

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

Институт _____ Энергетический _____
Направление подготовки _____ 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» _____
Кафедра _____ «Электрические сети и электротехника» _____

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Повышение устойчивости двигательной нагрузки потребителей нефтегазовой отрасли транзита 110 кВ Парабель-Лугинецкая Томской ЭС

УДК 621.311.016(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Лиясова О.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Бацева Н.Л.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Грахова Е.А.	ассистент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭСиЭ	Прохоров А.В.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

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

Институт _____ Энергетический _____
Направление подготовки _____ 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» _____
Кафедра _____ «Электрические сети и электротехника» _____

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Прохоров А.В._____
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской выпускной квалификационной работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Лиясовой Ольге Владимировне

Тема работы:

Повышение устойчивости двигательной нагрузки потребителей нефтегазовой отрасли транзита 110 кВ Парабель-Лугинецкая Томской ЭС	
Утверждена приказом директора	От 27.04.2016. № 3266/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01 июня 2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none">1. Принципиальная схема части Томской ЭС2. Параметры электрооборудования: ЛЭП, трансформаторы, автотрансформаторы, двигатели
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Характеристика электрических сетей исследуемого энергорайона 2. Получение статических характеристик единичных электроприемников расчетным методом 3. Моделирование элементов электрической сети с помощью ПК Rastr Win и Mustang 4. Расчет и анализ процесса самозапуска двигателей, мероприятия по его обеспечению
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Принципиальная схема части Томской ЭС 2. Схема замещения ЭС

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	ассистент, Грахова Е.А.
Социальная ответственность	к.т.н., Амелькович Ю.А.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.11.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Бацева Н.Л.	к.т.н.		14.11.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Лиясова О.В.		14.11.2016

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

Студенту:

Группа		ФИО	
5А2Г		Лиясова Ольга Владимировна	
Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭСиЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научно-технического исследования (НТИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	В НТИ исходными данными являлись схема энергосистемы, технические данные по оборудованию
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83 Нормирование расхода материала. Основные положения; ГОСТ 51541-99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 30% от ФОТ
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка инновационного потенциала НТИ
2. Разработка устава научно-технического проекта	НТИ выполнено в рамках выпускной квалификационной работы, разработка устава не требуется
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование и организация НТИ, разработка сметы затрат
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение интегрального показателя финансовой эффективности
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Перечень работ 2. Линейный график работ 3. Бюджет проекта	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Лиясова Ольга		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5А2Г	ФИО Лиясова Ольга Владимировна
----------------	-----------------------------------

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭСиЭ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования)	Рабочее место представляет собой рабочее место специалиста службы режимов, работа в котором производится на ЭВМ. Факторы: – вредные проявления факторов производственной среды (акустический шум, электромагнитное поле, микроклимат, освещение); – опасные проявления факторов термического характера, пожарной и взрывной природы (поражение электрическим током человека).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	ГОСТ 12.0.003-74, ГОСТ 12.1.003-2014, СанПиН 2.2.4.1191-03, ГОСТ 12.1.002 – 84, ГОСТ 12.1.004 – 84, ГОСТ Р 22.0.02.-94, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	Шум; электромагнитное излучение; микроклимат; освещение; опасность поражения электрическим током; пожарная опасность
2. Экологическая безопасность	Рост производства и усиленная переработка природных ресурсов
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятной ЧС, которая может возникнуть – это пожар.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Организация рабочего места при работе с ЭВМ
Перечень графического материала:	
-	-

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
к.т.н.	Амелькович Юлия Александровна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Лиясова Ольга Владимировна		

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

Институт __ Энергетический __
 Направление подготовки __ 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» __
 Уровень образования __ Бакалавриат __
 Кафедра __ ЭСиЭ __
 Период выполнения __ весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
02.03.2016	<i>Анализ литературных источников, описание цели и постановка задач исследования</i>	5
15.03.2016	<i>Обоснование методов и средств расчета и анализа устойчивости двигательной нагрузки</i>	5
20.03.2016	<i>Характеристика электрических сетей нефтяного месторождения</i>	10
05.04.2016	<i>Описание понятия модели нагрузки, получение статических характеристик единичных электроприемников</i>	10
15.04.2016	<i>Описание программных комплексов для исследования динамической устойчивости двигательной нагрузки</i>	10
30.04.2016	<i>Описание понятия самозапуска двигателей</i>	10
10.05.2016	<i>Расчет и анализ самозапуска синхронных двигателей</i>	20
20.05.2016	<i>Разработка мероприятий по самозапуску синхронных двигателей</i>	20
25.05.2016	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	5
30.05.2016	<i>Социальная ответственность</i>	5
	<i>Итого</i>	<i>100</i>

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Бацева Н.Л.	к.т.н., доцент		01.06.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭСиЭ	Прохоров А.В.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 134 с., 63 рис.,
35 табл., 36 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: самозапуск электродвигателей, нефтяное месторождение, динамическая устойчивость, технологический процесс, синхронный двигатель, асинхронный двигатель, статические характеристики нагрузки, поочередный самозапуск, батарея статических конденсаторов.

Key words: re-acceleration of motor, oil-field, dynamical stability, technological process, synchronous motor, asynchronous motor, static load models, sequential re-acceleration, static capacitor bank.

Объектом исследования являются синхронные двигатели Лугинецкого нефтяного месторождения.

Цель работы – разработка мероприятий по увеличению устойчивости двигательной нагрузки Лугинецкого нефтяного месторождения при трехфазном коротком замыкании на ВЛ 110 кВ Парабель-Лугинецкая.

The objective: development of measures to increase the motor load stability Luginetskoe oil field, caused by short circuit at Parabel-Luginetskaya 110 kV overhead line.

Методология проведения работы: в процессе работы было сделано следующее: собраны исходные данные по теме исследования, получены статические характеристики нагрузки для двигателей расчетным методом, произведено моделирование электрической сети с помощью программных комплексов, разработаны мероприятия по обеспечению самозапуска двигателей.

Результаты работы: Был исследован самозапуск СД на Лугинецком месторождении при трехфазном КЗ на ВЛ Парабель – Лугинецкая и разработаны мероприятия по самозапуску двигателей.

Область применения: результаты могут быть применены для планирования режимов работы двигателей в службах электрических режимов «СО ЕЭС».

Список сокращений

- ЭС – энергетическая система, либо энергосистема;
- ЛЭП – линия электропередачи;
- ВЛ – воздушная линия;
- ОЭС – объединенная энергосистема;
- ГРЭС – государственная районная электрическая станция;
- ПС – подстанция;
- ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;
- ГТЭС – газотурбинная электростанция;
- ГТУ – газотурбинная установка;
- НМР – нефтяное месторождения;
- ОРУ – открытое распределительное устройство;
- БКНС – блочная кустовая насосная станция;
- ДНС – дожимные насосные станции;
- АТ – автотрансформатор;
- ШР – шунтирующий реактор;
- РПН – регулирование под нагрузкой;
- СТД – синхронный трехфазный двигатель;
- СД – синхронный двигатель;
- АД – асинхронный двигатель;
- РОДБС – реактор однофазный с дутьевым охлаждением;
- БРУ – блок ручного управления;
- СХН – статические характеристики нагрузки;
- НПС – нефтеперерабатывающая станция;
- АРВ – автоматическое регулирование возбуждением;
- ПК – программный комплекс;
- ЭП – электроприемник;
- РВ – регулирование возбуждением;
- АХ – асинхронная характеристика;
- КЗ – короткое замыкание;

ЭД – электродвигатель;

АПВ – автоматическое повторное включение;

ЭДС – электродвижущая сила;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

НТИ – научно-техническое исследование;

ЕЭС – единая энергетическая система;

ОАО – открытое акционерное общество;

СО-ЦДУ – системный оператор центрального диспетчерского управления;

ФСК – федеральная сетевая компания;

РФ – Российская Федерация;

ПК – персональный компьютер;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

КЛЛ – компактная люминесцентная лампа;

БСК – батареи статических конденсаторов.

Термины и определения

Автоматическое повторное включение – автоматика того элемента, который отключился вследствие короткого замыкания [10].

Асинхронные машины – обратимая машина, работающая как в генераторном, так и в двигательном режиме работы [36].

Асинхронный режим работы – режим энергосистемы, характеризующийся устойчивыми глубокими периодическими колебаниями напряжений, токов и мощностей, периодическим изменением взаимного угла ЭДС генераторов электростанций и наличием разности частот между частями синхронной зоны при сохранении электрической связи между ними [10].

Батареи статических конденсаторов – устройства, предназначенные для компенсации реактивной мощности, с целью снижения перетоков реактивной мощности, и регулирования напряжения внутри энергосистемы [11].

Динамическая устойчивость – это способность системы восстанавливать исходное состояние, или близкое к исходному, после действия больших возмущений [11].

Короткое замыкание – не предусмотренное нормальными условиями эксплуатации замыкание между фазами или между фазами и землей [10].

Маховик – массивное вращающееся колесо, использующееся в качестве накопителя кинетической энергии [5].

Нормальный режим работы ЭС – режим работы ЭС, при котором обеспечивается снабжение электроэнергией всех потребителей при поддержании ее качества в установленных пределах [11].

Нагрузка – это потребители электрической энергии, преобразующие ее в другие виды (тепловую, механическую, световую и т.д.) [10].

Отклонение напряжения – это разность между действительным значением напряжения и его номинальным значением для сети [35].

Переходный режим работы ЭС – режим работы ЭС, при котором скорости изменения параметров настолько значительны, что они должны учитываться при рассмотрении конкретных практических задач [11].

Регулирование напряжения – процесс изменения уровней напряжения в характерных точках электроэнергетической системы с помощью специальных технических средств, называемых регулирующими устройствами [35].

Самозапуск – восстановление нормальной работы электропривода без вмешательства персонала после кратковременного перерыва электроснабжения или глубокого снижения напряжения [5].

Синхронные машины – бесколлекторные машины переменного тока, вращающиеся с синхронной частотой вращения при любой нагрузке [36].

Системы возбуждения – машины и аппараты для создания тока ротора синхронной электрической машины (тока возбуждения) и управления им с помощью регулирующих устройств [10].

Статические характеристики нагрузки – зависимости, учитывающие изменение активной и реактивной мощности нагрузки от частоты и напряжения при медленных изменениях [2].

Установившийся режим работы ЭС – режим работы ЭС, при котором параметры режима могут приниматься неизменными [11].

Устойчивость ЭС – способность ЭС сохранять синхронизм между электростанциями, или, другими словами, возвращаться к установившемуся режиму работы после различного рода возмущений [11].

Электродвигатель – основной элемент электропривода рабочих машин [36].

Электроэнергетическая система – часть энергетической системы, в которой производится, преобразуется, передается и потребляется исключительно или преимущественно электрическая энергия [11].

Содержание

Введение.....	14
РАЗДЕЛ 1 ПОЛУЧЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕДИНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ	15
1.1 Общая характеристика узлов нагрузки.....	15
1.2 Способы моделирования нагрузки.....	16
1.3 Методы получения статических характеристик нагрузки по напряжению	19
1.4 Математические основы получения СХН по напряжению	20
1.4.1 Экспериментально-статические модели	20
1.4.1.1 Статистические модели в виде нелинейных полиномов. Параболическая регрессия	21
1.5 Реализация метода наименьших квадратов с помощью программы Microsoft Excel	22
1.6 Расчет коэффициентов полиномов для СД	25
1.7 Расчет коэффициентов полиномов для АД.....	32
РАЗДЕЛ 2 РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА САМОЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ, МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЕГО ОБЕСПЕЧЕНИЮ	39
2.1 Понятие самозапуска.....	39
2.2 Процессы, происходящие при самозапуске	40
2.3 Описание процесса самозапуска синхронного двигателя	42
2.4 Разгон синхронных двигателей до подсинхронной угловой скорости	44
2.5 Определение успешности ресинхронизации синхронных двигателей.....	47
2.6 Мероприятия по обеспечению самозапуска СД	48
2.7 Устойчивость асинхронного двигателя при КЗ.....	50
2.7.1 Самозапуск асинхронных двигателей	53
2.8 Взаимное влияние двигателей	54
2.9 Расчет и анализ полученных результатов	57
2.9.1 Контроль предшествующего (доаварийного) режима.....	57
2.9.2 Расчет и анализ переходного процесса	59
РАЗДЕЛ 3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ	73
3.1 Оценка потенциала научного исследования	73
3.2 Планирование и организация научно-исследовательских работ	74
3.2.1 Структура работ научного исследования.....	75
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и построение графика Ганта	75
3.3 Смета затрат на осуществление проекта	79
3.4 Оценка ресурсоэффективности НТИ	82
РАЗДЕЛ 4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	85
4.1 Организация рабочего места.....	85

4.2	Анализ опасных и вредных факторов.....	86
4.2.1	Микроклимат	87
4.2.2	Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	89
4.2.3	Уровень освещенности	90
4.2.4	Повышенный уровень шума.....	91
4.2.5	Чрезмерное напряжение зрения и внимания. Монотонность труда.....	92
4.2.6	Нерациональное распределение рабочего времени	93
4.2.7	Поражение статическим электричеством и электрическим током.....	94
4.3	Экологическая безопасность	96
4.3.1	Анализ воздействия персонального компьютера на окружающую среду	97
4.4	Чрезвычайные ситуации и меры по их предупреждению	97
4.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	99
4.5.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	99
4.5.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	99
	Заключение.....	102
	Приложение 1. Принципиальная схема электрической сети	
	Приложение 2. Схема замещения электрической сети	

Введение

Значительную роль в экономике Томской области играют потребители топливно-энергетического комплекса, который имеет в своем составе газо- и нефтедобывающие предприятия, объекты электро- и теплоэнергетики. Наибольший удельный вес в общем объеме топливно-энергетической продукции области имеют нефтедобывающие предприятия. Электроприемники установок по добыче, подготовке и транспортировке нефти относятся к потребителям I и II категорий надежности и имеют следующие особенности: рассредоточенность по большой территории; большое число синхронных двигателей; повышенные требования к надежности электроснабжения.

Двигатели при больших возмущениях оказывают влияние не только на режим работы ЭС, но и на функционирование внешней электрической сети, питающей нагрузку, поэтому анализ устойчивости двигательной нагрузки имеет важное значение.

Помимо этого, эксплуатационный персонал нефтяных месторождений должен ясно представлять явления, связанные с переходными процессами, одним из таких процессов является самозапуск двигательной нагрузки.

Самозапуском называется восстановление нормальной работы ЭД без вмешательства персонала после кратковременного перерыва электроснабжения или глубокого снижения напряжения [8].

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка мероприятий по самозапуску синхронных двигателей на Лугинецком нефтяном месторождении при КЗ на ВЛ 110 кВ Парабель-Лугинецкая.

РАЗДЕЛ 1 ПОЛУЧЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕДИНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ

1.1 Общая характеристика узлов нагрузки

Системой электроснабжения называется часть ЭЭС, осуществляющая снабжение электрической энергией потребителей [2]. Она содержит электроустановки потребителей электроэнергии, питающие и распределительные линии электропередачи, компенсирующие устройства, трансформаторы и т.д. При анализе устойчивости можно исследовать поведение как отдельных электроприемников, так и узлов нагрузки, под которыми понимают группы потребителей, присоединенных к шинам подстанции, линии электропередачи и т.д.

В состав узлов нагрузки, кроме асинхронных и синхронных двигателей, статической нагрузки могут входить синхронные компенсаторы, и даже небольшие электростанции. Под статической нагрузкой обычно понимают электроприемники, у которых отсутствует вращающееся магнитное поле. Состав потребителей в узле нагрузки может меняться в широких пределах и в основном зависит от района электроснабжения [2].

Исследование устойчивости в узлах нагрузки важно с двух позиций:

1. Обеспечение бесперебойной работы предприятий при кратковременных нарушениях систем электроснабжения. Например, КЗ в питающих или распределительных сетях могут вызвать нарушение технологических процессов и привести к браку продукции.
2. Влияние переходных процессов в нагрузке на режимы энергосистемы и устойчивость генераторов. Это связано с тем, что сами переходные процессы в нагрузке могут быть опасными для нормального функционирования энергосистемы.

В расчетной практике задача «исследовать устойчивость ЭС» нередко подменяется задачей «исследовать устойчивость генераторов», при этом нагрузка часто представляется упрощенно и оценить ее устойчивость крайне сложно.

Причинами препятствия анализа устойчивости нагрузки, состоят в том, что усложняется математическое описание энергосистемы при повышении точности учета нагрузки. Помимо этого, приходится считаться с трудностями определения параметров, полно характеризующих крупные узлы нагрузки [3].

Решая данную проблему, следует учесть тот факт, что основная особенность характеристик нагрузки определяется двигательной частью нагрузки, что требует тщательного обоснования в выборе модели нагрузки и ее получении.

1.2 Способы моделирования нагрузки

Основной задачей моделирования нагрузки в расчетах установившихся режимов и переходных процессов является адекватное отображение значений активной P_H и реактивной Q_H мощности, отбираемой узлом нагрузки из сети, в функции напряжения U и частоты f в этом узле. В расчетах переходных процессов эти величины являются функциями времени.

Зависимости $P_H(U, f)$ и $Q_H(U, f)$ определяются составом электроприемников и их параметрами, а также параметрами сети (внутренней для данного узла и, соответственно, не моделируемой), которая связывает каждый из электроприемников с узловой точкой, представленной в расчетной схеме.

В ПК существуют следующие способы представления нагрузки [2]:

1. Величина активной и реактивной мощности, потребляемой нагрузкой, зависит от частоты электрической сети и напряжения, а также от режима работы нагрузки во времени. Зависимости, учитывающие изменение активной и реактивной мощности нагрузки от частоты и напряжения при медленных изменениях называют статическими характеристиками нагрузки [2]. Данный способ моделирования нагрузки наиболее полно отражает действительные изменения электрических нагрузок и является точным способом их представления [2].

СХН можно выразить аналитически в виде полиномов n-ой степени. В общем случае реальную сложную нагрузку, содержащую различные элементы принято задавать в виде эквивалентных СХН [2]:

$$P_n = P_{норм} \cdot \left(a_0 + a_1 \frac{U}{U_{норм}} + a_2 \left(\frac{U}{U_{норм}} \right)^2 \right); \quad (1)$$

$$Q_n = Q_{норм} \cdot \left(b_0 + b_1 \frac{U}{U_{норм}} + b_2 \left(\frac{U}{U_{норм}} \right)^2 \right), \quad (2)$$

где: $P_{норм}$, $Q_{норм}$ – активная и реактивная мощности нагрузки, заданные в соответствующем нагрузочном узле, $U_{норм}$ – заданное напряжение в узле, которое может отличаться от номинального напряжения, $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – коэффициенты СХН.

2. В упрощенных расчетах режимов нагрузку допустимо представлять постоянными сопротивлениями или постоянными проводимостями (рис.4). Данное представление нагрузок соответствует СХН в виде квадратичных парабол. При этом коэффициенты a_0, a_1, b_0, b_1 принимают равными нулю, а коэффициенты a_2, b_2 – единице.

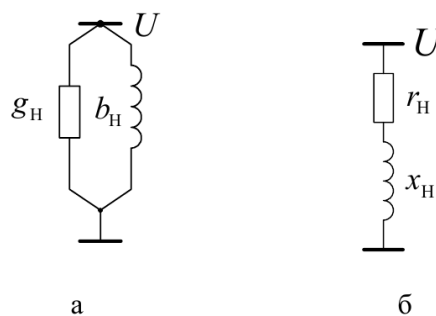


Рисунок 4 – Способы представления нагрузки:

а – постоянными проводимостями, б – постоянными сопротивлениями

Расчет постоянных проводимостей для схемы на рис. 4,а производится по следующим формулам [2]:

$$g_n = \frac{P_{норм}}{U^2}; b_n = \frac{Q_{норм}}{U^2}, \quad (3)$$

где $P_{норм}$, $Q_{норм}$ – постоянные активная и реактивная мощности нагрузки, заданные в соответствующем нагрузочном узле, U – напряжение нагрузки.

Постоянные сопротивления в схеме на рис.4, б рассчитываются по формуле 4 [2]:

$$Z_n = r_n + jx_n = \frac{U^2}{S_n} \cos \varphi_n + j \frac{U^2}{S_n} \sin \varphi_n, \quad (4)$$

где φ_n – угол нагрузки, S_n – полная мощность нагрузки.

3. Наиболее простым способом задания нагрузки является способ задания нагрузки постоянной активной и реактивной мощностями в конкретном нагрузочном узле $P_{норм} = \text{const}$, $Q_{норм} = \text{const}$. Данное представление нагрузки соответствует замене действительных СХН условными, представляющими собой прямую линию. При этом коэффициенты a_1, a_2, b_1, b_2 принимаются равными нулю, а коэффициенты a_0, b_0 – единице.

Для более детального представления на рисунке 4 приведены СХН при различных способах их моделирования.

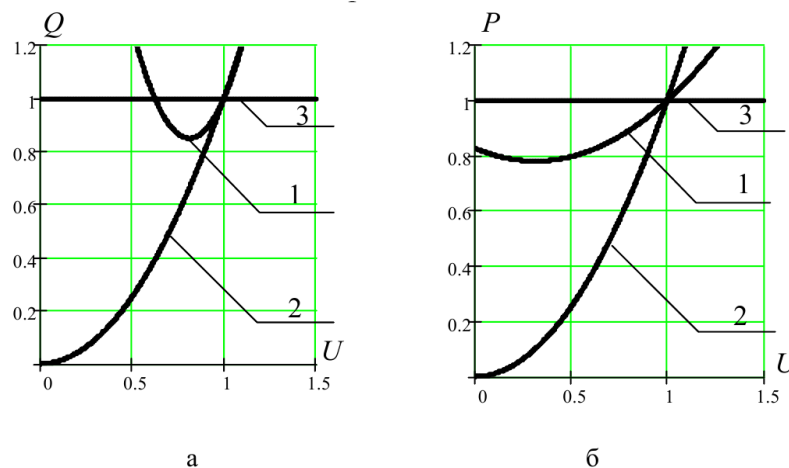


Рисунок 4 – СХН по напряжению

1 – задание нагрузки типовыми СХН; 2 – задание нагрузки постоянными проводимостями; 3 – задание нагрузки постоянной активной и реактивной мощностями.

Для более точного моделирования двигательной нагрузки, с пониманием всех физических процессов было принято задавать нагрузку в виде полиномов СХН.

1.3 Методы получения статических характеристик нагрузки по напряжению

Методы получения статических характеристик нагрузки делятся на три группы: метод активного эксперимента, метод пассивного эксперимента и расчетный (аналитический) метод. Активный эксперимент используется для определения статических и динамических характеристик нагрузки по напряжению и частоте при принудительном изменении в определенном диапазоне напряжения на нагрузке или частоты. При этом измеряются активная и реактивная мощности всей нагрузки узла и, при необходимости, отдельных потребителей. Пассивный эксперимент состоит в использовании для получения статических характеристик в основном случайных (малых) колебаний уровня напряжения, которые имеют место в электрической сети. Однократный учет малых колебаний дает достаточно «грубый» результат, так как измерения проводятся без вмешательства в нормальный режим работы электрической сети, поэтому накапливают определенное количество исходных данных и получают статические характеристики по напряжению с достаточной точностью [4].

Проведение активного и пассивного эксперимента связано с соблюдением определенного количества организационных и технических мероприятий, поэтому в настоящее время расчетный (аналитический) метод является популярным для получения СХН.

При нахождении полиномов СХН расчетным методом важное значение имеет исходная информация по техническим параметрам электроприемников. Предлагаемые способы и модели расчета определяются минимальным информационным набором данных об объекте, который можно получить из общедоступных справочников и технической документации. В случае отсутствия достоверных сведений об объекте

вводится понятие – типовой статической характеристики нагрузки, которая определяется по среднестатистическим параметрам объекта и может быть использована при оценочных расчётах [4].

