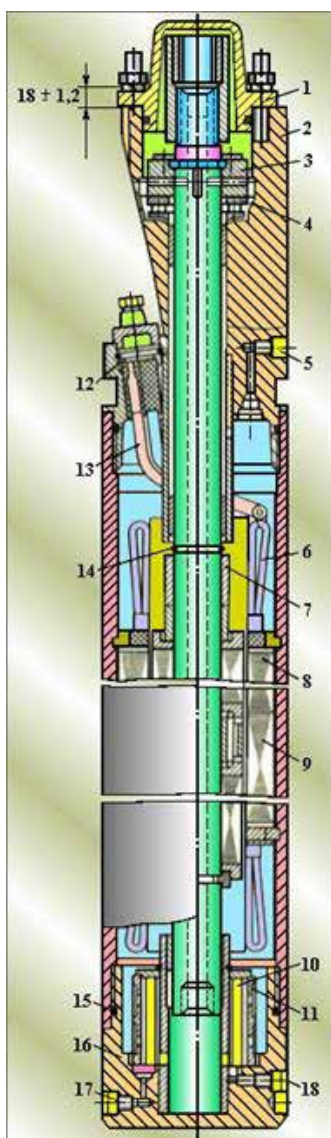
Приложение А

Графический материал

Установка электропривода центробежного насоса.

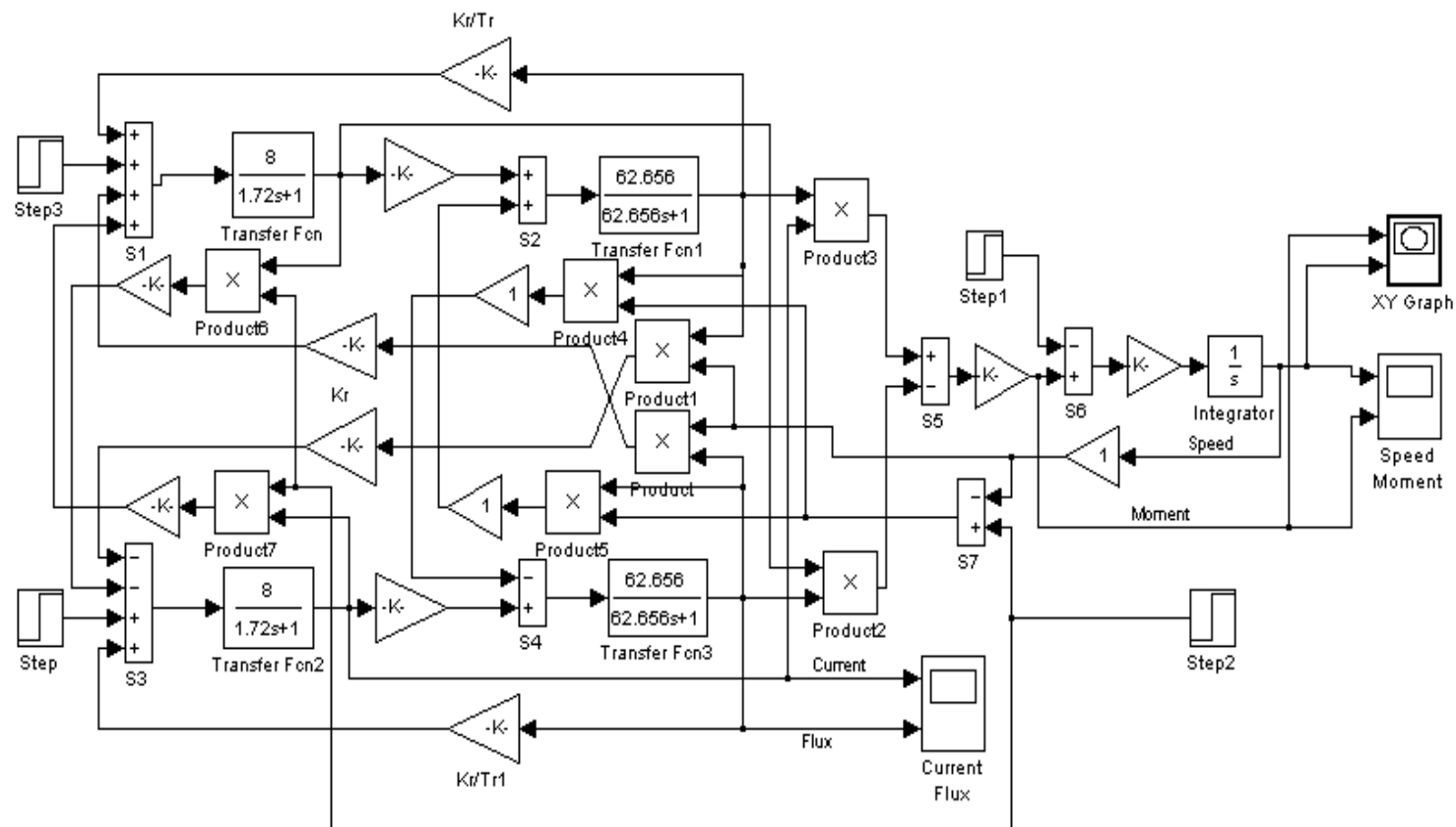


Погружной электродвигатель..