1.4 Математические основы получения СХН по напряжению

1.4.1 Экспериментально-статические модели

Когда речь идет об отсутствии достаточного объема информации о моделируемом объекте, математическое описание уравнений представляется в виде системы эмпирических зависимостей, которые в свою очередь преобразованы к виду регрессионных соотношений между входными и выходными параметрами объекта. При данной структуре уравнений физические свойства объекта моделирования не отражаются в явном виде. При этом эксперимент является основным источником информации, и осуществление обработки экспериментальных данных происходит по методам математической статистики и теории вероятности.

Для связи выходного параметра с входным служит функция отклика в виде: $Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ или в виде полинома

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{uj} x_u x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \dots$$

Изменение величины y носит случайный характер, т.к. в реальном процессе всегда существуют «шумы», поэтому получаются выборочные коэффициенты регрессии \bar{b} , которые являются оценками теоретических коэффициентов $\bar{\beta}$. Уравнение регрессии, полученное на основании экспериментов, запишется как $Y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{j=1}^k b_{uj} x_u x_j + \sum_{j=1}^k b_{jj} x_j^2 + \dots$.

На практике обычно используется метод наименьших квадратов, как вид уравнения регрессии, зависящего от метода приближения:

$$F = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2 = \min \text{ или } F = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \min, \quad (5)$$

где y_i, \hat{y}_i – экспериментальные и расчетные значения выходного параметра соответственно.

1.4.1.1 Статистические модели в виде нелинейных полиномов. Параболическая регрессия

При составлении статистических моделей возникает необходимость использовать уравнения нелинейной формы, в частности полином второй степени $\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2$. Определение коэффициентов регрессии осуществляется с помощью метода наименьших квадратов:

$$F = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 \cdot x_i - b_2 \cdot x_i^2)^2 \rightarrow \min. \quad (6)$$

Частные производные функции по коэффициентам b_0, b_1, b_2 . Приравняются к нулю, в результате получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial b_0} &= -2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 + b_1 \cdot x_i - b_2 \cdot x_i^2) \cdot 1 = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial b_1} &= -2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 \cdot x_i - b_2 \cdot x_i^2) \cdot x_i = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial b_2} &= -2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 \cdot x_i - b_2 \cdot x_i^2) \cdot x_i^2 = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Получим систему линейных уравнений с тремя неизвестными (b_0, b_1, b_2):

$$\begin{cases} b_0 \cdot n + b_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + b_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i, \\ b_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + b_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + b_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i), \\ b_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + b_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^3 + b_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n (x_i^2 \cdot y_i). \end{cases} \quad (8)$$

Введем обозначения: $S_1 = \sum_{i=1}^n x_i$; $S_2 = \sum_{i=1}^n x_i^2$; $S_3 = \sum_{i=1}^n x_i^3$; $S_4 = \sum_{i=1}^n x_i^4$;

$$S_5 = \sum_{i=1}^n y_i; S_6 = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i); S_7 = \sum_{i=1}^n (x_i^2 \cdot y_i).$$

С учетом принятых обозначений система будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} b_0 \cdot n + b_1 \cdot S_1 + b_2 \cdot S_2 = S_5, \\ b_0 \cdot S_1 + b_1 \cdot S_2 + b_2 \cdot S_3 = S_6, \\ b_0 \cdot S_2 + b_1 \cdot S_3 + b_2 \cdot S_4 = S_7. \end{cases} \quad (9)$$

Определим неизвестные коэффициенты b_0 , b_1 , b_2 :

$$b_0 = \frac{\begin{vmatrix} S_5 & S_1 & S_2 \\ S_6 & S_2 & S_3 \\ S_7 & S_3 & S_4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & S_1 & S_2 \\ S_1 & S_2 & S_3 \\ S_2 & S_3 & S_4 \end{vmatrix}} = \frac{S_5 S_2 S_4 + S_6 S_3 S_2 + S_7 S_1 S_3 - S_7 S_2 S_2 - S_6 S_1 S_4 - S_5 S_3 S_3}{n S_2 S_4 + S_1 S_3 S_2 + S_2 S_1 S_3 - S_2 S_2 S_2 - S_1 S_1 S_4 - n S_3 S_3},$$

$$b_1 = \frac{\begin{vmatrix} n & S_5 & S_2 \\ S_1 & S_6 & S_3 \\ S_2 & S_7 & S_4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & S_1 & S_2 \\ S_1 & S_2 & S_3 \\ S_2 & S_3 & S_4 \end{vmatrix}} = \frac{n S_6 S_4 + S_1 S_7 S_2 + S_2 S_5 S_3 - S_2 S_6 S_2 - S_1 S_5 S_4 - n S_7 S_3}{n S_2 S_4 + S_1 S_3 S_2 + S_2 S_1 S_3 - S_2 S_2 S_2 - S_1 S_1 S_4 - n S_3 S_3}, \quad (10)$$

$$b_2 = \frac{\begin{vmatrix} n & S_1 & S_5 \\ S_1 & S_2 & S_6 \\ S_2 & S_3 & S_7 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & S_1 & S_2 \\ S_1 & S_2 & S_3 \\ S_2 & S_3 & S_4 \end{vmatrix}} = \frac{n S_2 S_7 + S_1 S_3 S_5 + S_2 S_1 S_6 - S_2 S_2 S_5 - S_1 S_1 S_7 - n S_3 S_6}{n S_2 S_4 + S_1 S_3 S_2 + S_2 S_1 S_3 - S_2 S_2 S_2 - S_1 S_1 S_4 - n S_3 S_3}.$$

Полученные коэффициенты системы уравнений (10) и являются искомыми коэффициентами полиномов СХН.

1.5 Реализация метода наименьших квадратов с помощью программы Microsoft Excel

Пусть дана таблица значений функции y . В качестве приближающей функции выбираем квадратичную зависимость $y = b_2 x^2 + b_1 x + b_0$.

Для расчетов воспользуемся табличным процессором Microsoft Excel.

1. Для поиска параметров квадратичной зависимости x^2 , xu , x^3 , x^4 , $x^2 y$, добавляем дополнительно столбцы, которые требуются.

2. Далее суммируем все значения по столбцам при помощи функции «СУММ». Пример расчет приведен на рис. 5.

	A	B	C	D	E	F	G	
1	x	y	x^2	x*y	x^3	x^4	x^2*y	
2		0,9	0,35676	0,81	0,32109	0,729	0,6561	0,28898
3		0,92	0,37514	0,8464	0,34513	0,77869	0,71639	0,31752
4		0,94	0,39215	0,8836	0,36862	0,83058	0,78075	0,3465
5		0,96	0,40788	0,9216	0,39156	0,88474	0,84935	0,3759
6		0,98	0,42243	0,9604	0,41398	0,94119	0,92237	0,4057
7		1	0,43589	1	0,43589	1	1	0,43589
8		1,02	0,44831	1,0404	0,45728	1,06121	1,08243	0,46643
9		1,04	0,45976	1,0816	0,47815	1,12486	1,16986	0,49728
10		1,06	0,47028	1,1236	0,49849	1,19102	1,26248	0,5284
11		1,08	0,47991	1,1664	0,5183	1,25971	1,36049	0,55976
12		9,9	4,24851	9,834	4,2285	9,801	9,80021	4,22237

Рисунок 5 – Результаты расчетов этапа 1

3. После для отыскания параметров b_0 , b_1 , b_2 . Необходимо записать систему. Так как в третьем уравнении системы (8) перед b_2 стоит $S_4 = \sum_{i=1}^n x_i^4$,

в нашем случае это 9,80021, перед b_1 - $S_3 = \sum_{i=1}^n x_i^3 = 9,801$, перед b_0 -

$S_2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 = 9,834$, свободный член суммы $S_7 = \sum_{i=1}^n (x_i^2 \cdot y_i) = 4,22237$, и так

далее для второго и первого уравнения системы. На рис. 6 приведен пример записи этих значений в ряд стоящие ячейки.

	A	B	C	D	E	F	G	
1	x	y	x^2	x*y	x^3	x^4	x^2*y	
2		0,9	0,35676	0,81	0,32109	0,729	0,6561	0,28898
3		0,92	0,37514	0,8464	0,34513	0,77869	0,71639	0,31752
4		0,94	0,39215	0,8836	0,36862	0,83058	0,78075	0,3465
5		0,96	0,40788	0,9216	0,39156	0,88474	0,84935	0,3759
6		0,98	0,42243	0,9604	0,41398	0,94119	0,92237	0,4057
7		1	0,43589	1	0,43589	1	1	0,43589
8		1,02	0,44831	1,0404	0,45728	1,06121	1,08243	0,46643
9		1,04	0,45976	1,0816	0,47815	1,12486	1,16986	0,49728
10		1,06	0,47028	1,1236	0,49849	1,19102	1,26248	0,5284
11		1,08	0,47991	1,1664	0,5183	1,25971	1,36049	0,55976
12		9,9	4,24851	9,834	4,2285	9,801	9,80021	4,22237
13								
14		9,80021	9,801	9,834		4,22237		
15		9,801	9,834	9,9		4,2285		
16		9,834	9,9	10		4,24851		

Рисунок 6 – Результаты расчетов этапа 2

4. Далее производим решение системы матричным методом. Для этого, выделяем блок ячеек 3:3 и обращаемся к функции «МОБР», указываем блок ячеек, где находится матрица коэффициентов системы, затем активируем

формулу при помощи комбинации клавиш «CTRL+SHIFT+ENTER», и получаем обратную матрицу (рис. 7).

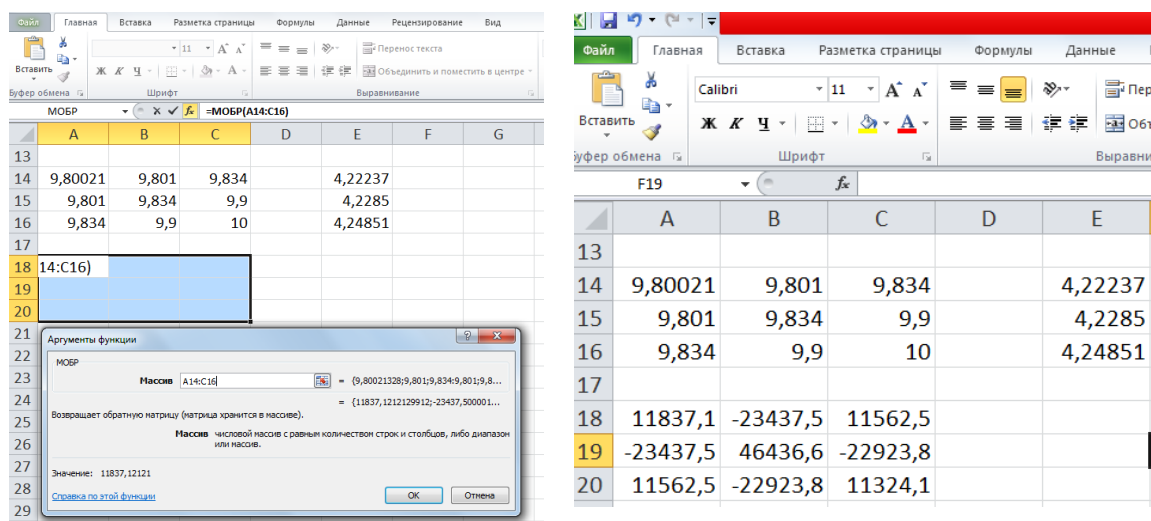


Рисунок 7 – Результаты расчетов этапа 3

5. Обращаемся к функции «МУМНОЖ», с помощью которой выделяем блок ячеек для вывода результата и перемножаем матрицу столбец свободных членов на обратную матрицу, после чего необходимо активировать формулу при помощи комбинации клавиш «CTRL+SHIFT+ENTER». Конечный результат представляет собой параметры b_0 , b_1 , b_2 (Рис. 8).

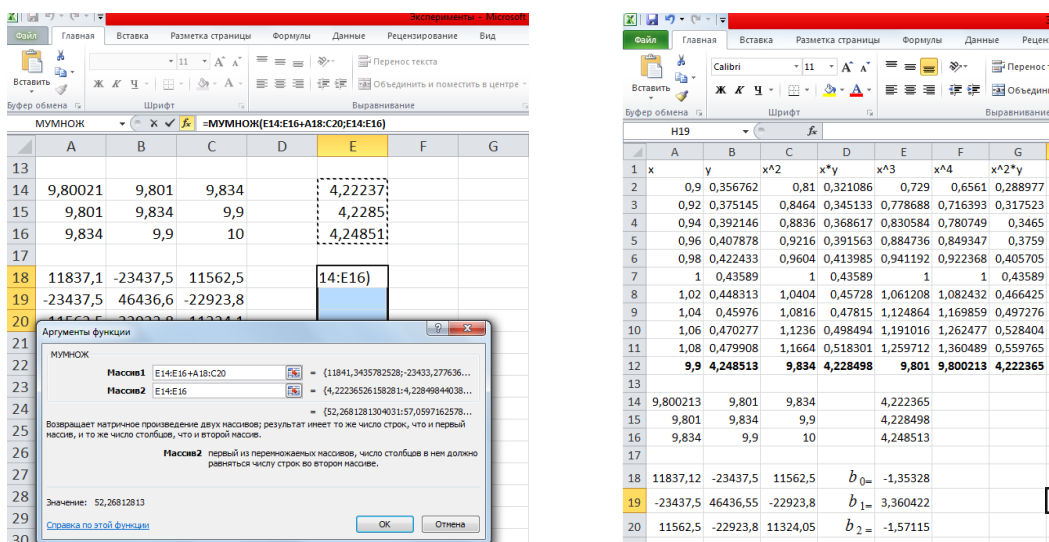


Рисунок 8 – Результаты расчетов

Таким образом, исходя из алгоритма определения СХН расчетным методом и математических основ получения СХН, осуществив расчет для

единичных электроприемников, а именно 2АЗМ1-400/6000 УХЛ4 на БРУ-6 кВ НПС и СТД-1600-2РУХЛ4 на БКНС-22 и сравним их с типовыми СХН.

1.6 Расчет коэффициентов полиномов для СД

При получении СХН двигательной нагрузки расчётным методом принимается ряд допущений:

- отсутствует апериодическая составляющая тока статора;
- активное сопротивление обмотки статора принимается равным нулю;
- не учитывается влияние насыщения стали в главной магнитной цепи для АД и для СД;
- не учитываются механические потери в активных частях двигателя;
- двигатели работают с постоянным механическим моментом на валу, не изменяющимся во времени;
- СХН синхронных двигателей, полученные расчётным методом, относятся не к номинальной мощности, а к полной мощности, принимаемой как базисная.

В качестве примера приведем расчет коэффициентов полиномов СХН, согласно приложению 1 видно, что к исследуемым шинам 6 кВ БКНС-21 узел 43 подключены 2 синхронных двигателя марки СТД-1600-2ЗУХЛ4.

Соблюдая процедуры, описанные в параграфе 2.5, математические основы расчета, представленные в параграфе 2.4, получим статические характеристики по напряжению для СД.

Исходные данные для расчета: линейное напряжение сети: $U_{\text{ном}} = 6$ кВ; частота сети: $f = 50$ Гц; номинальная мощность на валу: $P_{\text{ном}} = 1600$ кВт; номинальный коэффициент мощности: $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,9$; синхронная частота вращения ротора: $n_c = 3000$ об/мин; коэффициент полезного действия $\eta = 100\%$, так как расчетная модель двигателя не учитывает потери.

1. Параметры схемы замещения:

- Коэффициент энергетической эффективности:
 $K_{\text{эп}} = \eta \cdot \cos \varphi_{\text{ном}} = 1 \cdot 0,9 = 0,9$;

- Индуктивное сопротивление двигателя по продольной оси:

$$X_{дв} = X_d = 1,713;$$

- ЭДС двигателя в номинальном режиме:

$$E_o = \sqrt{\cos^2 \varphi_{ном} + (X_{дв} + \sin \varphi_{ном})^2} = \sqrt{0,9^2 + (1,713 + 0,436)^2} = 2,33.$$

2. Базисные величины: $U_{БАЗ} = U_{ном} = 6 \text{ кВ};$

$$S_{БАЗ} = S_{ном} = \frac{P_{ном}}{K_{э\delta}} = \frac{1600}{0,9} = 1777,77 \text{ кВА}; \quad I_{БАЗ} = I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1777,77}{\sqrt{3} \cdot 6} = 171,27 \text{ А};$$

$$M_{БАЗ} = \frac{60 \cdot 10^3}{2\pi n_c} S_{БАЗ} = \frac{60 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 3000} \cdot 1777,77 = 5661,69 \text{ Нм};$$

$$Z_{БАЗ} = \frac{U_{БАЗ}}{I_{БАЗ}} 10^3 = \frac{6}{171,27} \cdot 10^3 = 35,03 \text{ Ом}.$$

3. Мощности

Пусть двигатель работает с номинальным током возбуждения и номинальным моментом, тогда относительные значения тока возбуждения и

момента будут равны: $K_f = \frac{i_f}{i_{fном}} = 1; K_{fm} = \frac{M_{fном}}{M_{ном}} = 1.$ Расчет проведем при

напряжении сети $U_* = 0,9.$

4. Рабочий угол двигателя: $\theta = \arcsin \frac{K_{fm} K_{э\delta} X_{дв}}{UE} = \arcsin \frac{1 \cdot 1 \cdot 1,713}{0,9 \cdot 2,33} = 47,35^\circ;$

$$E = E_o K_\epsilon = 2,33 \cdot 1 = 2,33.$$

5. Ток статора и угол сдвига между током и напряжением:

$$\text{Активная составляющая тока статора: } I_a = \frac{E \sin \theta}{X_{дв}} = \frac{2,33 \cdot \sin 47,35^\circ}{1,713} = 1;$$

Реактивная составляющая тока статора:

$$I_r = \frac{E \cos \theta - U}{X_{дв}} = \frac{2,33 \cdot \cos 47,35^\circ - 0,9}{1,713} = 0,396;$$

$$\text{Полный ток статора } I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} = \sqrt{1^2 + 0,396^2} = 1,076;$$

$$\text{Угол между током и напряжением } \varphi = \arcsin \frac{I_r}{I} = \arcsin \frac{0,396}{1} = 23,33^\circ.$$

б. Активная мощность в относительных единицах:
 $P = UI \cos \varphi = UI_a = 0,9 \cdot 1 = 0,9$; в физических единицах:
 $P = 0,9 \cdot S_{\text{баз}} = 0,9 \cdot 1777,77 = 1599,99$, кВт. Реактивная мощность в относительных единицах: $Q = UI \sin \varphi = UI_r = 0,9 \cdot 0,396 = 0,356$; в физических единицах: $Q = 0,188 \cdot S_{\text{баз}} = 0,188 \cdot 1777,77 = 334,22$, квар.

После проведения серии одинаковых расчётов формируется зависимость активной и реактивной мощности двигателя в зависимости от его питающего напряжения, так как это показано в таблице 9.

Таблица 9 – Статические характеристики нагрузки СД ($\cos \varphi = 0,9$, без учета потерь, $X_d = 1,0$)

U , о.е.	0,9	0,92	0,94	0,96	0,98	1	1,02	1,04	1,06	1,08
P , о.е.	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,9
Q , о.е.	0,356	0,375	0,392	0,408	0,422	0,436	0,448	0,460	0,470	0,480

Результаты расчета по пунктам 4-6 приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Статическая характеристика нагрузки синхронного двигателя (без АРВ), $P = P_{\text{ном}} = 0,9$

X_d	E	M_m	$M_m/M_{\text{ном}}$	U	$\sin \Theta$	$\cos \Theta$	I	P	Q	Θ	φ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,8	1,529	1,906	2,118	0,9	0,523	0,852	1,120	0,9	0,453	31,567	26,7
0,9	1,611	1,732	1,925	0,92	0,547	0,837	1,088	0,9	0,438	33,150	25,98
1	1,695	1,593	1,770	0,94	0,565	0,825	1,061	0,9	0,431	34,419	25,589
1,1	1,780	1,479	1,643	0,96	0,579	0,815	1,038	0,9	0,429	35,419	25,474
1,2	1,867	1,384	1,538	0,98	0,590	0,807	1,018	0,9	0,431	36,192	25,579
1,3	1,955	1,304	1,448	1	0,598	0,801	1,000	0,9	0,436	36,772	25,855
1,4	2,045	1,235	1,372	1,02	0,604	0,797	0,984	0,9	0,444	37,188	26,267
1,5	2,135	1,175	1,305	1,04	0,608	0,794	0,969	0,9	0,454	37,467	26,785
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1,6	2,226	1,123	1,247	1,06	0,610	0,792	0,956	0,9	0,466	37,630	27,386
1,7	2,318	1,077	1,196	1,08	0,611	0,791	0,944	0,9	0,479	37,697	28,051

Результаты расчетов по реактивной мощности при варьируемом сопротивлении X_d представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Статическая характеристика синхронного двигателя по реактивной мощности при $P=P_{\text{ном}}=0,9$ и варьируемых X_d

X_d , о.е.	0,8	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,713
U , о.е.	Q , о.е.								
0,80	0,436	0,403	0,374	0,349	0,326	0,306	0,288	0,271	0,255
0,85	0,449	0,424	0,403	0,383	0,367	0,352	0,339	0,327	0,316
0,90	0,453	0,436	0,422	0,409	0,398	0,388	0,379	0,372	0,364
0,95	0,449	0,440	0,433	0,426	0,420	0,415	0,411	0,407	0,404
1,00	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436
1,05	0,415	0,425	0,433	0,439	0,445	0,449	0,454	0,458	0,462
1,10	0,387	0,407	0,423	0,436	0,447	0,457	0,467	0,474	0,482
1,15	0,352	0,382	0,407	0,427	0,444	0,459	0,473	0,486	0,496
1,20	0,309	0,350	0,384	0,412	0,436	0,456	0,475	0,492	0,506
1,25	0,260	0,312	0,356	0,391	0,422	0,448	0,472	0,493	0,512
1,30	0,203	0,268	0,321	0,365	0,403	0,436	0,465	0,490	0,513

На рис. 9 представлено семейство статических характеристик СД, при варьируемом сопротивлении X_d .

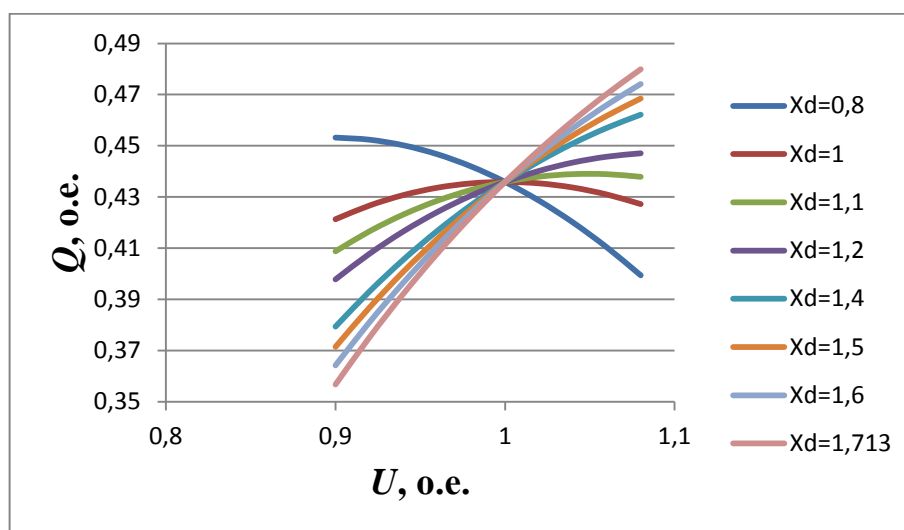


Рисунок 9 – Семейство статических характеристик нагрузки синхронного двигателя при варьируемом X_d

Как видно из рис. 9 статическая характеристика нагрузки СД существенно зависит от величины сопротивления по продольной оси, поэтому единую статическую характеристику нагрузки для данного синхронного двигателя предложить сложно, но можно рассмотреть, как

наиболее подходящую статическую характеристику, соответствующую $X_d=1,713$ (таблица 11).