1. Крышка.
2. Головка
3. Пята
4. Подпятник
5. Пробка
6. Обмотка статора
7. Втулка
8. Ротор
9. Статор
10. Магнит
11. Фильтр
12. Колодка
13. Кабель с наконечником
14. Кольцо
15. Кольцо уплотнительное
16. Корпус
17. Пробка
18. Пробка

Имитационная модель ЭП во вращающейся системе координат.



Технические данные и характеристики ПЭДТН22-103В5

$P_H = 22$ кВт, - номинальная мощность двигателя;

$U_H = 700$ В, - линейное напряжение;

$n_H = 3000$ об/мин, - синхронная частота вращения;

$s_H = 5.8\%$, - номинальное скольжение;

$\eta_H = 81\%$, - коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности (100%-я нагрузка);

$\cos \varphi_H = 0.879$ - коэффициент мощности в режиме номинальной мощности;

$L_s \cong L_r = 0.169$ Гн - индуктивность статора и ротора;

$L_{ls} \cong L_{lr} = 2.693 \cdot 10^{-3}$ Гн - индуктивность рассеяния статора и ротора;

$L_m = 0.166$ Гн - взаимондукция;

$J = 0.32$ кг·м² - момент инерции электродвигателя;

$k_t = \frac{I_n}{I_H} = 6$ о.е., - кратность пускового тока;

$k_n = \frac{M_n}{M_H} = 1.8$ о.е., - кратность пускового момента;

$k_{max} = \frac{M_k}{M_H} = 2.2$ о.е., - кратность максимального момента;

$k_{min} = \frac{M_{min}}{M_H} = 1.4$ о.е., - кратность минимального момента;

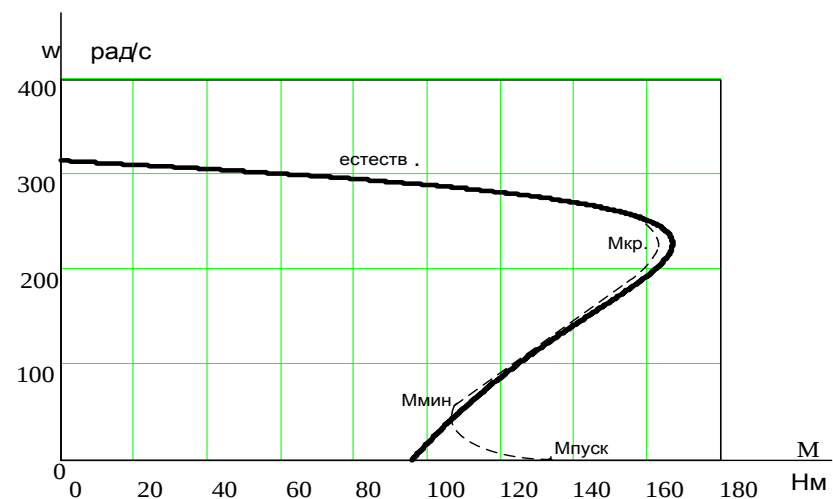
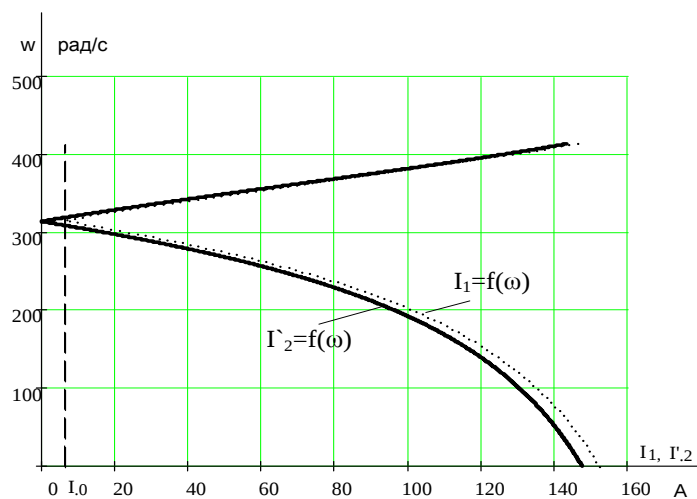
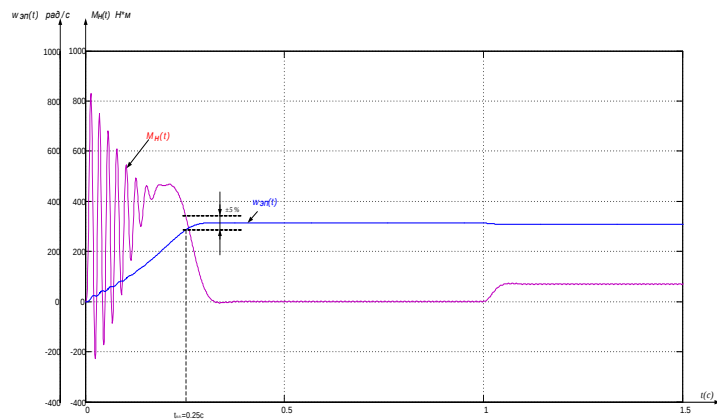