Получение статической характеристики нагрузки синхронного двигателя по активной мощности будет выглядеть аналогично.

Расчет значений активной мощности при варьируемом сопротивлении X_d представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Статические характеристики нагрузки СД для активной мощности

X_d , о.е.	0,8	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,713
U , о.е.	P , о.е.								
0,80	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
0,85	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
0,90	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
0,95	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
1,00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
1,05	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
1,10	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
1,15	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
1,20	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
1,25	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
1,30	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Из таблицы 12 видно, что активная мощность не изменяется при вариациях сопротивления синхронного двигателя и величины питающего его напряжения, что и показано на рис. 10. Активная мощность двигателей в значительной мере зависит от характеристик машин, приводимых во вращение двигателями.

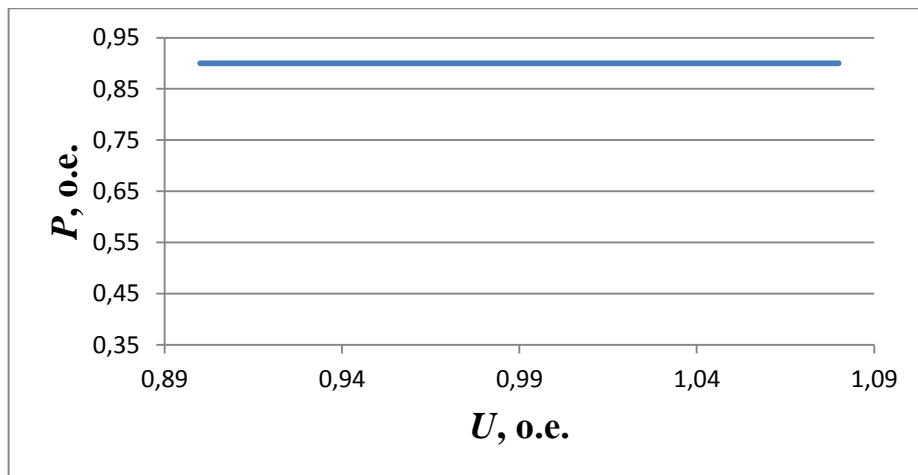


Рисунок 10 – Статическая характеристика нагрузки СД

Приведем пример для получения коэффициентов полиномов СХН, с помощью метода наименьших квадратов.

Для этого необходимо выполнить следующее:

1. Обозначить коэффициенты полиномов для для реактивной – b_0, b_1, b_2 и для активной мощности как a_0, a_1, a_2 .
2. Сформировать системы уравнений для активной и реактивной мощностей следующего вида:

$$\left. \begin{aligned}
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 0,8 + a_2 \cdot 0,8^2 \\
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 0,85 + a_2 \cdot 0,85^2 \\
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 0,9 + a_2 \cdot 0,9^2 \\
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 0,95 + a_2 \cdot 0,95^2 \\
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 1 + a_2 \cdot 1^2 \\
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 1,05 + a_2 \cdot 1,05^2 \\
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 1,1 + a_2 \cdot 1,1^2 \\
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 1,15 + a_2 \cdot 1,15^2 \\
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 1,2 + a_2 \cdot 1,2^2 \\
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 1,25 + a_2 \cdot 1,25^2 \\
 0,9 &= a_0 + a_1 \cdot 1,3 + a_2 \cdot 1,3^2
 \end{aligned} \right\};$$

$$\left. \begin{aligned}
 0,225 &= b_0 + b_1 \cdot 0,8 + b_2 \cdot 0,8^2 \\
 0,316 &= b_0 + b_1 \cdot 0,85 + b_2 \cdot 0,85^2 \\
 0,364 &= b_0 + b_1 \cdot 0,9 + b_2 \cdot 0,9^2 \\
 0,404 &= b_0 + b_1 \cdot 0,95 + b_2 \cdot 0,95^2 \\
 0,436 &= b_0 + b_1 \cdot 1 + b_2 \cdot 1^2 \\
 0,462 &= b_0 + b_1 \cdot 1,05 + b_2 \cdot 1,05^2 \\
 0,482 &= b_0 + b_1 \cdot 1,1 + b_2 \cdot 1,1^2 \\
 0,496 &= b_0 + b_1 \cdot 1,15 + b_2 \cdot 1,15^2 \\
 0,506 &= b_0 + b_1 \cdot 1,2 + b_2 \cdot 1,2^2 \\
 0,512 &= b_0 + b_1 \cdot 1,25 + b_2 \cdot 1,25^2 \\
 0,513 &= b_0 + b_1 \cdot 1,3 + b_2 \cdot 1,3^2
 \end{aligned} \right\}.$$

3. Записать системы уравнений в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0,8 & 0,8^2 \\ 1 & 0,85 & 0,85^2 \\ 1 & 0,9 & 0,9^2 \\ 1 & 0,95 & 0,95^2 \\ 1 & 1 & 1^2 \\ 1 & 1,05 & 1,05^2 \\ 1 & 1,1 & 1,1^2 \\ 1 & 1,15 & 1,15^2 \\ 1 & 1,2 & 1,2^2 \\ 1 & 1,25 & 1,25^2 \\ 1 & 1,3 & 1,3^2 \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} 0,255 \\ 0,316 \\ 0,364 \\ 0,404 \\ 0,436 \\ 0,462 \\ 0,482 \\ 0,496 \\ 0,506 \\ 0,512 \\ 0,513 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0,8 & 0,8^2 \\ 1 & 0,85 & 0,85^2 \\ 1 & 0,9 & 0,9^2 \\ 1 & 0,95 & 0,95^2 \\ 1 & 1 & 1^2 \\ 1 & 1,05 & 1,05^2 \\ 1 & 1,1 & 1,1^2 \\ 1 & 1,15 & 1,15^2 \\ 1 & 1,2 & 1,2^2 \\ 1 & 1,25 & 1,25^2 \\ 1 & 1,3 & 1,3^2 \end{pmatrix}.$$

Системы уравнений относятся к виду переопределенных систем линейных алгебраических уравнений. Для решения переопределенных систем необходимо организовать поиск вектора, удовлетворяющего всем уравнениям системы.

4. Для решения переопределенной системы уравнений введем следующие обозначения:

$$x_p = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}; A_p = \begin{pmatrix} 1 & 0,8 & 0,8^2 \\ 1 & 0,85 & 0,85^2 \\ 1 & 0,9 & 0,9^2 \\ 1 & 0,95 & 0,95^2 \\ 1 & 1 & 1^2 \\ 1 & 1,05 & 1,05^2 \\ 1 & 1,1 & 1,1^2 \\ 1 & 1,15 & 1,15^2 \\ 1 & 1,2 & 1,2^2 \\ 1 & 1,25 & 1,25^2 \\ 1 & 1,3 & 1,3^2 \end{pmatrix}; b_p = \begin{pmatrix} 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \\ 0,9 \end{pmatrix}; x_Q = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}; A_Q = \begin{pmatrix} 1 & 0,8 & 0,8^2 \\ 1 & 0,85 & 0,85^2 \\ 1 & 0,9 & 0,9^2 \\ 1 & 0,95 & 0,95^2 \\ 1 & 1 & 1^2 \\ 1 & 1,05 & 1,05^2 \\ 1 & 1,1 & 1,1^2 \\ 1 & 1,15 & 1,15^2 \\ 1 & 1,2 & 1,2^2 \\ 1 & 1,25 & 1,25^2 \\ 1 & 1,3 & 1,3^2 \end{pmatrix}; b_Q = \begin{pmatrix} 0,255 \\ 0,316 \\ 0,364 \\ 0,404 \\ 0,436 \\ 0,462 \\ 0,482 \\ 0,496 \\ 0,506 \\ 0,512 \\ 0,513 \end{pmatrix},$$

где x_p, A_p, b_p – неизвестные уравнения системы для активной мощности; x_Q, A_Q, b_Q – для реактивной.

5. Произвести решение в ПК Microsoft Excel так, как это показано в параграфе 2.5.

В результате для рассматриваемого СД получены коэффициенты полиномов, представленные в таблице 13.

Таблица 13 – Коэффициенты полиномов статических характеристик СД для активной и реактивной мощностей

a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	b_2
0	0	0,9	-1,57115	3,360422	-1,35328

Найдя коэффициенты полиномов, СХН примут вид:

$$P = f(U) = 0,9 \cdot U^2;$$

$$Q = f(U) = -1,353 + 3,36 \cdot U - 1,571 \cdot U^2.$$

Таким образом, рассчитав коэффициенты полиномов для СД по расчетной методике, сравним полученные значения с типовыми СХН.

Результаты расчета представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнение типовых и расчетных СХН

Коэффициенты	$P_{\text{тип}}$	$P_{\text{расч}}$
a_0	1	1
a_1	0	0
a_2	0	0
b_0	-3,2	-1,6
b_1	7,3	3,4
b_2	-3,1	-1,4

1.7 Расчет коэффициентов полиномов для АД

В качестве примера приведен расчёт статической характеристики АД мощностью 400 кВт единой серии 2А типоразмера 2А3М1-400/6000 УХЛ4 с синхронной частотой вращения ротора 2980 об/мин. Напряжение сети 6 кВ, частота сети 50 Гц.

Исходные данные для расчета: тип двигателя – 2А3М1-400/6000 УХЛ4; линейное напряжение сети: $U_{\text{ном}} = 6$ кВ; частота сети: $f = 50$ Гц; номинальная мощность на валу: $P_{\text{ном}} = 400$ кВт; номинальное скольжение ротора: $s_{\text{ном}} = 1$ %; номинальный коэффициент мощности: $\cos\varphi = 0,91$; кратность максимального момента: $K_{\text{мм}} = M_{\text{м}}/M_{\text{ном}} = 2,4$; кратность пускового момента: $K_{\text{пм}} = M_{\text{п}}/M_{\text{ном}} = 1,3$; кратность пускового тока: $K_{\text{пт}} = I_{\text{п}}/I_{\text{н}} = 7$; синхронная

частота вращения ротора: $n_c = 2980$ об/мин; коэффициент полезного действия η принимается равным 100%, т.к. расчетная модель двигателя не учитывает потери. За базовую мощность принята величина полной номинальной мощности, а за базовое напряжение – линейное номинальное напряжение АД.

1. Параметры схемы замещения:

- Коэффициент энергетической эффективности: $K_{\text{э\textsubscript{э}}} = \eta \cos \varphi_{\text{НОМ}} = 1 \cdot 0,91 = 0,91$;

- Коэффициент добавочного сопротивления ротора:

$$K_s = \frac{1 - s_{\text{НОМ}}}{s_{\text{НОМ}}} = \frac{1 - 0,01}{0,01} = 99;$$

- Базисные величины: $U_{\text{баз}} = U_{\text{НОМ}} = 6$ кВ; $S_{\text{баз}} = S_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{K_{\text{э\textsubscript{э}}}} = \frac{400}{0,91} = 439,56$

$$\text{кВА}; I_{\text{баз}} = I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}} = \frac{439,56}{\sqrt{3} \cdot 6} = 42,35 \text{ А};$$

$$M_{\text{баз}} = \frac{60 \cdot 10^3}{2\pi n_c} S_{\text{баз}} = \frac{60 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 2980} \cdot 439,56 = 1409,27 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$Z_{\text{баз}} = \frac{U_{\text{баз}}}{I_{\text{баз}}} 10^3 = \frac{6}{42,35} \cdot 10^3 = 141,68 \text{ Ом.}$$

- Индуктивное сопротивление короткого замыкания, о.е.

$$X_k = \frac{1}{2K_{\text{ММ}}K_{\text{э\textsubscript{э}}}} = \frac{1}{2 \cdot 2,4 \cdot 0,91} = 0,23.$$

- Активное сопротивление ротора, о.е.

$$r_2 = a_1 s_{\text{НОМ}}^2 + s_{\text{НОМ}} \sqrt{a_1^2 s_{\text{НОМ}}^2 - X_k^2}, \quad a_1 = \frac{K_s}{2K_{\text{э\textsubscript{э}}}} = \frac{99}{2 \cdot 0,91} = 54,39,$$

$$r_2 = 54,39 \cdot 0,01^2 + 0,01 \cdot \sqrt{(54,39 \cdot 0,01)^2 - 0,23^2} = 0,0104.$$

- Индуктивное сопротивление взаимоиндукции при номинальном напряжении сети, о.е.

$$X_{\text{мо}} = \frac{1}{\sin \varphi - \frac{\sin \varphi_2}{Z_2}}, \quad \sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0,91^2} = 0,415,$$

$$Z_2 = \sqrt{X_k^2 + (r_2 / s_H)^2} = \sqrt{0,23^2 + (0,0104/0,01)^2} = 1,065,$$

$$\sin \phi_2 = \frac{X_k}{Z_2} = \frac{0,23}{1,065} = 0,216, \quad X_{mo} = \frac{1}{0,415 - \frac{0,216}{1,065}} = 4,712.$$

2. Скольжение ротора

Напряжение сети $U = 0,9$ о.е.;

Кратность внешнего момента $K_{BM} = M/M_{НОМ} = 1$;

$$s = \frac{c_1}{2} - \sqrt{\left(\frac{c_1}{2}\right)^2 - c_o}, \quad c_o = \left(\frac{r_2}{X_k}\right)^2 = (0,0104/0,23)^2 = 0,00204,$$

$$c_1 = \frac{U^2 r_2}{K_{BM} K_{\text{э}} X_k^2} = \frac{0,9^2 \cdot 0,0104}{1 \cdot 0,91 \cdot 0,23^2} = 0,175,$$

$$s = \frac{0,175}{2} - \sqrt{\left(\frac{0,175}{2}\right)^2 - 0,00204} = 0,0125.$$

Найденное значение скольжения находится в зоне, ограниченной величиной критического скольжения – двигатель остается в работе.

$$s \leq s_{\text{кр}} = \sqrt{c_o} = \sqrt{0,00204} = 0,0452;$$

4. Токи:

Ток ротора и угол сдвига тока относительно напряжения:

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{0,9}{0,863} = 1,043; \quad \phi_2 = \arcsin \frac{X_k}{Z_2} = \arcsin \frac{0,23}{0,863} = 15,46^\circ,$$

$$Z_2 = \sqrt{(r_2 / s)^2 + X_k^2} = \sqrt{(0,0104/0,0125)^2 + 0,23^2} = 0,863;$$

• Ток намагничивания и угол сдвига тока относительно напряжения:

$$I_m = \frac{U}{X_m} = \frac{0,9}{5,25} = 0,171; \quad \phi_m = \frac{\pi}{2} = 90^\circ, \quad X_m = \frac{X_{mo}}{1 - a + aU^4} = \frac{4,712}{1 - 0,3 + 0,3 \cdot 0,9^4} = 5,25$$

Коэффициент $a = 0,3$;

• Ток статора и угол сдвига тока относительно напряжения

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1r}^2} = \sqrt{1,006^2 + 0,449^2} = 1,1; \quad \phi_1 = \arcsin \frac{I_{1r}}{I_1} = \arcsin \frac{0,449}{1,1} = 24,1^\circ;$$

$$I_{1a} = I_2 \frac{r_2 / s}{Z_2} = 1,043 \frac{0,0104/0,0125}{0,863} = 1,006,$$

$$I_{1r} = I_2 \frac{X_k}{Z_2} + I_m = 1,043 \frac{0,23}{0,863} + 0,171 = 0,449;$$

5. Мощности:

Активная мощность в относительных единицах:

$$P = UI_1 \cos \phi_1 = UI_{1a} = 0,9 \cdot 1,006 = 0,91; \text{ в физических единицах:}$$

$$P = 0,91 \cdot S_{\text{баз}} = 0,91 \cdot 439,56 = 399,99 \text{ кВт; Реактивная мощность в}$$

$$\text{относительных единицах: } Q = UI_1 \sin \phi_1 = UI_{1r} = 0,9 \cdot 0,449 = 0,404; \text{ в}$$

$$\text{физических единицах: } Q = 0,404 \cdot S_{\text{баз}} = 0,404 \cdot 439,56 = 177,58 \text{ кВар.}$$

После проведения серии одинаковых расчетов формируется СХН АД для номинального момента на валу, так как это показано в таблице 15.

Таблица 15 – Статические характеристики АД ($\cos\varphi=0,91$, без учета потерь)

U , о.е.	0,9	0,92	0,94	0,96	0,98	1,0	1,02	1,04	1,06	1,08
P , о.е.	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910
Q , о.е.	0,406	0,403	0,402	0,404	0,406	0,410	0,416	0,423	0,432	0,442

Результаты расчета по пунктам 1-5 приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Статическая характеристика нагрузки АД (в отн.ед.) с учетом насыщения

U	$C0$	$C1$	S	$Z2$	$I2$	Im	I_{1a}	I_{1r}	$I1$	P	Q
0,9	0,002	0,17	0,01	0,85	1,04	0,17	1,01	0,45	1,10	0,91	0,40
0,92	0,002	0,18	0,01	0,89	1,02	0,17	0,94	0,43	1,03	0,91	0,40
0,94	0,002	0,19	0,01	0,94	0,99	0,18	0,87	0,42	0,97	0,91	0,40
0,96	0,002	0,20	0,01	0,98	0,97	0,19	0,81	0,42	0,91	0,91	0,40
0,98	0,002	0,20	0,01	1,02	0,95	0,20	0,76	0,41	0,87	0,91	0,40
1,0	0,002	0,21	0,009	1,07	0,93	0,21	0,71	0,41	0,82	0,91	0,41
1,02	0,002	0,22	0,009	1,11	0,91	0,22	0,67	0,40	0,78	0,91	0,41
1,04	0,002	0,23	0,009	1,16	0,89	0,23	0,63	0,40	0,75	0,91	0,42
1,06	0,002	0,24	0,008	1,21	0,87	0,24	0,59	0,40	0,72	0,91	0,43
1,08	0,002	0,25	0,008	1,26	0,85	0,25	0,56	0,40	0,69	0,91	0,44

Расчет значений реактивной мощности при различных внешних моментах представлен в таблице 17.

Таблица 17 – СХН реактивной мощности при различных внешних моментах

M/Mн	1,00	0,80	0,60	0,40	0,20
U	Q				
0,9	0,406	0,311	0,240	0,192	0,163
0,92	0,403	0,313	0,246	0,200	0,173
0,94	0,403	0,317	0,254	0,209	0,183
0,96	0,404	0,326	0,262	0,219	0,194
0,98	0,406	0,329	0,271	0,230	0,206
1,0	0,410	0,337	0,281	0,242	0,219
1,02	0,416	0,346	0,292	0,255	0,233
1,04	0,423	0,356	0,305	0,269	0,248
1,06	0,432	0,367	0,318	0,284	0,263
1,08	0,442	0,380	0,332	0,299	0,280

На рис. 11 представлено семейство статических характеристик АД, при различных внешних моментах.

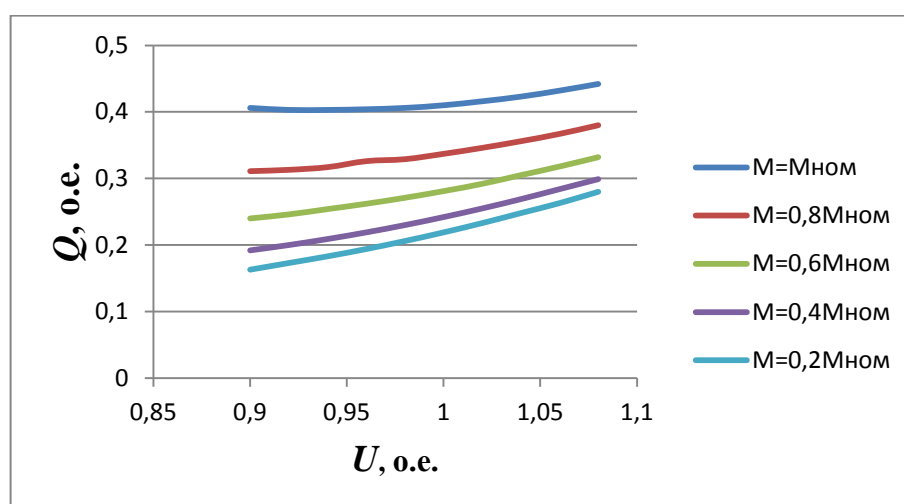


Рисунок 11 – Статические характеристики нагрузки АД

Как видно из рис. 11, СХН АД существенно зависит от величины внешнего момента, поэтому единую статическую характеристику для данного АД предложить сложно, но можно рассмотреть, как наиболее подходящую статическую характеристику, соответствующую $M=M_{ном}=1$ (таблица 17).

Получение СХН АД по активной мощности будет выглядеть аналогично.

Расчет значений активной мощности при изменении внешнего момента представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Статические характеристики нагрузки СД по активной мощности

M/M _н	1	0,8	0,6	0,4	0,2
<i>U</i>	<i>P</i>				
0,9	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
0,94	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
0,96	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
0,98	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
1,0	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
1,02	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
1,04	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
1,06	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
1,08	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91

Из таблицы 18 видно, что активная мощность не изменяется при вариациях внешнего момента АД и от величины питающего его напряжения, что и показано на рис. 12.

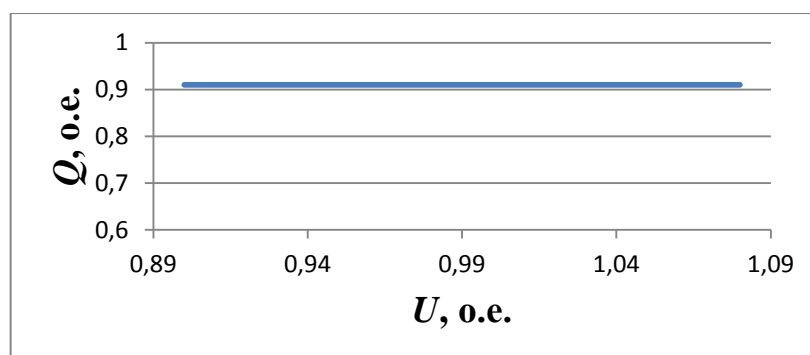


Рисунок 12 – Статическая характеристика АД

Коэффициенты полиномов для АД можно получить по тем же математическим процедурам, что и для СД.

В результате получены коэффициенты полиномов (табл.19) для рассматриваемого АД.

Таблица 19 – Результаты расчета полиномов СХН для АД

a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	b_2
0	0	0,91	1,97	-3,69	2,14

Найдя коэффициенты полиномов, СХН примут вид:

$$P = f(U) = 0,91 \cdot U^2;$$

$$Q = f(U) = 1,97 - 3,69 \cdot U + 2,14 \cdot U^2.$$

Таким образом, рассчитав коэффициенты полиномов для АД по расчетной методике, сравним полученные значения с типовыми СХН. Результаты расчета представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Сравнение полученных и типовых СХН

Коэффициенты	$P_{\text{тип}}$	$P_{\text{расч}}$
a_0	1	1
a_1	0	0
a_2	0	0
b_0	5,24	2,14
b_1	-9,92	-3,69
b_2	5,68	1,9

РАЗДЕЛ 2 РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА САМОЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ, МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЕГО ОБЕСПЕЧЕНИЮ

Широкое использование устройств автоматики позволяет значительно повысить надежность систем электроснабжения. Однако для ответственных потребителей средства автоматики обеспечивают должный эффект только в сочетании с успешным самозапуском электродвигателей [5].

Эксплуатационный персонал нефтяных месторождений должен ясно представлять явления, связанные с различными переходными процессами работы электрооборудования, одним из таких процессов является самозапуск двигательной нагрузки.

Двигатели при больших возмущениях оказывают влияние не только на режим работы ЭС, но и на функционирование внешней электрической сети, питающей нагрузку, поэтому анализ устойчивости двигательной нагрузки имеет важное значение.

Целью раздела является анализ процесса самозапуска двигателей после КЗ во внешней распределительной электрической сети.

2.1 Понятие самозапуска

Одним из способов сохранения непрерывности технологических процессов промышленных предприятий при кратковременных перерывах электроснабжения является самозапуск ЭД [8].

Самозапуском называется процесс восстановления нормальной работы ЭД без вмешательства персонала после кратковременного перерыва электроснабжения и глубокого снижения напряжения. Самозапуск считается обеспеченным, если после восстановления напряжения двигатель разогнался до нормальной угловой скорости и продолжает длительно работать с нормальной нагрузкой ЭД и производительностью приводимого механизма [5].

Если повреждение, вызвавшее глубокое снижение напряжения или прекращение питания, быстро ликвидировано действием РЗ и автоматики, и самозапуск ЭД проходит успешно, то это аварией не является в работе

электроснабжения. В случае неуспешного самозапуска двигателей, они останавливаются, и хотя устройства автоматики сработали, ущерб может быть значительным, особенно если идет речь о расстройстве сложного технологического процесса.

Самозапуск может происходить:

- 1) после кратковременного перерыва электроснабжения при срабатывании устройств АПВ. В данном случае происходит потеря питания ЭД и исчезает напряжение на выводах двигателей, после действия автоматики ЭД будут вновь подключены к источникам питания.
- 2) после кратковременного глубокого снижения напряжения, вследствие близкого КЗ, отключаемого релейной защитой.

В процессе самозапуска выключатели ЭД напряжением выше 1000 В, в большинстве случаев во время перерыва электроснабжения остаются включенными [8]. Отключение выключателей происходит лишь в том, случае когда самозапуск определенных двигателей не может быть обеспечен, либо не требуется по условиям производства [8].

Главная задача самозапуска – сохранение работоспособности ЭД при нарушении электроснабжения. При самозапуске группы ЭД, подключенных к общим шинам питания, происходит увеличение суммарной мощности двигателей, что может привести к выбегу двигателей и как следствие потере ими устойчивости, вследствие сниженной суммарной мощности источника питания [8]. При достаточной мощности системы питания в самозапуске могут участвовать все ЭД, в противном случае предусматривается поочередный самозапуск нескольких групп ЭД, т.е. несколько ступеней самозапуска. [8].

2.2 Процессы, происходящие при самозапуске

Условием работы двигателя является наличие вращающегося магнитного поля, создаваемого токами, протекающими в обмотках статора и ротора. В результате взаимодействия вращающегося магнитного поля с

контурами на роторе, в которых протекает ток, возникает электромагнитный момент вращения, который и приводит в движение двигатель.

В реальных условиях ненагруженный двигатель должен преодолевать сопротивление сил трения, поэтому установившаяся частота вращения, характеризуемая равенством электромагнитного момента вращения моменту сопротивления механизма, будет несколько меньше частоты вращения поля. Разность частоты вращения поля и частоты вращения ротора, отнесенная к частоте вращения поля, называется скольжением.

При отсутствии нагрузки на валу двигателя ось магнитного поля, создаваемого постоянным током, протекающим через обмотку возбуждения, расположенную на роторе, совпадает по направлению с осью результирующего вращающегося магнитного поля, обусловленного токами в обмотках статора, и угол между этими осями $\delta=0$. Если же двигатель будет преодолевать момент сопротивления, т.е. к двигателю подключили нагрузку, то ротор, продолжая вращаться синхронно с вращающимся магнитным полем статора, развернется относительно оси этого поля на некоторый угол $\delta \neq 0$ в сторону отставания. Очевидно, что с увеличением момента сопротивления на валу двигателя угол δ будет увеличиваться [6].

Процесс самозапуска можно разделить на три этапа.

Первый этап – групповой выбег ЭД, характеризующийся увеличением скольжения у ЭД и их постепенным затормаживанием. При этом между ЭД, подключенными к общим шинам питания, происходит переток мощностей между двигателями за счет запасенной электромагнитной и кинетической энергии [7].

Второй этап – индивидуальный выбег двигателей. Данный этап наступает, когда напряжение на общих шинах снизится ниже 50% от номинального или станет равным нулю.

Третий этап – самозапуск двигателей. На данном этапе происходит восстановление напряжения на шинах питания. Самозапуск можно считать обеспеченным, если за время перерыва электроснабжения нагрев обмоток не

превысит максимально допустимой величины, и, если при пониженном напряжении избыточный электромагнитный момент достаточен для доведения ЭД до номинальной скорости.

В конце третьего этапа двигатель должен войти в синхронизм. При некотором критическом значении нагрузки электромагнитный момент может стать меньше момента сопротивления нагрузки, при этом угол δ будет резко увеличиваться, и ротор начнет проворачиваться, т.е. начнет нарушаться связь двигателя с питающей сетью «выпадение из синхронизма». Выпадение из синхронизма двигателей может произойти и при неизменном моменте сопротивления на валу двигателя в результате уменьшения электромагнитного момента вращения, которое может быть вызвано уменьшением тока возбуждения или снижением напряжения питающей сети [6].

Принципиальное отличие самозапуска АД и СД в том, что у СД решается сначала вопрос о возможности самозапуска двигателя и способе ресинхронизации СД, что для АД это не является необходимым.

2.3 Описание процесса самозапуска синхронного двигателя

Процесс самозапуска СД проиллюстрирован на диаграмме, представленной на рис. 29.

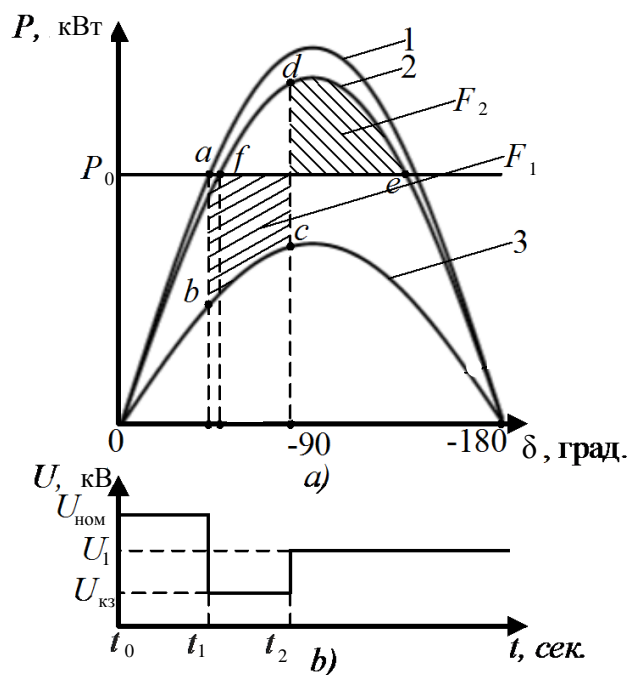


Рисунок 29 – Процесс самозапуска синхронного двигателя

Установившийся режим работы двигателя характеризуется постоянной механической мощностью и номинальным напряжением. В установившемся режиме на вал двигателя действуют два одинаковых по абсолютной величине, но противоположных по направлению вращающих момента: ускоряющий электромагнитный момент и тормозящий момент сопротивления нагрузки. Предположим, что установившийся режим находится в точке a .

На шинах ПС, питающей двигатель, произошло трехфазное КЗ в момент времени t_1 . В результате напряжение на питающих шинах уменьшается до значения $U_{\text{кз}}$. Напряжение на зажимах двигателя уменьшится до остаточного напряжения и соответственно электромагнитная мощность, представляющая собой активную мощность, потребляемую двигателем из сети за вычетом электрических и магнитных потерь в статоре, тоже будет уменьшаться. Режим перешел в точку b согласно диаграмме. В результате ротор под действием момента сопротивления, который характеризует нагрузку, присоединенную к валу двигателя, начнет уменьшать скорость вращения и тормозиться.

В момент времени t_2 происходит отключение КЗ релейной защитой, после чего напряжение на шинах питания восстанавливается до значения U_1 . Режим переходит в точку c . Электромагнитная мощность увеличивается, и далее ротор двигателя движется с ускоряющим моментом. На диаграмме этот режим характеризуется точкой d , точкой послеаварийной характеристики.

В дальнейшем процесс работы может перейти в точку e , в результате чего произойдет потеря устойчивости и двигатель выпадет из синхронизма. Если двигатель выпадет из синхронизма и к моменту восстановления напряжения работает как АД с определенным значением скольжения, то процесс его самозапуска нужно рассматривать как пуск АД, осуществляемый от достигнутого скольжения.

Также процесс работы двигателя может перейти в точку f , которая соответствует установившемуся режиму работы двигателя в послеаварийном режиме, что свидетельствует о том, что СД не выпал из синхронизма.

В классической теории устойчивости критерием сохранения устойчивости двигателя является коэффициент запаса динамической устойчивости [11], определяющийся по формуле: $k_d = \frac{F_2}{F_1} \geq 1$, где: F_2 – величина площадки ускорения; F_1 – величина площадки торможения.

На сегодняшний день современные ПК не позволяют рассчитывать площадки торможения и ускорения, поэтому по данному критерию судить об устойчивости СД не представляется возможным.

Исследуя поведение угла $\delta=f(t)$ при моделировании больших возмущений, можно сделать выводы о сохранении или потере устойчивости синхронным двигателем.

2.4 Разгон синхронных двигателей до подсинхронной угловой скорости

Анализ процесса разгона СД после восстановления питания разобьём на 2 этапа: 1) Разгон до подсинхронной угловой скорости 2) вхождение в синхронизм. Под термином «подсинхронная угловая скорость» понимается

такое установившееся ее значение, до которого двигатель разгонится под действием асинхронного момента при данной нагрузке и отсутствии возбуждения. Иными словами, это – установившееся значение угловой скорости асинхронного режима СД. Подсинхронной угловой скорости соответствует подсинхронное скольжение, идентичное по своему физическому смыслу рабочему скольжению АД.

Разгон синхронного ЭД происходит в соответствии с общим для всех двигателей уравнением движения ротора [5]:

$$m_{эл} - m_c = J \frac{d\omega}{dt} = -J \frac{ds}{dt}, \quad (13)$$

где: $m_{эл}$ – электромагнитный момент, приводящий в движение двигатель;

m_c – момент сопротивления двигателя, т.е. момент сопротивления механизма вместе с механическими потерями в двигателе.

Разгон СД после включения происходит под влиянием полного электромагнитного момента [5]:

$$m_{эл.полн.} = m_{ac} + m_{ac\sim} + m_{\epsilon} + m_p + m_m + m_{\partial n}, \quad (14)$$

где: m_{ac} – средний асинхронный момент, $m_{ac\sim}$ – знакопеременные составляющие асинхронного момента, обусловленные электрической несимметрией ротора и имеющие двойную частоту скольжения; m_{ϵ} – синхронизирующий момент, обусловленный наличием возбуждения; m_p – реактивный момент, который также является синхронизирующим и обусловлен магнитной несимметрией ротора; m_m – тормозной момент, возникающий за счет токов надодимых в обмотке статора при работе возбужденного двигателя; $m_{\partial n}$ – дополнительная составляющая момента, возникающая при быстром изменении угловой скорости ротора.

Поскольку на первом этапе разгона СД возбуждение отсутствует, можно не учитывать момент m_{ϵ} , а также тормозной момент:

$$m_m = \frac{r_{ст} + r_c}{1-s} \cdot \left(\frac{E_d}{x_d}\right)^2, \quad (15)$$

Поскольку $E_d=0$. Здесь $r_{ст}$ и r_c – активные сопротивления обмотки статора и питающей сети. Также можно не учитывать реактивный момент, т.к. СД неявнополюсный и в нем он вообще отсутствует.

Разгон невозбужденного СД до подсинхронной угловой скорости определяется в основном средним значением асинхронного момента $m_{ас}$, который в дальнейшем будем просто называть асинхронным моментом [5]. В конце первого этапа, т.е. при скольжениях, близких к подсинхронным скольжениям, сказывается также влияние дополнительного момента $m_{дн}$.

В целях приближения анализа разгона синхронного двигателя до подсинхронного скольжения к самозапуску асинхронного двигателя, к обмотке возбуждения неявнополюсного СД подключено бесконечно большое разрядное сопротивление.

Аналогично АД подключенный к сети СД, после перерыва электроснабжения, будет разгоняться, если развиваемый им асинхронный момент окажется больше момента сопротивления:

$$m_a > m_c$$

Поэтому для обеспечения разгона двигателя достаточно выполнить это условие. Т.к. ЭД при самозапуске разгоняется медленнее, чем при пуске, то более длительный разгон вызовет повышенный нагрев.

На заключительную стадию первого этапа разгона СД существенное влияние может оказать дополнительный момент $m_{дн}$. При достаточно больших электромагнитных постоянных времени затухание токов в обмотках статора и ротора отстает от процесса разгона. Получается, что мгновенное значение токов при разгоне выше, чем при вращении с постоянной угловой скоростью для того же скольжения. В результате мгновенное значение момента может быть больше асинхронного момента, соответствующего подсинхронному скольжению [12]. Следовательно, если двигатель за время

нарушения электроснабжения затормозился до достаточно большого скольжения, то за счет набранного в зоне больших скольжений ускорения он может разогнаться до скольжения, меньшего подсинхронного скольжения [5].

2.5 Определение успешности ресинхронизации синхронных двигателей

Опыт эксплуатации показывает, что нередко синхронные машины, перешедшие в асинхронный режим, можно синхронизировать, не отключая их от сети [7]. Процесс восстановления синхронизма машин в процессе асинхронного режима называется ресинхронизацией. Одним из условий успешной ресинхронизации является прохождение скольжения через нуль, т.е. $s=0$. Это означает, что двигатель кратковременно вошел в синхронизм, дополнительная кинетическая энергия стала равно нулю, а асинхронная составляющая мощности исчезла.

Синхронизирующий момент, определяемый наличием возбуждения, равен:

$$m_s = \frac{E_q U_\delta}{x_d} \sin \delta. \quad (16)$$

Его значение в зависимости от угла между векторами ЭДС двигателя и напряжения сети может быть как положительным, так и отрицательным. В результате возникнут колебания угловой скорости около подсинхронного значения. Если в период действия положительной полуволны синхронизирующего момента двигатель достигнет синхронной угловой скорости, то произойдет втягивание в синхронизм. Из (16) следует, что синхронизирующий момент тем больше, чем больше напряжение на зажимах двигателя, и чем больше развиваемая им ЭДС [5].

Анализ разгона СД и вхождения в синхронизм можно выполнять также на основе уравнений Парка-Горева с использованием ЭВМ. Суть метода заключается в том, что существует некоторое критическое скольжение $s_{кр}$, при котором возможна синхронизация двигателя, как при пуске, так и при

самозапуске. Если фактическое скольжение превышает это значение, то двигатель в синхронизм не втягивается [5]. Тогда условие успешного вхождения в синхронизм может быть выражено как:

$$s_{кр} > s_a.$$

Известно несколько способов определения $s_{кр}$. Хорошие результаты обеспечивает формула:

$$s_{кр} = 0,006 \sqrt{\frac{m_{\epsilon, \max} - 0,6m_c}{\tau_{jном}}}, \quad (17)$$

где: $m_{\epsilon, \max}$ – максимальное значение синхронного момента; $\tau_{jном}$ – постоянная времени, с.

В некоторых работах вместо (17) используется выражение:

$$s_{кр} = 0,065 \sqrt{\frac{m_{\epsilon, \max}}{\tau_{jном}}}, \quad (18)$$

которое было выведено при допущении, что асинхронный момент двигателя при вхождении в синхронизм практически уравнивается моментом сопротивления и тормозным моментом.

Иногда вместо критерия $s_{кр} > s_a$ возможность вхождения в синхронизм оценивается сравнением момента сопротивления механизма при скольжении 0,05 с асинхронным моментом двигателя при том же скольжении, определенном с учетом напряжения на зажимах двигателя и кратности разрядного сопротивления. Метод является приближенным и, как правило, обеспечивает чрезмерный запас.

2.6 Мероприятия по обеспечению самозапуска СД

На выбор способа ресинхронизации СД оказывают влияние очень многие факторы: характеристики двигателя, его загрузка, система возбуждения, характер зависимости момента сопротивления от скольжения, момент инерции двигателя, мощность питающей сети, способ автоматического восстановления электроснабжения и т.д.

Бывают случаи, когда за время перерыва электроснабжения двигатель не выходит за пределы устойчивой синхронной работы. В синхронном режиме при рабочем значении тока возбуждения и номинальном напряжении угол между вектором напряжения сети и ЭДС двигателя составляют определенную величину. При прекращении питания вектор ЭДС начнет отставать от вектора напряжения сети, и угол δ начнет увеличиваться. Если к моменту восстановления напряжения до номинального значения угол не успеет достичь некоторого критического значения, то синхронный момент останется большим, чем момент сопротивления, и двигатель сохранит синхронный режим, восстановив рабочее значение угла δ . Самозапуск без потери синхронизма для некоторых механизмов оказывается единственным принципиально возможным способом [5].

Для того, чтобы облегчить условия самозапуска без потери синхронизма возможны следующие пути решения:

1. Повышение напряжения на зажимах двигателя при восстановлении питания до значения, близкого к единице;
2. Уменьшение рабочего угла δ , что ведет одновременно к уменьшению коэффициента загрузки;
3. Повышение ЭДС двигателя, т.е. повышение форсировки возбуждения;
4. Повышение момента инерции I , следовательно, постоянной времени τ , для чего двигатели снабжаются маховиками;

Принцип действия маховика заключается в накоплении кинетической энергии от СД во время его нормальной работы, при снижении напряжения на зажимах двигателя маховик начинает раскручивать вал двигателя, тем самым увеличивая его момент инерции.

5. Переключение схем соединения обмоток статоров двигателей, что способствует повышению напряжения сети и успешному разгону ЭД;
6. Использование статических конденсаторов как средство повышения мощности источника питания.

Наиболее технологически простым способом является ресинхронизация без воздействия на ток возбуждения. Однако, если ресинхронизация без управления возбуждением двигателя не осуществима, то на этапе разгона двигателя поле возбуждения гасится, а при достижении подсинхронной скорости производится подача и форсировка возбуждения. В большинстве случаев за счет подобного управления возбуждением удастся обеспечить успешную ресинхронизацию СД [7]. Следует отметить, что форсировка возбуждения эффективна, если остаточное напряжение при КЗ больше $(0,4-0,5)U_{ном}$ и время отключения КЗ мало (не более 0,5 с.). При $U_{ост} < 0,5 U_{ном}$ и большем времени КЗ форсировка возбуждения на СД может приводить к дополнительному торможению двигателя. В таких случаях, целесообразным является снятие на некоторое время возбуждения у двигателя, пока возбуждение не восстановится по достижении двигателя подсинхронной частоты [13]. Также следует отметить, что ввиду отсутствия АРВ у СД такой метод ресинхронизации не применим.

Для обеспечения ресинхронизации может быть осуществлена разгрузка рабочего механизма, если это допустимо по условиям технологического процесса, или предусмотрены другие меры, облегчающие вхождение в синхронизм [7].

2.7 Устойчивость асинхронного двигателя при КЗ

Рост механического момента на валу двигателя или снижение напряжения на его зажимах вызывает появление избыточного тормозящего момента ΔM (рис. 33). Как при увеличении механического момента, так и при снижении напряжения скольжение двигателя будет увеличиваться и он опрокинется, т.е. остановится. Для предотвращения этого фактора необходимо своевременно уменьшить механический момент двигателя, либо восстановить напряжение на его зажимах. Если прежнее значение напряжения или момента будет восстановлено при скольжении S_1 (рис.33), то на вал двигателя будет действовать ускоряющий избыточный момент ΔM_1

который вернет двигатель в устойчивый режим работы со скольжением S_0 [10].

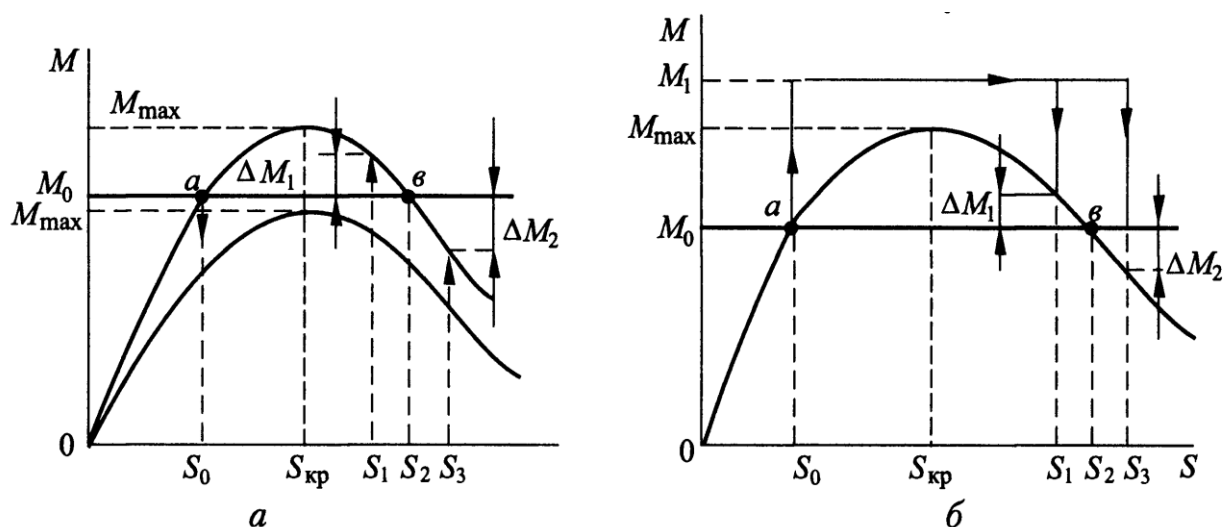


Рисунок 33 – Характеристики асинхронного ЭД:

а – снижение напряжения; б – увеличение механического момента

Если восстановление напряжения или момента произойдет при скольжении S_3 , то избыточный момент ΔM_2 будет иметь тормозной характер и двигатель опрокинется.

Для того, чтобы определить время в течение которого будет достигнуто необходимое значение скольжения, необходимо решить уравнение движения ротора двигателя [10].

При возникновении избыточного момента на валу двигателя ускорение ротора обратно пропорционально моменту инерции и прямо пропорционально избыточному моменту и может быть записано в следующем виде:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\Delta M}{J}, \quad (19)$$

где $\Delta M = M_{эл} - M_c$ – разность электромагнитного момента двигателя и момента сопротивления приводимого механизма; J – момент инерции, причем $J = J_{дв} + J_{мех.пр.}$, $J_{дв}$ – момент инерции двигателя, $J_{мех.пр.} = J_{мех} (\omega_{ном.мех.} / \omega_{ном.дв.})$ – приведенный момент механизма с учетом

разных номинальных скоростей вращения; ω – угловая скорость вращения двигателя.