График переходного процесса пуска



Динамическая механическая характеристика

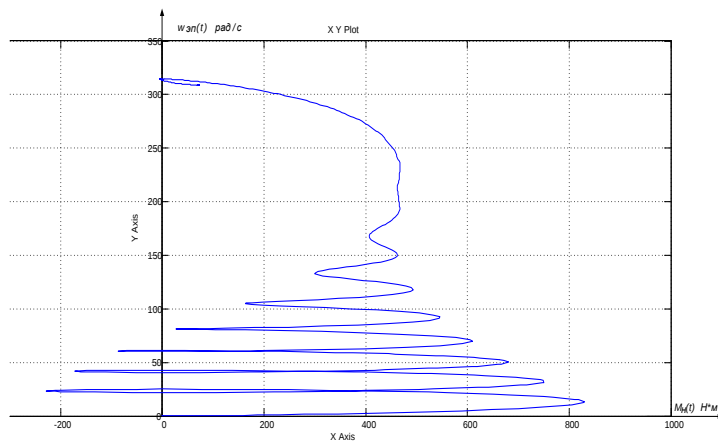


График переходного процесса пуска с задатчиком интенсивности

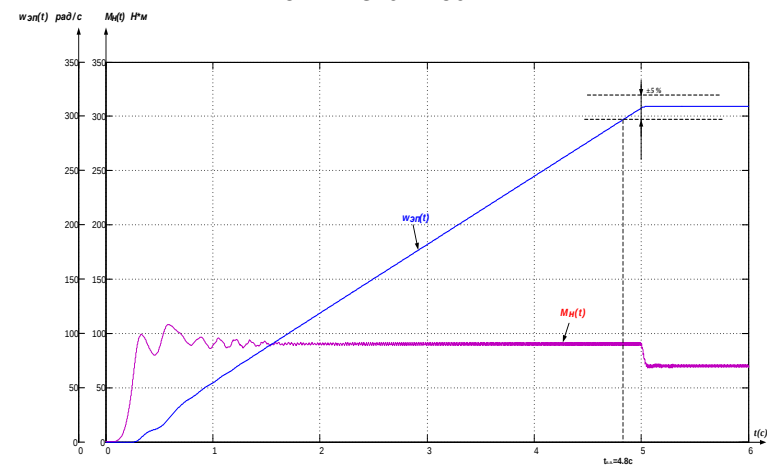
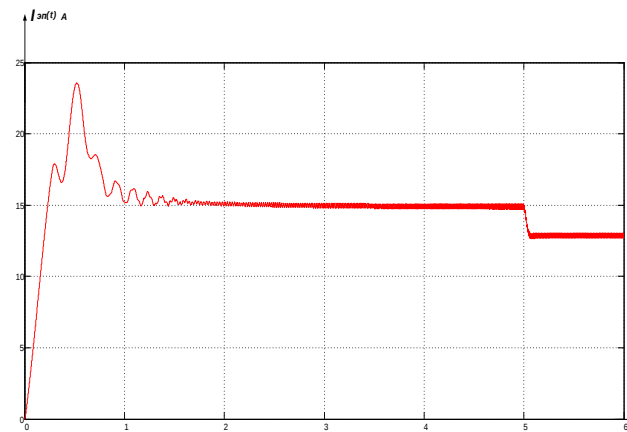


График переходного процесса пуска



Структура расходов