Угловая скорость может быть выражена через скольжение следующим образом:

$$\omega = (1 - S)\omega_{1ном} \quad (20)$$

Подставив уравнение (8) в (7) и выразив ΔM в относительных номинальных единицах двигателя, получим [10]:

$$\Delta M_{*ном} = -\frac{dS}{dt} \frac{\omega_{1ном}}{M_{ном}} J = -T_j \frac{dS}{dt}, \quad (21)$$

где $T_j = J\omega_{1ном}^2 / P_{ном}$, а $P_{ном}$ – номинальная мощность двигателя.

Уравнение (21) называется уравнением движения ротора АД, оно описывает движение ротора двигателя при больших возмущениях. Решение этого уравнения может быть получено с помощью любого метода численного интегрирования. Наиболее просто это решение получается, если разбить ось абсцисс функции $\Delta M(S)$ на ряд равных интервалов ΔS (рис.34).

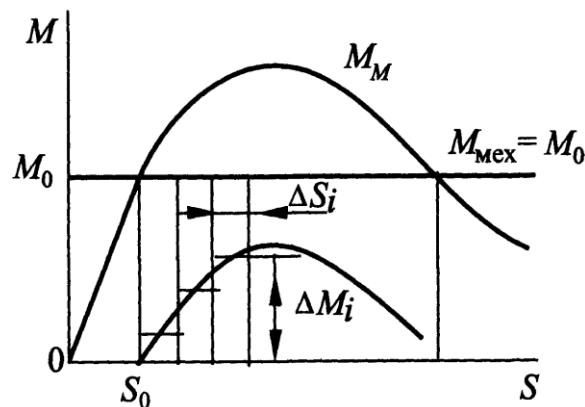


Рисунок 34 – Зависимость $M(S)$

Тогда уравнение движения на любом интервале будет иметь вид:

$$\Delta M_i = T_j \frac{\Delta S_i}{\Delta t_i},$$

и время от момента нарушения режима до конца любого n -го интервала определится как:

$$t = T_j \sum_{i=1}^n \frac{\Delta S_i}{\Delta M_i}.$$

Точность решения возрастает с уменьшением величины ΔS .

Получив зависимость $S(t)$, можно определить скольжение, соответствующее времени t_1 согласно рис.35.

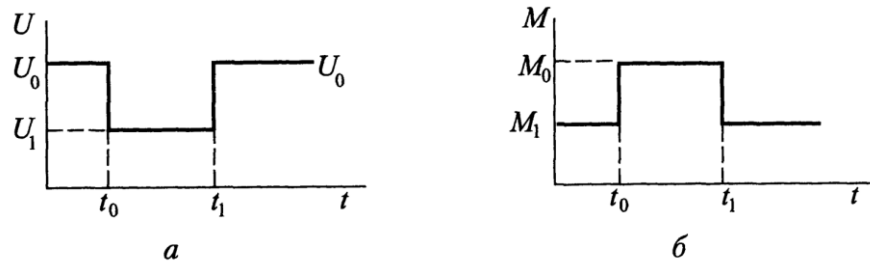


Рисунок 35 – Изменение напряжения на зажимах двигателя (а) и механического момента (б)

Зная значение скольжения, можно судить о динамической устойчивости двигателя.

2.7.1 Самозапуск асинхронных двигателей

Самозапуском АД называют процесс восстановления нормальной работы после ее кратковременного нарушения, вызванного кратковременным снижением напряжения питания, либо его исчезновением [11].

Процесс самозапуска АД, рассмотрим на примере его работы при кратковременном снижении питающего напряжения. Примем в целях упрощения $P_{мех} = \text{const}$. Согласно рис.36 скольжение восстанавливается $s_{вос.2}$ к моменту восстановления напряжения и может оказаться больше, чем в точке неустойчивого равновесия (точка b). В этом случае самозапуск невозможен.

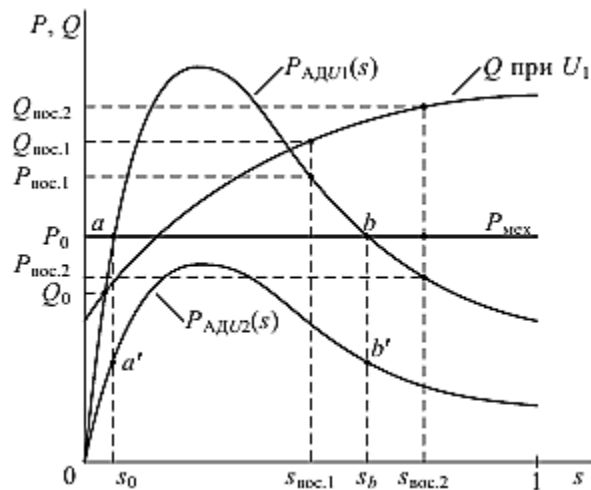


Рисунок 36 – Работа АД при кратковременном снижении питающего напряжения

Если в момент восстановления напряжения электромагнитный момент будет больше механического, то условия самозапуска выполняются.

Также следует учитывать, что в момент восстановления напряжения притормозивший ЭД потребляет повышенные активную и реактивную мощности ($P_{вос.1} > P_0$, $Q_{вос.1} > Q_0$), что приводит к уменьшению напряжения питания двигателя. В конечном итоге скольжение s_b уменьшается и, следовательно, условия самозапуска двигателя ухудшаются [11].

2.8 Взаимное влияние двигателей

Переходные процессы, возникающие при нарушениях нормального режима работы групп двигателей с неодинаковыми параметрами, характеризуются рядом особенностей. При нормальной работе АД имеет синхронно вращающееся магнитное поле, поддерживаемое напряжением сети. В этом поле запасена определенная энергия. Поэтому после прекращения питания поле не исчезает мгновенно, оно затухает с некоторой постоянной времени. Если АД отключается от источника питания, то эта постоянная времени примерно равна $(x_{\mu} + 0,5x_k) / r_2'$, отн.ед. Также затухает и ЭДС, обусловленная этим полем (рис.37) [14].

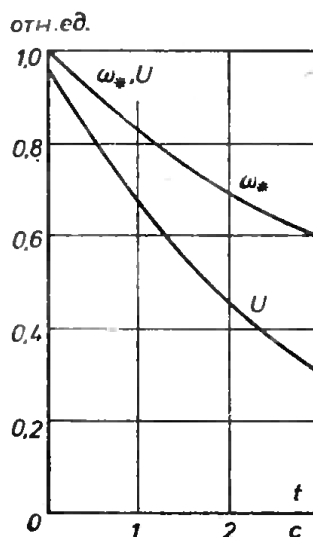


Рисунок 37 – Изменение напряжения и частоты на зажимах АД после его отключения от сети

Если отключена линия, питающая сборные шины группы АД, то до тех пор, пока не затухнут их ЭДС, между этими двигателями протекают токи, которые создают электромагнитные асинхронные моменты. Двигатели, которые имеют меньший коэффициент загрузки или большую постоянную инерции, будут тормозиться медленнее остальных и окажутся по отношению к ним в режиме генераторов. Иначе говоря, токи в контурах, содержащих ЭДС и сопротивления двигателей, будут таковы, что электрическая мощность будет передаваться от одних двигателей к другим. Поэтому разница в скольжениях двигателей будет меньше, чем если бы они выбегали независимо друг от друга. Полного выравнивания частот не может быть, так как при этом взаимные асинхронные моменты снизились бы до нуля [14].

Процесс выбега группы двигателей, при котором взаимные асинхронные моменты настолько велики, что взаимные скольжения удерживаются на значениях, меньших критического, называется групповым или синхронным выбегом. Выбег АД остается групповым, пока напряжение на общих шинах не снизится примерно до 60% номинального. Далее выбег продолжается как индивидуальный в соответствии с собственными значениями момента сопротивления и механической постоянной инерции [14].

Если к шинам, потерявшим питание, подключена статическая нагрузка, то затухание ЭДС двигателей значительно ускоряется. При осветительной нагрузке, составляющей около 5% суммарной мощности двигателей низкого напряжения, постоянная времени затухания их поля уменьшается настолько, что групповой выбег может продолжаться не более нескольких периодов промышленной частоты. Процесс группового выбега не играет заметной роли и в случаях КЗ в сети, а также когда снижение напряжения не связано с отключением линии питающей группу двигателей [14].

СД длительное время могут поддерживать напряжение на шинах при выбеге. По отношению к АД они могут работать в режиме генераторов, если они имеют большую механическую постоянную инерции и меньшую загрузку, по отношению к другим – в режиме двигателей. Поэтому наличие СД способствует большему выравниванию скольжений при выбеге [14].

При совместном самозапуске асинхронных и синхронных двигателей последние, как правило, потребляют в процессе самозапуска очень большие токи, поэтому даже небольшая по мощности группа СД может дать значительное снижение напряжения на своих шинах и затруднить самозапуск асинхронной нагрузки [14]. С другой стороны, пока не закончился самозапуск АД, из-за низкого уровня напряжения ресинхронизация СД может оказаться невозможной [14].

Возможности самозапуска группы двигателей в значительной мере зависят от того, насколько различными являются их параметры. Рассмотрим условия самозапуска двух двигателей, у которых номинальная мощность и все параметры одинаковы, а коэффициенты загрузки могут быть как одинаковыми, так и различными.

Пусть для этих двигателей при одинаковых коэффициентах загрузки предельно допустимая длительность перерыва питания равна t_1 . При несколько более длительном перерыве питания t_2 самозапуск невозможен (рис.38).

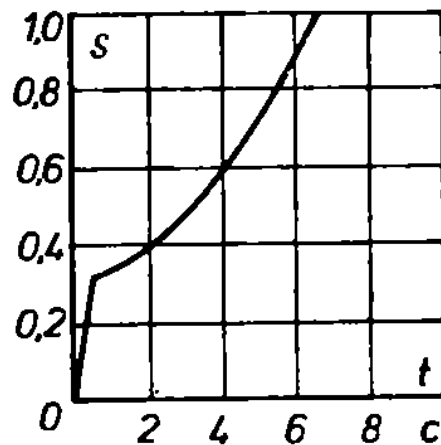


Рисунок 38 – Выбег двигателей с одинаковыми коэффициентами загрузки

Если у одного из двигателей уменьшить коэффициент загрузки, а у второго настолько же увеличить его, то условия самозапуска изменятся: после перерыва питания той же длительности $t_{\text{п}}$ один двигатель начнет ускоряться, другой некоторое время будет продолжать торможение. Суммарный ток этих двигателей будет уменьшаться, что приведет к повышению напряжения, и процесс может успешно завершиться (рис. 39).

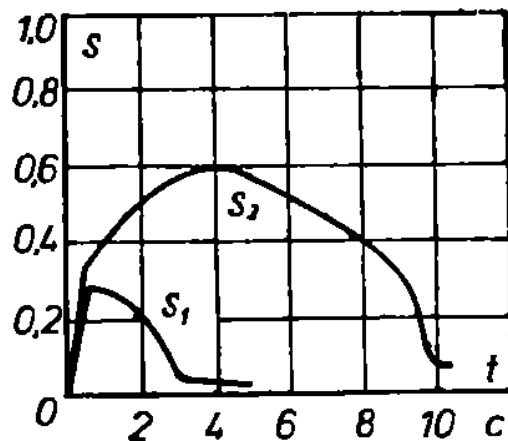


Рисунок 39 – Успешный самозапуск двигателей

Поэтому понятие «успешного самозапуска» динамической устойчивости нуждается в уточнении для случаев, когда рассматривается группа двигателей. Самозапуск нужно считать успешным, если нормального режима достигают все двигатели, участвующие в самозапуске.

2.9 Расчет и анализ полученных результатов

2.9.1 Контроль предшествующего (доаварийного) режима

Контроль предшествующего режима выполнялся для:

- 1) Проверки соответствия уровней напряжения в узлах требованиям ГОСТ 721-77 и ГОСТ 32144-2013;
- 2) Определения необходимости установки регулирующих устройств.

Балансирующим узлом в рассматриваемой электрической сети являются шины 220 кВ ПС Парабель, номера узлов – 1,2, заданное напряжение в узлах – 235,4 кВ.

По результатам расчета установившегося режима было выявлено неприемлемое увеличение напряжения согласно [16,17].

В качестве мероприятия по регулированию напряжения было осуществлено регулирование с помощью РПН автотрансформатора, установленного на ПС Парабель. Значения напряжений до и после регулирования приведены в табл. 21.

Таблица 21 – Значения напряжений до и после регулирования

ПС	№узла	Напряжение, кВ	
		До регулирования	После регулирования
Парабель 110 кВ	4	123,73	113,78
	3	123,73	113,78
Парабель 110 кВ	49	11,16	11,15
Лугинецкая 110 кВ	5	122,25	112,25
	6	122,25	112,25
БКНС-22 6 кВ	8	6,91	6,34
БКНС-22 0,4 кВ	12	0,46	0,42
Лугинецкая 35 кВ	13	40,39	37,08
	14	40,73	37,4
ПС №501 35 кВ	15	40,72	37,39
	16	40,36	37,06
ПС №501 6 кВ	18	7,21	6,62
ПС №516 (35 кВ)	23	40,37	37,07
	24	40,71	37,38
ПС №516 (6 кВ)	25	7,26	6,67
	26	7,33	6,73
ПС №548 35 кВ	27	40,36	37,06
	28	40,72	37,39
ПС №548 6 кВ	29	7,26	6,67

ПС	№узла	Напряжение, кВ	
		До регулирования	После регулирования
ПС №502 35 кВ	30	7,33	6,73
	31	40,37	37,06
	32	40,71	37,37
ПС №502 6 кВ	33	7,26	6,67
	34	7,32	6,72
ПС №524 35 кВ	35	40,38	37,08
	36	40,72	37,39
ПС №524 6 кВ	37	7,27	6,67
	38	7,33	6,73
ПС №558 35 кВ	39	39,62	36,34
	40	40,32	37,00
ПС №558 6 кВ	46	6,95	6,38
	47	7,16	6,57
БКНС-22 СД-1	11	6,9	6,34
БКНС-22 СД-2	42	6,9	6,34
БКНС-21 СД-1	43	6,95	6,37
БКНС-21 СД-2	44	6,95	6,37
БКНС-21 СД-3	45	7,16	6,57
НПС АД-1	21	7,18	6,59
НПС АД-2	22	7,19	6,6

Шаг напряжения рассчитывается по формуле (22):

$$\Delta U = \frac{U_{\text{вном}} \cdot V\%}{100} = \frac{121 \cdot 2}{100} = 2,42, \quad (22)$$

где: $U_{\text{вном}}$ – номинальное высокое напряжение; $V\%$ – шаг регулирования.

Таким образом, после регулирования напряжения РПН автотрансформатора, установленного на 3 отпайке, необходимости в установке компенсирующих устройств выявлено не было.

После подготовки установившегося режима исследуемой сети перейдем к исследованию переходных процессов.

2.9.2 Расчет и анализ переходного процесса

Расчет и анализ динамической устойчивости двигательной нагрузки проводился применительно к нарушению установившегося режима, причиной которого являлось: нормативное возмущение II группы – отключение ВЛ

110кВ Парабель–Лугинецкая основными защитами, вызванное трехфазным КЗ с успешным АПВ.

Расчеты были выполнены с учетом установки на всех элементах быстродействующих защит ($T_3=0,12$ с), время срабатывания АПВ – 2 с. В расчете были исследованы 5 СД, установленные на БКНС-22, БКНС-21, согласно схеме приложения 1.

1) Расчет и анализ процесса самозапуска двигателей

Сценарий переходного процесса представлен на рис.40.

Файлы УР Дин.-данные Дин.-результаты Утяжеление Прочие функции Установки Окна ?										
Стандартные АПАР Программируемые										
Пояснение	N	Логика	Фактор	Ni	Nj	Np	Уставка	T1	Кв	
		T2	Действие	Ni	Nj	Np	Парам1	Парам2	Парам3	
	1		Время							
	1	1.000	Шунт	50				0.001		
	1	1.120	Отключить связь	50	5					
	1	1.120	Отключить связь	4	50					
	1	1.120	Шунт	50				-0.001		
	1	3.120	Включить связь	50	5					
	1	3.120	Включить связь	4	50					

Рисунок 40 – Сценарий событий при самозапуске двигателей

Согласно сценарию в узле 50 (середина ВЛ Парабель-Лугинецкая) происходит трехфазное КЗ. После чего происходит отключение ВЛ быстродействующей защитой через 0,12 с. В этот же момент времени происходит отключение КЗ, т.к. срабатывает успешное АПВ, ВЛ приходит в рабочее состояние на секунде 3,12.

а) Исследование самозапуска СД под номерами 11,42 согласно схеме приложения 2.

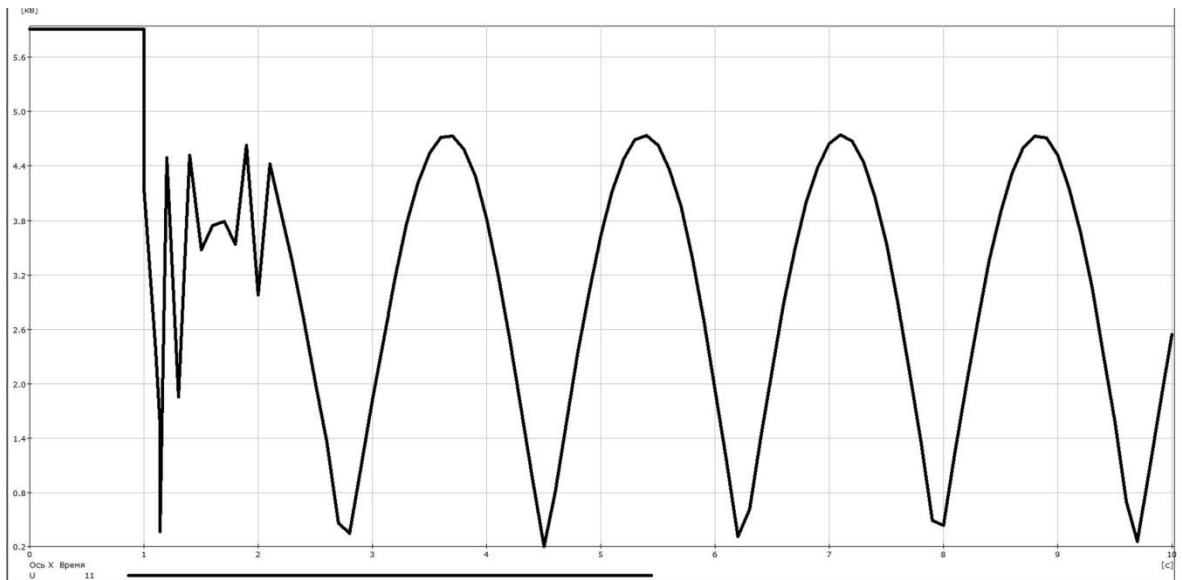


Рисунок 41 – Напряжение СД №11

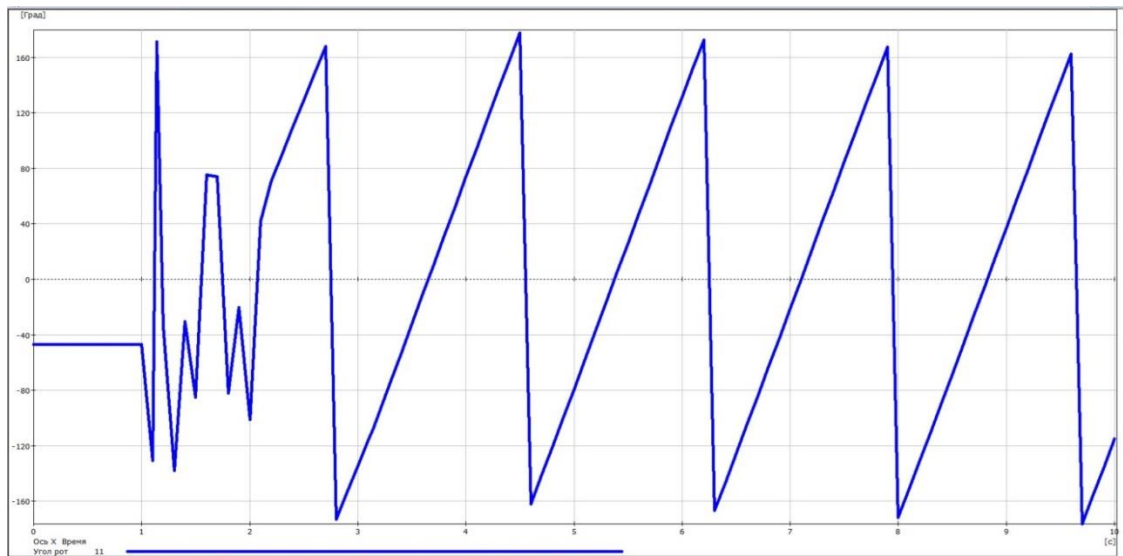


Рисунок 42 – Угол СД №11

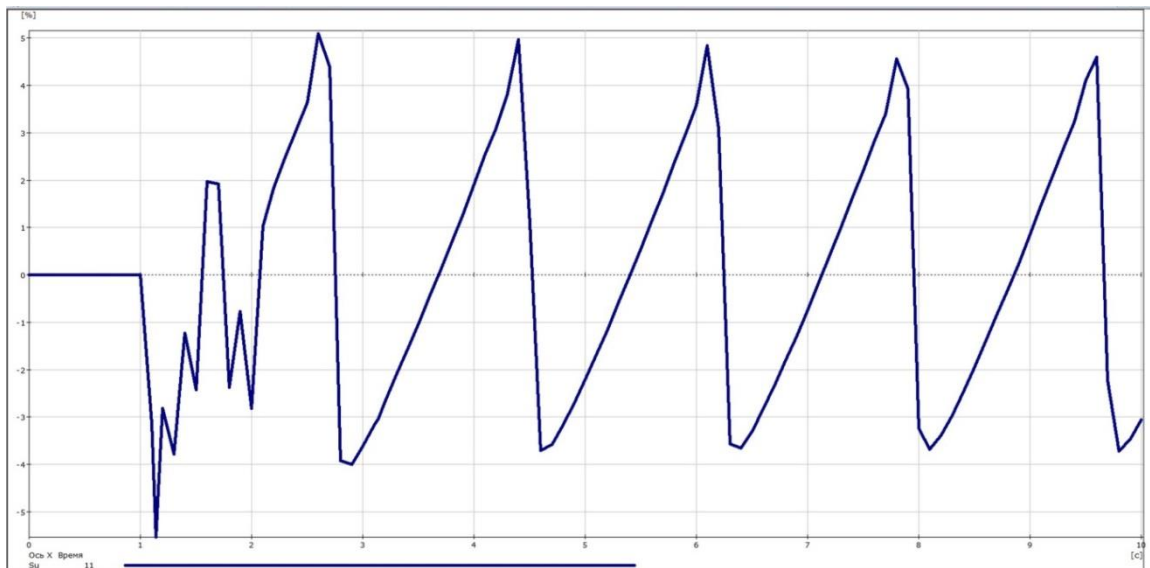


Рисунок 43 – Скольжение СД №11

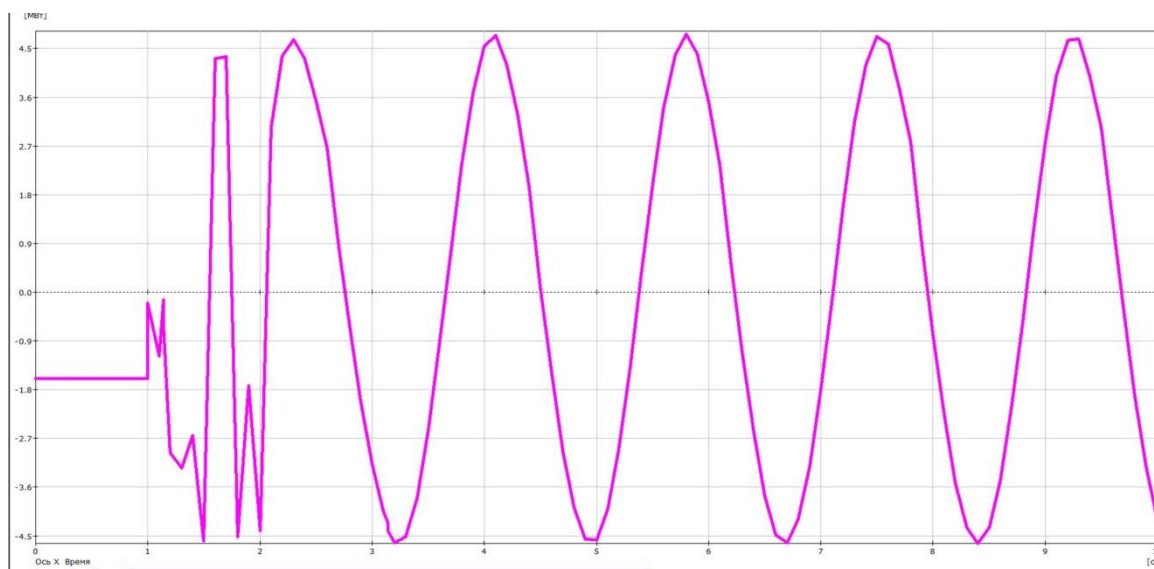


Рисунок 44 – Активная мощность СД №11

Согласно полученным данным, видно что СД теряет устойчивость и не самозапускается.

Зависимости, полученные в процессе расчета (рис. 41-44) описывают выбег ЭД, характеризующийся затормаживанием и увеличением скольжения.

В момент КЗ напряжение на зажимах двигателя уменьшается до $U_{ост}=0,4$ кВ, угол начинает увеличиваться и при $t=1,1$ с. $\delta=-130^\circ$, ротор начинает проворачиваться, нарушается связь двигателя с питающей сетью и двигатель выпадает из синхронизма. Т.к. напряжение уменьшилось до остаточного значения, частота вращения двигателя уменьшилась, а скольжение увеличилось до 5%.

Поведение СД №42 во время переходного процесса имеет аналогичный характер.

б) Исследование самозапуска СД под номерами 43, 44, 45 согласно схеме приложения 2.

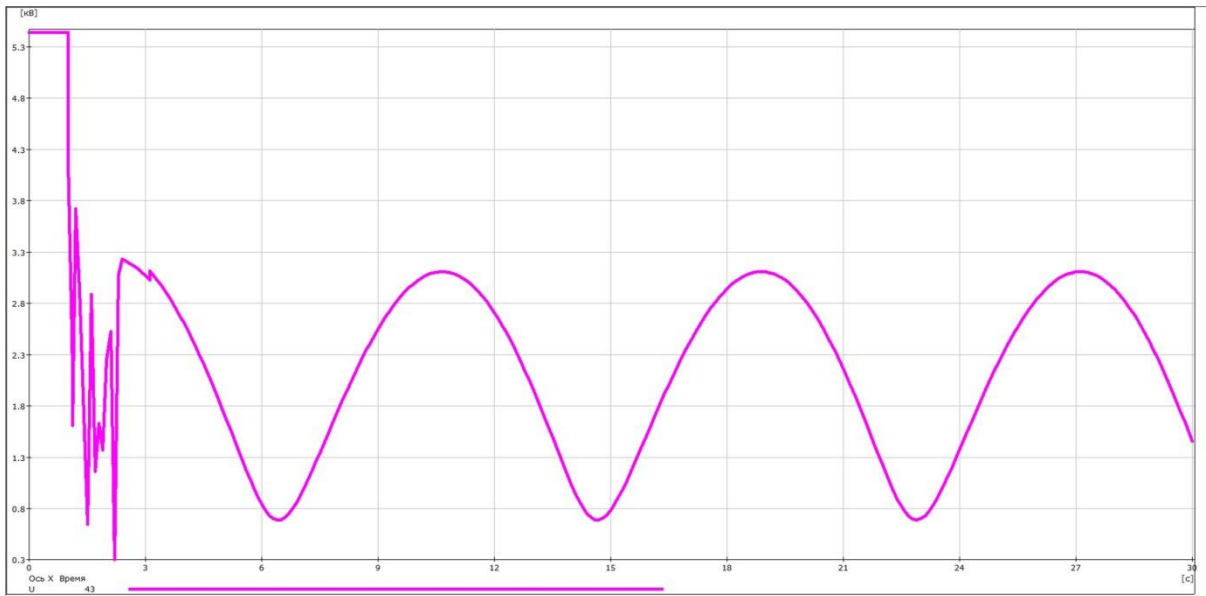


Рисунок 45 – Напряжение СД №43

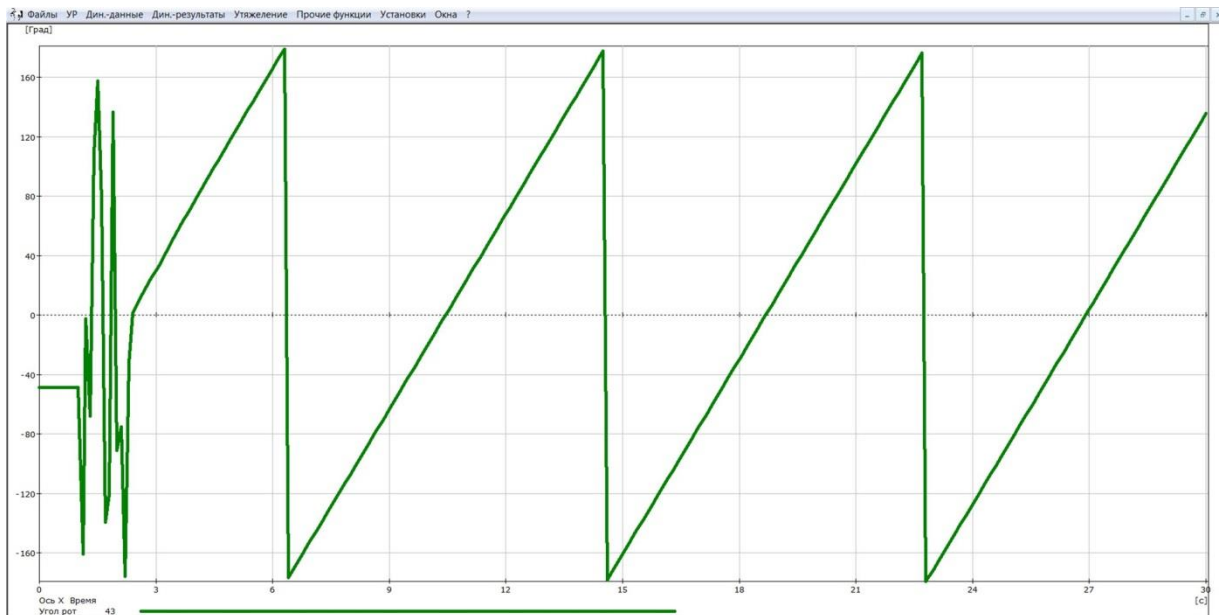


Рисунок 46 – Угол СД №43

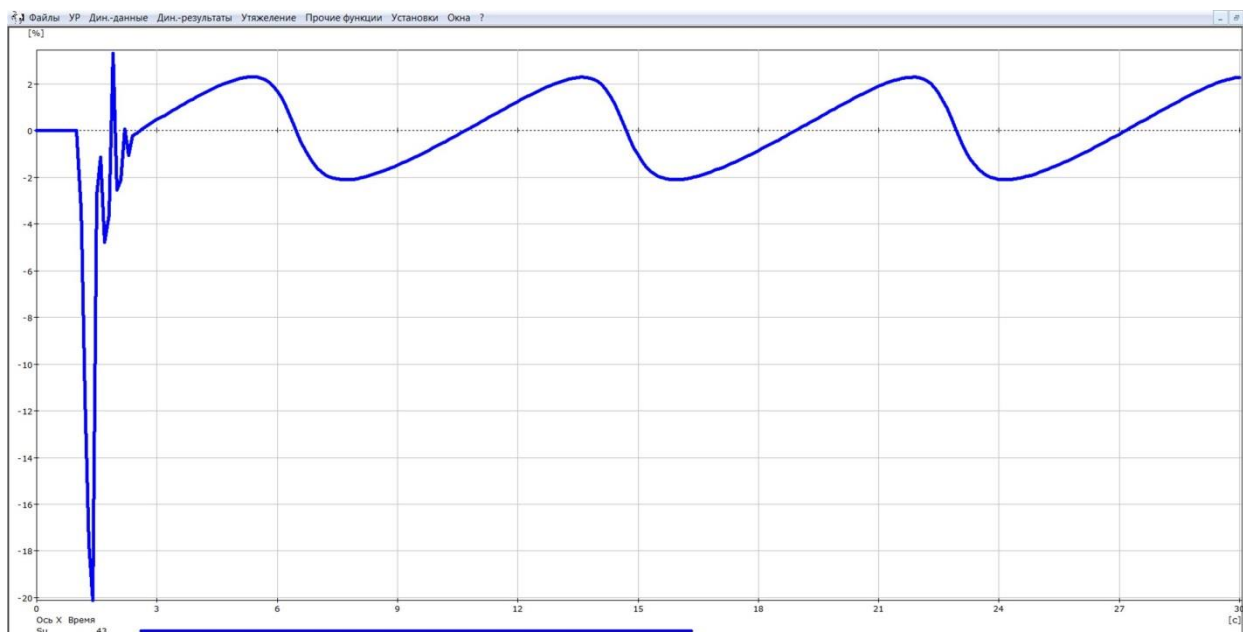


Рисунок 47 – Скольжение СД №43

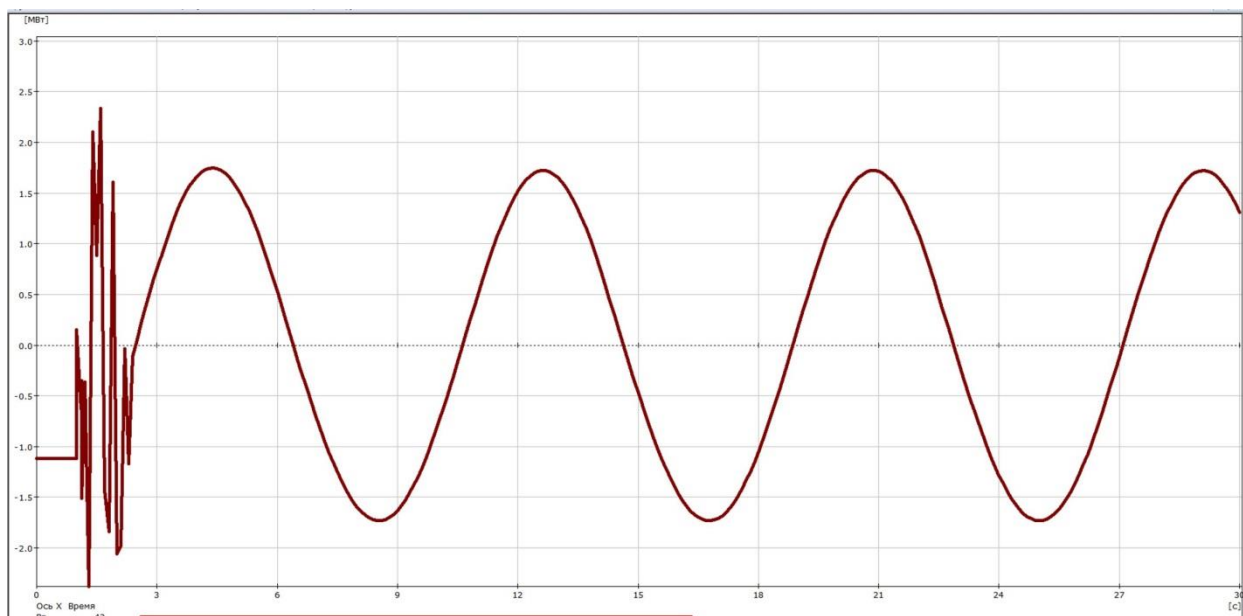


Рисунок 48 – Активная мощность СД №43

Согласно полученным данным СД 43 теряет устойчивость и не самозапускается.

Зависимости полученные в процессе расчета (рис.45-48) явно описывают выбег ЭД, характеризующийся затормаживанием и увеличением скольжения.

В момент КЗ напряжение на зажимах двигателя уменьшается до $U_{ост}=0,3$ кВ, угол начинает резко увеличиваться при $t=1,1$ $\delta=-160^\circ$, ротор начинает проворачиваться, нарушается связь двигателя с питающей сетью и

двигатель выпадает из синхронизма. Максимальный угол за все время переходного процесса $\delta_{max}=-175^\circ$. Т.к. напряжение уменьшилось до остаточного значения, электромагнитная мощность тоже начала уменьшаться, двигателю стало тяжело преодолевать сопротивление нагрузки, подключенной к двигателю, частота вращения двигателя уменьшилась и скольжение увеличилось до 20%.

Поведение СД под номером 45 во время переходного процесса имеет аналогичный характер.

Поведение СД-44 представим отдельно на рис. 49-52.

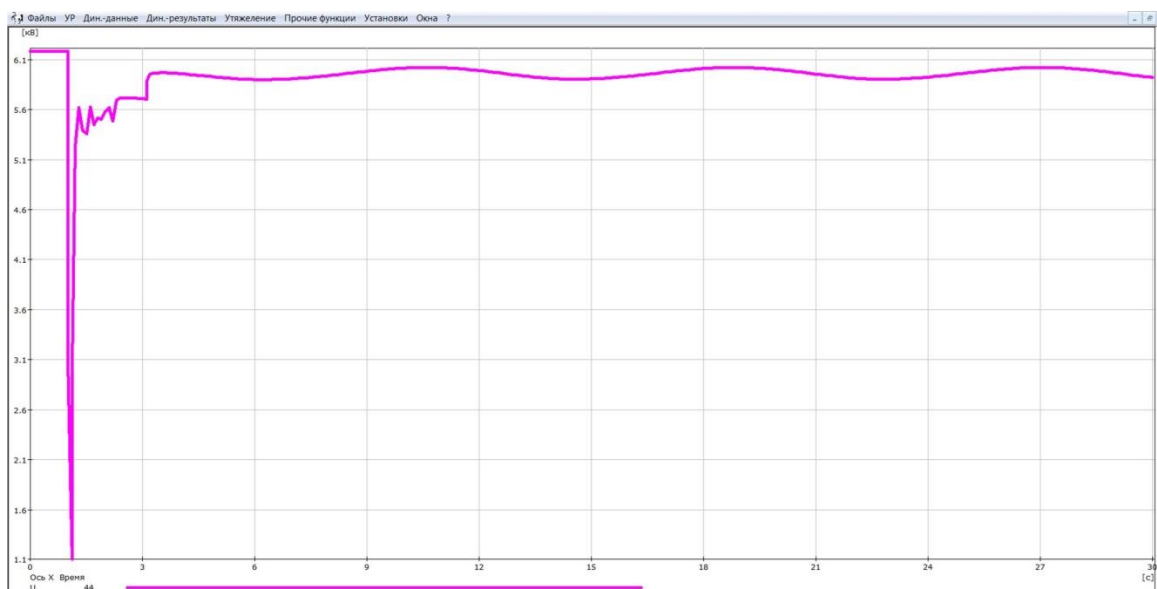


Рисунок 49 – Напряжение СД №44

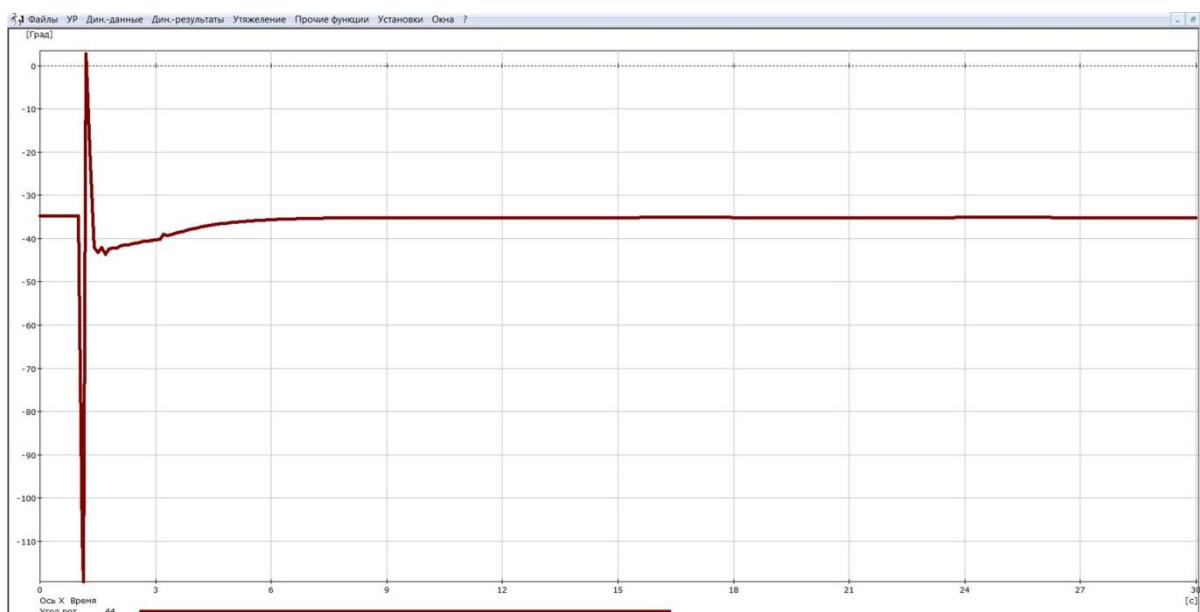


Рисунок 50 – Угол СД №44

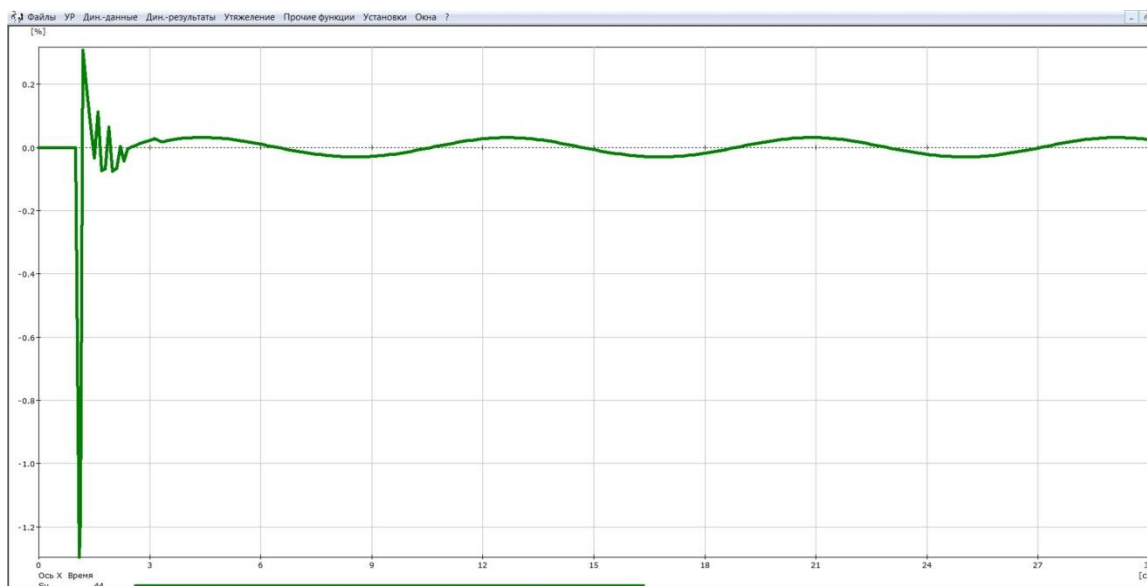


Рисунок 51 – Скольжение СД №44

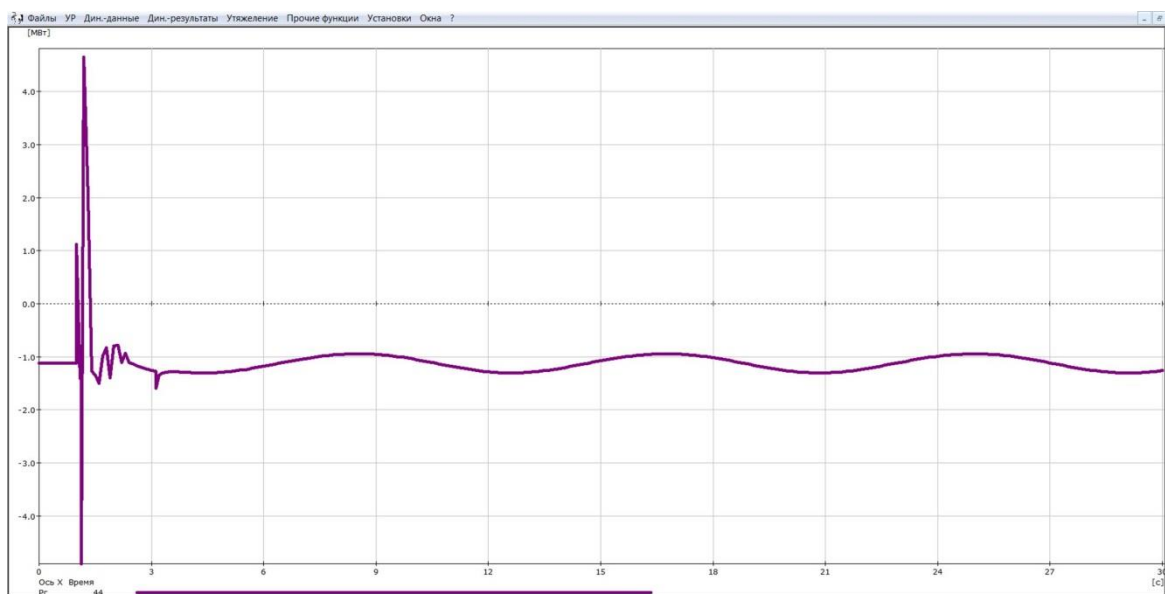


Рисунок 52 – Мощность СД №44

Результаты экспериментов показали, что СД №44 самозапускается.

В момент КЗ напряжение на зажимах двигателя уменьшается до $U_{ост}=1,1$ кВ, угол начинает увеличиваться при $t=1,1$ с. $\delta \approx -110^\circ$, скольжение увеличилось до значения 1,2%.

Условие ресинхронизации СД является прохождение скольжения через нуль, т.е. $s=0$. Судя по графику на рис. 51 в момент времени $t \approx 1,8$ с. условие выполняется, двигатель кратковременно вошел в синхронизм, кинетическая энергия стала равна нулю и асинхронная составляющая мощности исчезла. В результате возникают колебания угловой скорости

около подсинхронного значения, и в период действия положительной полуволны синхронизирующего момента ЭД достигает синхронной угловой скорости, вследствие чего происходит втягивание в синхронизм.

2) Проведение мероприятий по обеспечению самозапуска двигателей

Как уже было описано в п.4.7 для самозапуска несамозапустившихся двигателей, можно применить:

1. Повышение ЭДС двигателя путем форсировки возбуждения.
2. Осуществление поочередного самозапуска двигателей;
3. Переключение схем соединения обмоток статоров ЭД, что ведет к повышению напряжения сети. Несмотря на широкое применение данного способа в промышленности, реализация данного мероприятия в ПК невозможна;
4. Повышение момента инерции, снабжение двигателей маховиками;
5. Уменьшение рабочего угла δ , уменьшение коэффициента загрузки. В современных ПК реализация данного метода не представляется возможной.
6. Применение батарей статических конденсаторов для повышения напряжения на ЭД.

Эксперимент №1. Поочередный самозапуск СД №11 и СД №42.

Сценарий процесса представлен на рис. 53.

Пояснение	N	Логика	Фактор	Ni	Nj	Np	Уставка	T1	Kv	Zk1	Zk2
			T2	Ni	Nj	Np	Парам1	Парам2	Парам3		
	1		Время								
	1	1.000	Шунт	50				0.001			
	1	1.120	Отключить связь	50	5						
	1	1.120	Отключить связь	4	50						
	1	1.120	Отключить связь	8	42						
	1	1.120	Отключить связь	8	11						
	1	1.120	Шунт	50				-0.001			
	1	1.220	Включить связь	8	11						
	1	1.320	Включить связь	8	42						
	1	3.120	Включить связь	50	5						
	1	3.120	Включить связь	4	50						

Рисунок 53 – Сценарий поочередного самозапуска СД

В момент времени $t=1$ с. происходит трехфазное КЗ в узле 50 (середина ВЛ Парабель-Лугинецкая); на 1,12 с. происходит срабатывание защиты и ВЛ

отключается, а также отключаются двигатели №11 и №42, получающие питание от поврежденной ВЛ; после устранения КЗ срабатывает АПВ выключателя на с.ш. 6 кВ БКНС-22 в момент времени 1,22 с., и включается СД №11; через 0,1 с. включается СД №42; через 1,8 с. срабатывает АПВ на с.ш. 110 кВ ПС Парабель.

Процессы графически показаны на рис.54, рис. 55.

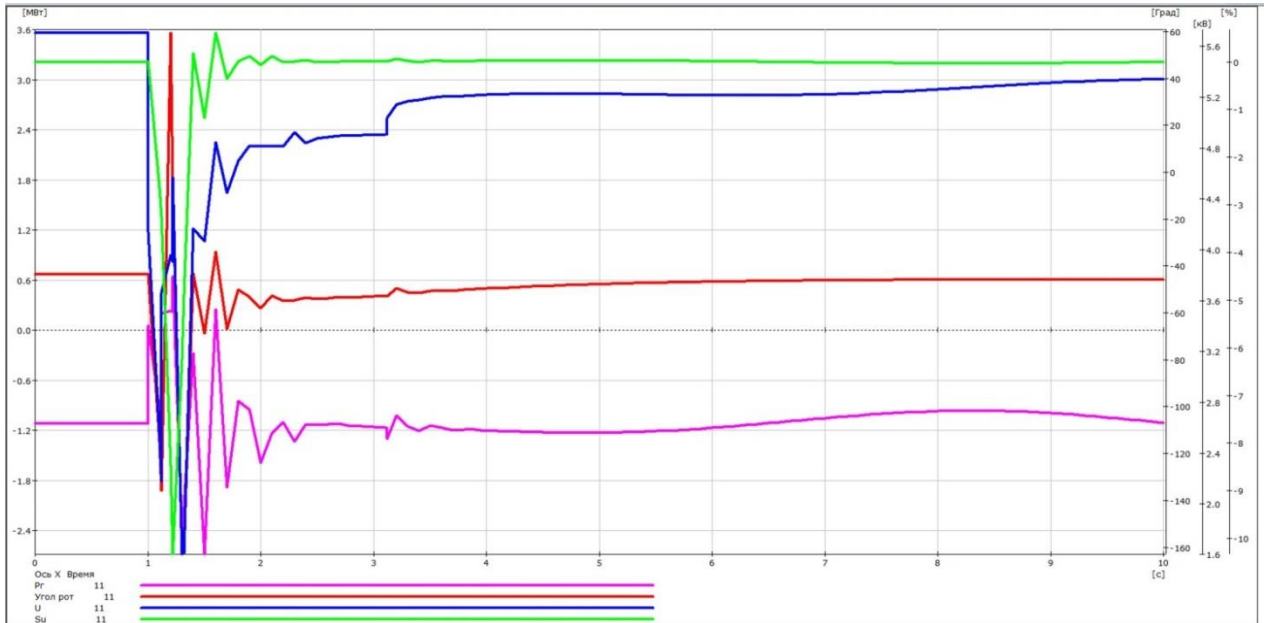


Рисунок 54 – Самозапуск СД №11

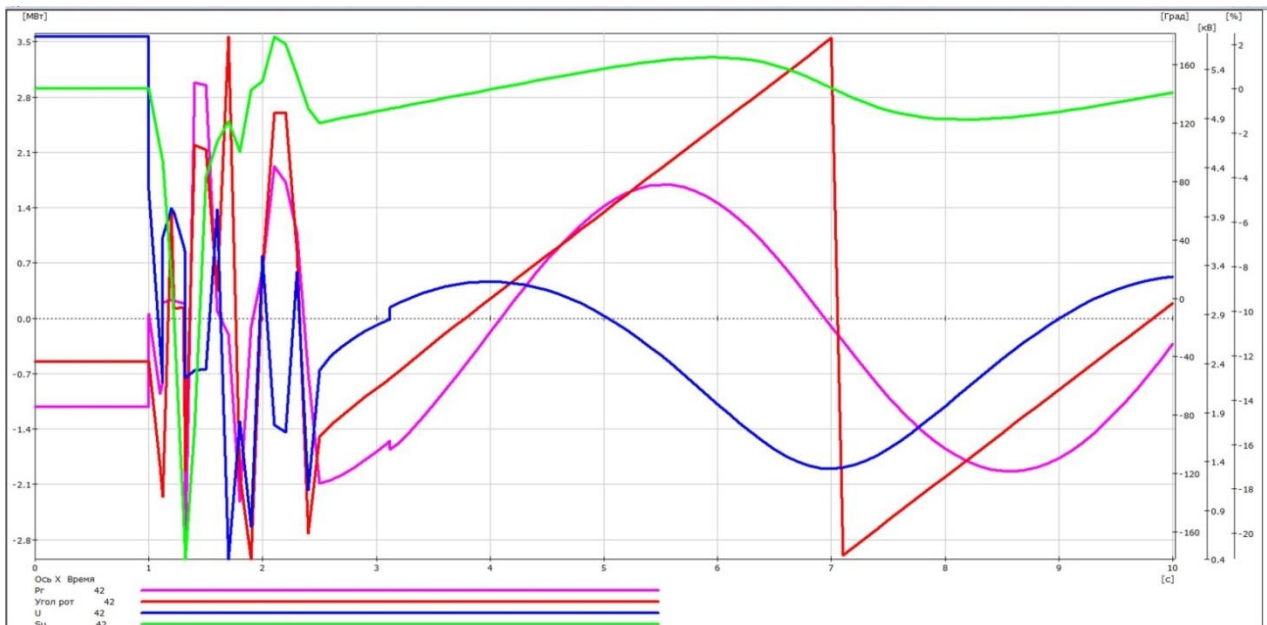


Рисунок 55 – Самозапуск СД №42

Согласно рис.54 и рис.55 самозапуск произошел у СД №11, СД №42 выпал из синхронизма.

Эксперимент №2. Работа СД №42 в недогруженном режиме до КЗ.

Сценарий автоматики такой же, как и в эксперименте №1, только СД работает при загрузке на 40%. Результаты эксперимента №2 показаны на рис. 56.

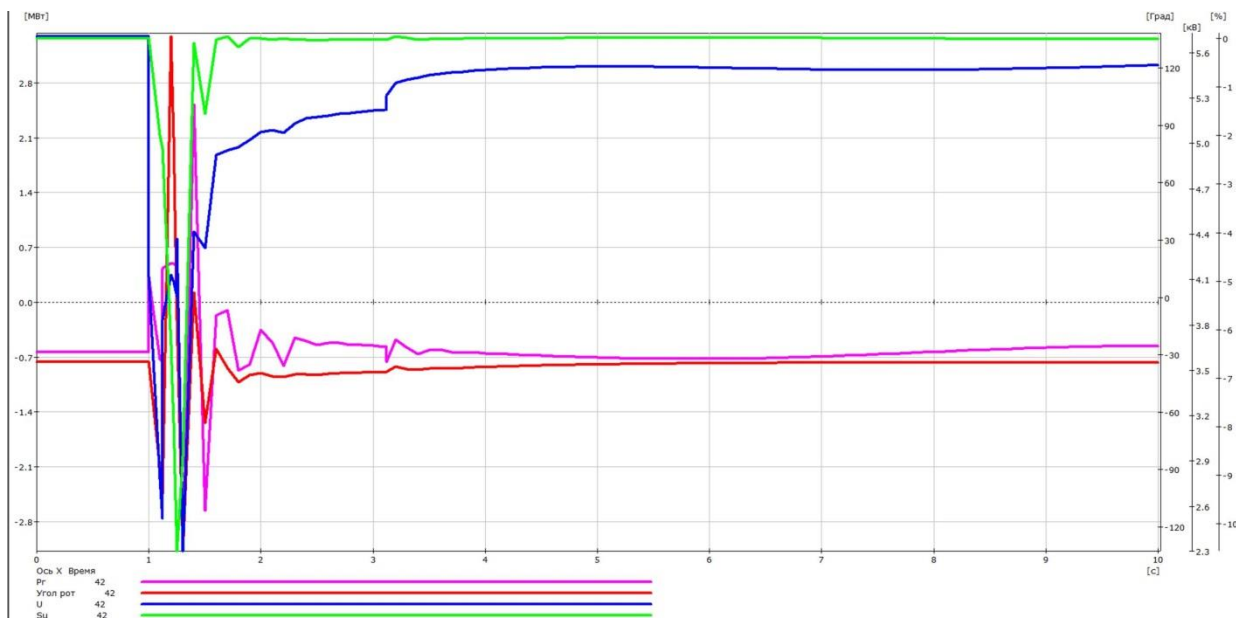


Рисунок 56 – Самозапуск СД №42

Таким образом, при поочередном самозапуске СД №11 и СД №42, причем СД №42 работает в недогруженном режиме в течение всего процесса, самозапуск двигателей проходит успешно. При загрузке СД №42 на 50 % происходит выбег ЭД.

Т.к. СД №42 загружен на 40%, технологический процесс будет проходить медленнее, поэтому данный способ группового самозапуска ЭД неэффективен.

Эксперимент №3. Повышение момента инерции СД №42, снабжение СД маховиком.

Сценарий действий сохраняется как в эксперименте №1. Для того, чтобы смоделировать маховик, необходимо увеличивать момент инерции СД на такую величину, чтобы он самозапустился.

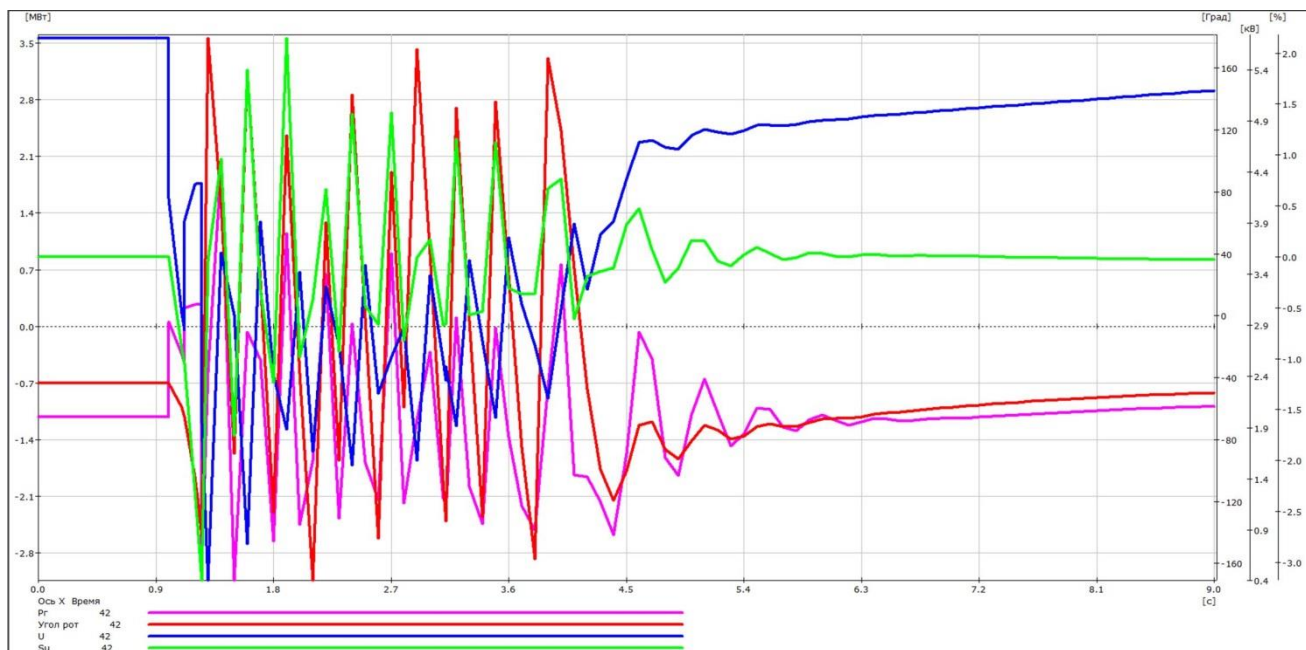


Рисунок 57 – Самозапуск СД №42 в эксперименте №3

Таким образом, при поочередном самозапуске и снабжении СД №42 маховиком с моментом инерции $2,5 \text{ т}\cdot\text{м}^2$, самозапуск двигателей проходит успешно. Но следует отметить, что использовать данное мероприятие не представляется возможным, т.к. электромагнитный момент двигателя недостаточен для раскрутки маховика из-за его больших размеров.

Эксперимент №4. Одновременный самозапуск СД №11 и СД №42 при включении БСК на ПС 110 кВ Лугинецкая.

Сценарий действия автоматики представлен на рис.58.

Mustang - [Автоматика]									
Файлы УР Дин.-данные Дин.-результаты Утяжеление Прочие функции Установки Окна ?									
Стандартные АЛАР Программируемые									
Пояснение	N	Логика	Фактор	Ni	Nj	Nп	Уставка	T1	
			Т2	Действие	Ni	Nj	Nп	Парам1	Парам2
	1			Время					
	1	1.000	Шунт	50					0.001
	1	1.120	Отключить связь	50	5				
	1	1.120	Отключить связь	4	50				
	1	1.120	Отключить связь	8	11				
	1	1.120	Отключить связь	8	42				
	1	1.120	Шунт	50					-0.001
	1	1.220	Включить связь	8	11				
	1	1.220	Включить связь	8	42				
	1	3.120	Включить связь	50	5				
	1	3.120	Включить связь	4	50				

Рисунок 58 – Сценарий автоматики

Одним из путей повышения мощности источника питания является использование батарей статических конденсаторов. В процессе расчета была

выбрана БСК марки КС2-1,05-60 единичной мощностью 36,8 Мвар и установлена на ПС Лугинецкая 110 кВ.

БСК – устройства, предназначенные для компенсации реактивной мощности. Цель использования конденсаторных батарей — снижение перетоков реактивной мощности, которое, в свою очередь, ведет к уменьшению загрузки ЛЭП, трансформаторов, позволяет регулировать напряжение внутри энергосистемы. БСК состоит из групп силовых конденсаторов, собранных в стальные несущие блоки, закрепленные на полимерных изоляторах. БСК выполняется на трех стойках с размещенными на них конденсаторами, токоограничивающими реакторами и трансформаторами тока.

Характер изменения переходного процесса, происходящего в СД, представлен на рис.59 и рис.60.

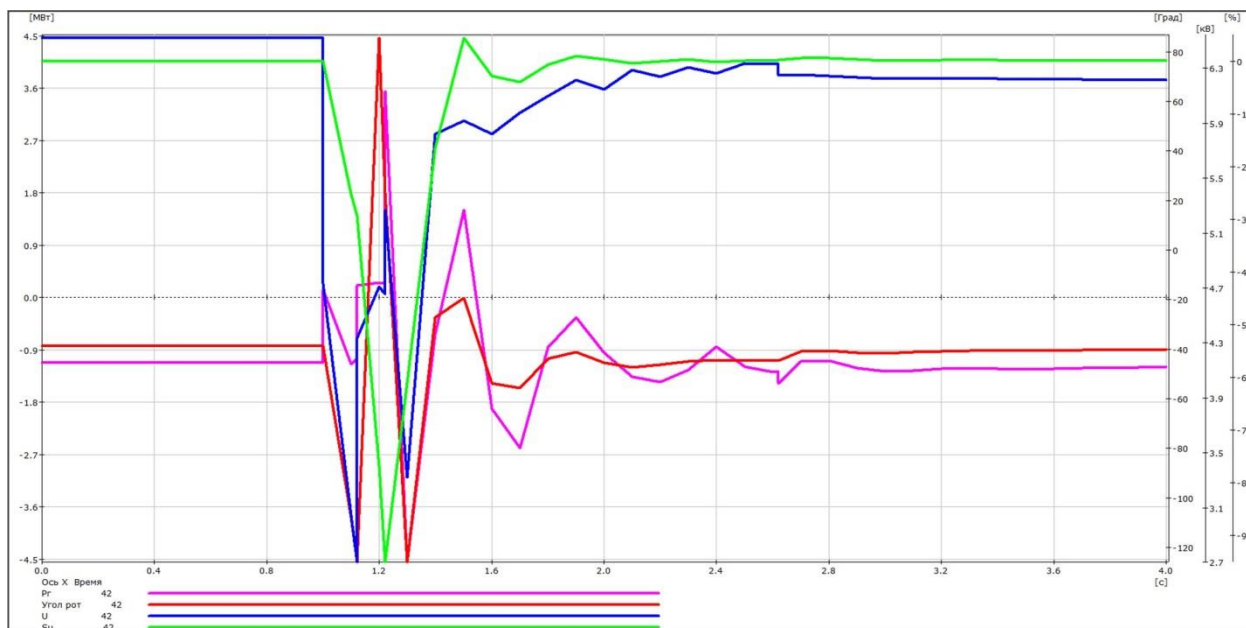


Рисунок 59 – Самозапуск СД №42

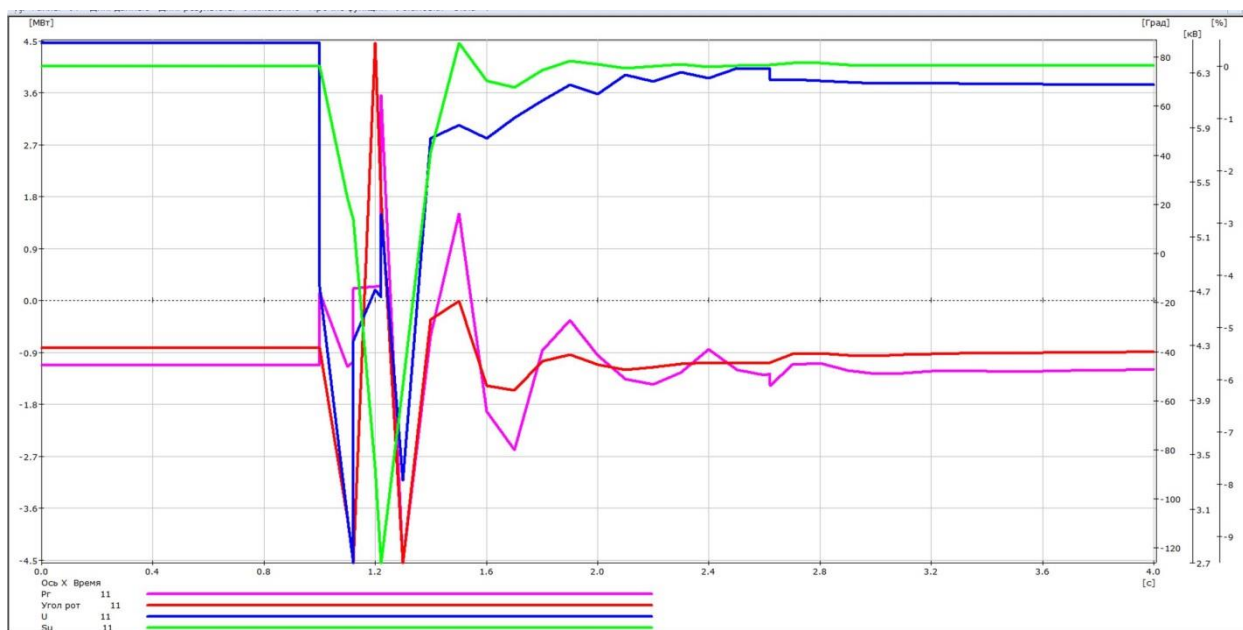


Рисунок 60 – Самозапуск СД №11

Установка БСК положительно повлияла на групповой самозапуск СД №11 и СД №42.

Аналогичные эксперименты (1-4) были проделаны с СД №43 и СД №45, которые установлены на БНС-21. Результаты показали, что после установки БСК единичной мощностью 36,8 Мвар на ПС Лугинецкая двигатели самозапустились.

Для группового самозапуска всех двигателей наиболее эффективным признано мероприятие по установке БСК на ПС 110 кВ Лугинецкая.

РАЗДЕЛ 3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Учет особенностей развития экономики на современном этапе позволяет ориентироваться в создании отдельных видов техники, в формировании технического базиса производства, в развитии производственных сил в целом. Но при осуществлении некоторых конкретных задач, связанных с практической реализацией достижений науки и техники, учета общих требований недостаточно. Для этого необходимо экономическое обоснование принимаемых технических решений.

В данном разделе будет рассматриваться экономическая оценка капитальных вложений в научно-исследовательскую работу по разработке мероприятий увеличения устойчивости двигательной нагрузки потребителей нефтегазовой отрасли Парабель-Лугинецкая Томской ЭС.

Задачами данного раздела являются оценка инновационного потенциала НТИ, планирование процесса управления НТИ, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

Разработка НТИ производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

3.1 Оценка потенциала научного исследования

Поскольку проблема эффективного и надежного функционирования ЕЭС России весьма актуальна. Необходимо не только исследовать устойчивость энергосистемы в целом, но и устойчивость двигательной нагрузки, что является важным не только для нефтяников, но и для всей энергетики в целом. С развитием компьютерных технологий решение этих задач стало намного быстрее, выросла точность расчетов.

Новизной полученных результатов является то, что полученный принцип увеличения устойчивости двигательной нагрузки не был никем получен ранее, что представляет огромный интерес и сто процентную актуальность работы.

Полученные разработки могут использоваться такие компании, как ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС» и ОАО «ФСК ЕЭС», а так же как различные энергетические компании, так и проектировочные компании.

Актуальностью работы так же является сохранение технологического процесса, а именно добывания нефти, что несет в себе огромную экономическую прибыль.

Масштаб полученных результатов: результаты могут использоваться не только для конкретного энергетического района, но и во всей энергосистеме России.

3.2 Планирование и организация научно-исследовательских работ

Планирование проекта – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов [18].

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 данном подразделе будет использован графический метод планирования научно-технического исследования, а именно график Ганта.

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.

3.2.1 Структура работ научного исследования

Для определения трудоемкости выполнения проекта составим перечень основных видов и этапов работы, которые должны быть выполнены согласно [18] представлены в табл.22.

Таблица 22 – Перечень этапов, работ, их продолжительности и распределение исполнителей

№ этапа	Наименование этапов	Наименование работ	Исполнители	Продолжительность этапов в %
1	Подготовительный этап	Разработка технического задания	Руководитель Студент	25
		Разработка технического предложения		
		Сбор исходных данных		
		Разработка эскизного проекта		
2	Разработка теоретической части темы	Исследование и анализ исследуемого энерго-района	Руководитель Студент	30
3	Экспериментальные исследования	Расчеты установившихся режимов в ПК Rastr Win	Руководитель Студент	35
		Расчет переходных процессов в ПК Rustab		
		Разработка мероприятий по увеличению устойчивости двигательной нагрузки		
4	Выводы по НТИ	Анализ полученных результатов и оформление пояснительной записки	Руководитель Студент	10
Итого				100

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и построение графика Ганта

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к.

зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения продолжительности $t_{ожі}$ используется следующая формула [21]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (23)$$

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости выполнения работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} [22]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{\mathcal{C}_i}, \quad (24)$$

где: \mathcal{C}_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.;

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

Далее длительность каждого из этапов работ переведем в календарные дни [21]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (25)$$

где: T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 119} = 1,48, \quad (26)$$

где: $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Результаты расчета трудоемкости и продолжительности каждой работы с указанием исполнителей всех этапов подготовки исследования приведены в таблице 23, названия этапов НТИ представлены в табл.22.

Таблица 23 – Определение трудоемкости работ

№ этапа	Кол-во исполнителей	Кол-во дней	Продолжительность работ			T_{pi} , раб.дн.	T_{ki} , кал.дн.
			$t_{\min i}$	$t_{\max i}$	$t_{ожi}$		
1	Руководитель Студент	29	27	31	29	15	22,2
2	Руководитель Студент	34	31	36	33	17	25,16
3	Руководитель Студент	40	38	43	40	20	29,6
4	Руководитель Студент	12	9	14	11	6	8,88

Для более удобного и наглядного представления графика проведения научных работ, представим их в форме диаграммы Ганта.

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

При построении был учтен тот факт, что учеба в семестре началась с 8 февраля.

График строится для максимального по длительности выполнения работ в рамках научно-технического проекта на основе таблицы 2 с разбивкой по месяцам.

Диаграмма Ганта представлена в табл. 24.

Таблица 24 – График Ганта

№ этапа	Исполнители	T_{ki} , кал.д н.	Продолжительность выполнения работ																																
			Февраль, 2016 г.																																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Этап №1	Рук-ль	22																																	
	Студент	22																																	
Этап №2	Рук-ль	25																																	
	Студент	25																																	
Март, 2016 г.																																			
Этап №2	Рук-ль	25																																	
	Студент	25																																	
Этап №3	Рук-ль	30																																	
	Студент	30																																	
Апрель, 2016 г.																																			
Этап №3	Рук-ль	30																																	
	Студент	30																																	
Этап №4	Рук-ль	9																																	
	Студент	9																																	

3.3 Смета затрат на осуществление проекта

Смета затрат включает в себя:

- Расчет материальных затрат;
- Расходы на оплату труда;
- Отчисления во внебюджетные фонды;
- Накладные расходы.

В материальные затраты включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.д.

Составим таблицу по материальным затратам на осуществление проекта.

Таблица 25 – Сырье и материалы

Материалы и оборудование	Ед. изм.	Срок службы, год	Кол-во материала, ед.	Цена за ед., руб.	Затраты, руб.
Компьютер	шт.	7	1	35500	35500
Принтер лазерный цветной	шт.	5	1	7800	7800
Сканер/копир	шт.	5	1	6000	6000
Бумага формата А4	лист	-	1000	0,2	200
Бумага формата А3	лист	-	10	0,35	35
Картридж ч/б	шт.	-	1	400	400
Картридж цветной	шт.	-	1	800	800
Всего:					86235
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)					2590
Итого:					53325

В стоимость материальных затрат также включают транспортно-заготовительные расходы (3 - 5 % от цены).

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада [18].

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (27)$$

где: $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [20]:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (28)$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [20]:

$$Z_{\text{внеб}} = 30\% \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (29)$$

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

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Основная заработная плата – это оплата труда за проработанное время и формируется согласно следующему выражению [20]:

$$Zn_{\text{осн}} = Zn_{\text{раб.дн.}} + \text{Допл} + \text{Прем} + p.k., \quad (30)$$

где: $Zn_{\text{раб.дн.}}$ – тарифная заработная плата с учетом количества отработанных дней, тыс.руб.; *Допл* – доплаты, тыс.руб.; *Прем* – премии, тыс.руб.; *p.k.* –

коэффициент, учитывающий районное регулирование заработной платы, тыс.руб., составляет 30% от суммы всех начислений.

Размер доплат и премий принимается согласно таблице 26.

Таблица 26 – Размер доплат и премии

Дополнительные условия оплаты труда	Величина доплат в % от сдельного заработка
надбавка за высокую квалификацию	20,0
доплата за интенсивность труда	30,0
премия за выполнение особо важных заданий	15,0

Установим для руководителя проекта оклад в размере средней заработной платы по учебным заведениям. Исходя из того, что в месяце 22 рабочих дня, заработная плата за один проработанный день определяется согласно формуле [20]:

$$Zn_{\text{дн}} = Zn_{\text{мес}} / 22 \quad (31)$$

Заработная плата с учетом количества отработанных дней, вычисляется по выражению [19]:

$$Zn_{\text{раб.дн.}} = Zn_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (32)$$

Расчет основной заработной платы для каждого руководителя приведен в таблице 27.

Таблица 27 – Основная заработная плата руководителя

Исполнители	Кол-во раб. дн.	Оклад; тыс.руб.	Доплаты и премии, тыс. руб.	Месячная зар.плата, тыс.руб/мес.	Дневная зар.плата, тыс.руб/дн.	Основная зар.плата, тыс.руб.
Руководитель	86	30,0	22,5	68,3	3,1	267
Студент	86	-	-	-	-	-
Итого						267

Приведем пример расчета основной заработной платы для руководителя проекта:

1. Определяем количество проработанных дней за весь период осуществления проекта по диаграмме Ганта.
2. Назначаем оклад в размере 30 тыс.руб.
3. Доплаты и премии берем согласно величине в процентах от сдельного заработка:

$$\text{Допл.} + \text{прем.} = 0,75 \cdot \text{Оклад} = 0,75 \cdot 30 = 22,5 \text{ тыс.руб.}$$

4. Рассчитаем месячную заработную плату для руководителя проекта:

$$Зn_{\text{мес}} = (\text{Допл.} + \text{прем.} + \text{Оклад}) \cdot k_p = (22,5 + 30) \cdot 1,3 = 68,3 \text{ тыс.руб./мес.}$$

5. Рассчитаем дневную заработную плату:

$$Зn_{\text{дн}} = Зn_{\text{мес}} / 22 = 68,3 / 22 = 3,1 \text{ тыс.руб./дн.}$$

6. Определим основную заработную плату по следующей формуле:

$$Зn_{\text{осн}} = (Зn_{\text{мес}} \cdot n) / 22 = (68,3 \cdot 86) / 22 = 266,99 \text{ тыс.руб.,}$$

где: n – количество рабочих дней.

Дополнительная заработная плата – это оплата непроработанного времени, предусмотренная законодательством, и составляет 15% от основной заработной платы, тогда полная заработная плата определяется по формуле:

$$Зn_{\text{полн}} = 1,15 \cdot \Sigma Зn_{\text{осн}} = 1,15 \cdot 267 = 307 \text{ тыс.руб.}$$

Отчисления во внебюджетные страховые фонды составляет 30 % от расходов на оплату труда и равны:

$$O_{\text{с/с}} = 0,3 \cdot Зn_{\text{полн}} = 0,3 \cdot 307 = 92,11 \text{ тыс.руб.}$$

В таблице 28 приведена смета расходов на осуществление технического проекта.

Таблица 28– Смета затрат на осуществление технического проекта

Затраты	Сумма, тыс.руб.	Структура затрат, %
Материальные расходы	53,325	54,0
Расходы на оплату труда	307	25,0
Отчисления в фонды	92,11	5,0
Накладные расходы	86,18	16,0
Итого:	539	100,0

3.4 Оценка ресурсоэффективности НТИ

Определение ресурсоэффективности НТИ оценивается с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [23]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (33)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент разработки; b_i – балльная оценка разработки, устанавливаем экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для расчета интегрального показателя необходимо принять ряд критериев:

- надежность – обеспечение сохранения динамической устойчивости генераторов при различных возмущениях;
- безопасность – применение отключения генераторов в соответствии с нормативными документами;
- простота эксплуатации – разработка доступных и эффективных мероприятий для повышения динамической устойчивости генераторов;
- экономичность – применение разработанных мероприятий по повышению устойчивости генераторов с минимальными затратами денежных средств.

Далее необходимо оценить выбранные критерии по 5-и бальной шкале и определить интегральный показатель, с помощью которого и определяется эффективность использования НТИ.

Критерии оценивания НТИ для расчета интегрального показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Критерии оценивания НТИ

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка НТИ
1. Надежность	0,35	5
3. Безопасность	0,15	4
4. Простота эксплуатации	0,25	5
5. Экономичность	0,25	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,35 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 = 4,85$$

В результате расчета можно сделать вывод о том что, по 5-бальной шкале показатель ресурсоэффективности проекта составляет высокое значение, что говорит об эффективности НТИ.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» было произведено:

1. Оценка инновационного потенциала НТИ;

2. Планирование и организация научно-исследовательских работ: был построен график Ганта: продолжительность работ составила 86 календарных дней в период с 8 февраля по 30 апреля;
3. Была составлена смета затрат, основной и дополнительной заработной платы, внебюджетных отчислений, а также накладных расходов. Основная часть бюджета ушла на основную заработную плату исполнителям. Общая стоимость НИИ составила 539 тыс. руб.;
4. Оценка ресурсоэффективности показала, что интегральный показатель ресурсоэффективности составил 4,85 единиц, что говорит о высокой эффективности проекта.

Таким образом, задачи, поставленные для осуществления цели раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», выполнены. Показано, что проведенное исследование является эффективным с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

РАЗДЕЛ 4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Согласно международному стандарту социальная ответственность это ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этичное поведение [24]. Классификация социальной ответственности зависит от сферы социальной деятельности, так например, существуют такие виды как: политическая, моральная, общественная, юридическая и т.д.

В данной работе будет рассматриваться энергетическая сфера социальной ответственности, а именно будут рассмотрены предложения по повышению энергоэффективности службы режимов Томской распределительной компании. В настоящее время вся работа службы режимов состава сводится к использованию компьютера, т.к. вся работа осуществляется только с помощью программным комплексов. Все пользователи ПК сталкиваются с вредными и опасными факторами, такими как шум, плохой уровень освещения, плохие микроклиматические параметры и многое другое. Помимо производственных факторов большое влияние оказывают психологические факторы: умственное напряжение, монотонность труда, перенапряжение зрительных органов и эмоциональные перегрузки.

Воздействие всех этих факторов приводит к снижению работоспособности, усталости, негативному отношению к работе, стрессу и в последствии к заболеваниям.

4.1 Организация рабочего места

В качестве рабочего места рассматривается место специалиста службы режимов. Помещением является рабочее помещение с площадью 50 кв. м. и высотой потолка 4 м. Схема расположения объектов данного помещения представлена на рисунке 1.

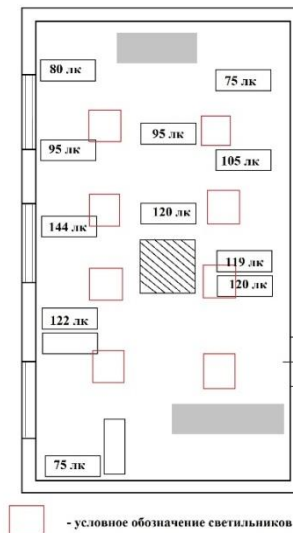


Рисунок 61 – План производственного помещения и уровень освещенности

В данном помещении расположено 11 персональных компьютеров, 10 телефонов, 13 компьютерных столов, 13 стульев (без регулирования высоты), шкаф для одежды, шкаф для бумаг, 1 электрический чайник и 1 микроволновая печь.

Одним из требований к помещению для работы с ПК является требование к освещению, которое должно соответствовать действующему нормативному документу [26]. Так же очень важна температура воздуха на рабочем месте оператора, которая должна составлять 19-20 °С. Помимо температуры, необходимо поддерживать уровень влажности в помещении, комфортным являются значения в пределах 40-60% [26].

4.2 Анализ опасных и вредных факторов

Очевидно, что полностью безопасных и безвредных предприятий не бывает. В данном разделе рассматривается задача сведения к минимуму вероятности поражения человека вредными и опасными факторами рабочей среды при выполнении работ по исследованию статической и динамической устойчивости двигательной нагрузки потребителей нефтегазовой отрасли. Под вредными или опасными факторами может подразумеваться абсолютно все, например предметы труда, климатическая среда, фауна, люди, энергия труда и т.д.

Для того, что бы эффективно работать и при этом не наносить вред своему здоровью необходимо не только знать вредные факторы при работе с ПК, но и применять эти знания на своем рабочем месте. К вредным факторам при работе с компьютером можно относиться [27]:

1. Повышенный уровень электромагнитного излучения;
2. Не соответствующий уровень освещенности над рабочей поверхностью;
3. Повышенный уровень шума;
4. Чрезмерное напряжение зрения и внимания;
5. Монотонность труда;
6. Нерациональное распределение рабочего времени.
7. Микроклимат

К опасным факторам можно отнести поражение статическим электричеством и поражение электрическим током, пожар.

Все эти и многие другие факторы могут оказать большой вред здоровью человека, поэтому очень важно, чтобы они не нарушали своих норм. Работая за компьютером, люди не осознают, на сколько их рабочее место не соответствует нормам. Далее подробно рассмотрим некоторые из них.

4.2.1 Микроклимат

Микроклиматические параметры производственной среды – это сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Работа на ПК в компьютерном относится к классу легких работ с энергозатратами 150 ккал/час. В помещениях всех типов образовательных учреждений, где расположены ПЭВМ, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата.

Согласно [25] параметры микроклимата должны соответствовать таблицам 30, 31 и 32:

Таблица 30 – Оптимальные параметры микроклимата во всех типах учебных и дошкольных помещений с использованием ПЭВМ

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт.	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia(до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый		23-25	22-26	60-40	0,1

Таблица 31 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт.	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Ниже оптимальных величин	Выше оптимальных величин			Ниже оптимальных величин, не более	Выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia(до 139)	20-21,9	24,1-25	19-26	15-75	0,1	0,1
Теплый		21-22,9	25,1-28	20-29	15-75	0,1	0,2

Таблица 32 – Допустимые величины интенсивности теплового излучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового излучения, Вт/м, не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Одним из факторов влияющим на микроклимат на предприятии являются источники тепла, к ним относится вычислительное оборудование, приборы освещения, а также солнечная радиация. Причем наибольшие суммарные тепловыделения дают ЭВМ в среднем до 80 %. От приборов освещения тепловыделения составляют в среднем 12%, от обслуживающего персонала – 1%, от солнечной радиации – 6%. Приток теплоты через непрозрачные ограждающие конструкции составляет – 1%.

Для поддержания соответствующих микроклиматических параметров в лаборатории используются системы отопления и вентиляции [30].

Система отопления обеспечивает достаточное постоянное и равномерное нагревание воздуха в помещении в холодный период года, а также

пожаро- и взрывобезопасность. Систему отопления рассчитывают на возмещение потерь теплоты через ограждающие конструкции здания, на нагрев проникающего в помещение холодного воздуха.

В компьютерном классе используется водяная система отопления. Достоинством данной системы отопления является то, что она гигиенична, надежна в эксплуатации, и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха в помещении лаборатории применяют систему естественной вентиляции, но для обеспечения наиболее комфортных условий работы в весенне-летнее время года этого недостаточно. Поэтому предлагается установка вентиляторов или системы кондиционирования.

Система кондиционирования воздуха предназначена для поддержания постоянной температуры, влажности и очистки воздуха от загрязнения вредными веществами.

Вредным веществом, содержащимся в воздухе лаборатории, является углекислый газ, CO_2 . Предельная норма содержания CO_2 в воздухе - 20 мг/м³. Проблему уменьшения содержания CO_2 в воздухе также можно решить с помощью системы кондиционирования.

4.2.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Как правило, самыми опасными источниками электромагнитного излучения являются те, с которыми мы проводим наибольшую часть времени, в нашем случае это ПК. У стандартного компьютера существует сразу два источника электромагнитного излучения это монитор и системный блок. Монитор разработан на основе электронно-лучевой трубки, которая является источником электромагнитного и даже небольшого рентгеновского излучения.

В настоящее время все реже встречаются такие мониторы, их заменили на жидкокристаллические. Считается, что они менее вредны для здоровья, из-за отсутствия электронно-лучевой трубки. Однако стоит учесть, что

ноутбуки, как правило, находятся ближе к пользователю, а значит и воздействие вредных факторов будет сильнее. Так же электронно-лучевая трубка не является единственным источником излучения, помимо нее источниками являются схемы управления, преобразователь напряжения питания и др [26].

Воздействие электромагнитного излучения приводит к заболеваниям органов зрения, болезни сердечно-сосудистой системы и кожных заболеваний.

При работе с ЭВМ предусматриваются различные требования по организации рабочих мест и эксплуатации ЭВМ [26].

Параметры электромагнитных излучений на рабочем месте пользователя ПК представлены в табл.33 согласно [26].

Таблица 33 – временно-допустимые уровни электромагнитных полей

Наименования параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот от 5 Гц-2Гц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот от 5 Гц-2Гц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

В качестве средств защиты от электромагнитных полей используют: приэкранные защитные фильтры для видеомониторов, нейтрализаторы электрических полей промышленной частоты, защитные очки со спектральными фильтрами.

4.2.3 Уровень освещенности

По нормативу [26] на производстве средняя освещенность должна быть равна 400 лк. На рисунке 62 показаны экспериментально снятые данные по освещенности, очевидно огромное несоответствие с нормативом.

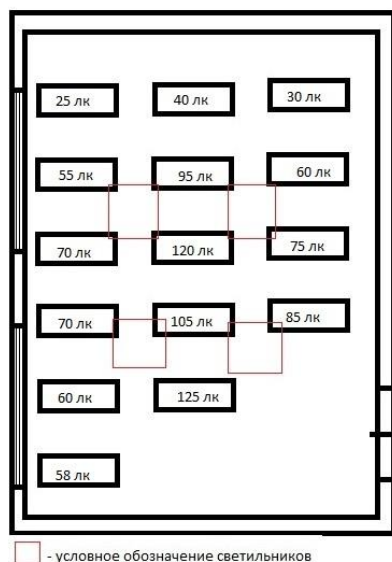


Рисунок 62 – Уровень освещенности на плане энергетического предприятия

Причиной этого служит неверный расчет количества, мощности и типа установленных светильников. Световой поток ламп падает по разным причинам, несвоевременная замена этих ламп так же может являться причиной такого низкого уровня освещенности. В данном помещении установлено 4 светильника по 4 КЛЛ марки PHILIPS мощностью 18 Вт. Необходимое количество светильников в производственном помещении площадью 25 кв. м составляет примерно 23 лампы.

Из количества ламп видно, что в данном помещении не хватает как минимум 2 светильника по 4 лампы каждый. Это серьезное несоответствие нормам, которое влечет за собой ухудшение здоровья рабочих производственного предприятия, а в следствии и ухудшении рабочего процесса.

4.2.4 Повышенный уровень шума

Еще одним вредным фактором является уровень шума, создаваемый устройствами ПК такими как клавиатура, сканер, принтер, монитор, процессор и т.д. Допустимые значения уровня шума и уровень шума различных источников представлены в таблице 34 и 35 [28].

Таблица 34 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого персональным компьютером

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

Таблица 35 – Уровни звукового давления различных источников

Источник шума	Уровень шума, дБ
Жесткий диск	40
Вентилятор	45
Монитор	17
Клавиатура	10
Принтер	45
Сканер	42

Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях – к глухоте. Шумовое воздействие на рабочем месте неблагоприятно отражается на работающих и приводит к:

1. снижению внимания;
2. увеличению расхода энергии при одинаковой физической нагрузке;
3. замедлению скорости психических реакций и т.д.

Меры, которые следует принимать для шумопоглощения при организации рабочего места:

1. применение глушителей шума;
2. использование средств индивидуальной защиты: наушники, шлемы, вкладыши;
3. использование подвесного потолка для шумопоглощения;
4. установка шумящего оборудования на подставку для охлаждения, виброизолирующие поверхности.

4.2.5 Чрезмерное напряжение зрения и внимания. Монотонность труда

При работе с ПЭВМ основное напряжение приходится на зрительные органы. Как правило, дисплеи компьютеров изготавливаются на основе

электронно-лучевой трубки, которая излучает электромагнитные волны различных диапазонов и даже небольшое рентгеновское излучение. Но даже если соблюдать все правила расположения размещения органов управления перед ПЭВМ [25], все равно остаются такие факторы как запыленность экрана или блики на нем. Эти проблемы нельзя решить, избавившись от одного вредного фактора, необходимо удалять их вместе, комплексом. И даже проведя все возможные мероприятия, зрение все равно будет становиться хуже, так как при работе за ПК оператор непроизвольно моргает меньше, чем обычно, это приводит к ускоренному ухудшению зрения.

Большое влияние на работника оказывает монотонность труда. Монотонность труда это выполнение одних и тех же операций в течение длительного промежутка времени, что приводит к переутомлению и повреждению нервной системы и, конечно же, к снижению темпов и качеству работы.

4.2.6 Нерациональное распределение рабочего времени

Для обеспечения комфортного состояния в течение рабочего дня необходимо рационально распределить отдых и работу. Во время работы очень важно выработать определенный ритм, что позволит организму экономно расходовать энергию.

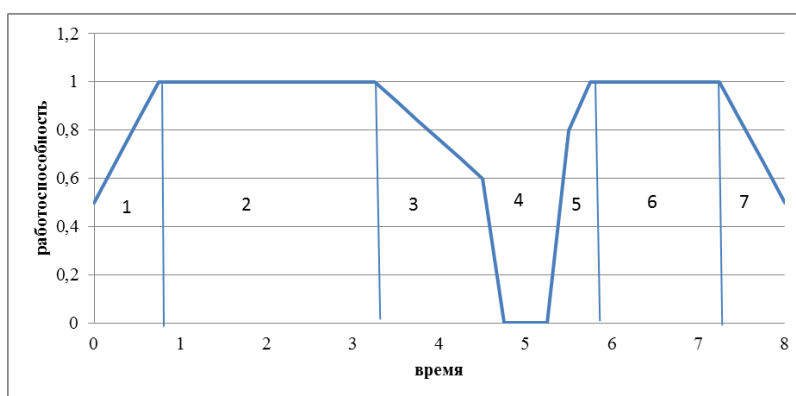


Рисунок 63 – График рациональной организации умственного труда (1 – первый период вработывания; 2 – первый период стабильной работы; 3 – первый период утомления; 4 – обеденный перерыв; 5 – второй период

вырабатывания; 6 – второй период стабильной работы; 7 – второй период утомления)

На рисунке 63 изображен ритм оптимальный ритм работы для человека. Он позволит стабилизировать рабочий день без вреда для организма. Так же для снижения вредного влияния ПК на организм пользователя рекомендуется делать перерывы в течении рабочего дня общей продолжительностью 50 мин. Во время перерывов рекомендуется выполнять упражнения для снятия физического напряжения с туловища и ног и для улучшения кровообращения.

4.2.7 Поражение статическим электричеством и электрическим током

В результате явления электризации на теле человека накапливается электрический заряд. Мы не ощущаем этот заряд, за исключением случаев, когда потенциал нашего тела принимает очень высокие значения (десятки кВ) при хорошей изоляции тела от земли. Этот заряд и называется статическим. В тех случаях, когда мы касаемся предмета, у которого другой потенциал, статика заканчивается и через наше тело начинает протекать до тех пор, пока заряды тела и предмета не выровняются. Именно это мы и ощущаем. Это не опасно для человека, но не для компонентов компьютерной техники.

Избежать поломок компьютера от статического электричества можно следующим образом:

1. Правильное выполнение заземляющего устройства. Это обеспечит безопасный отвод статического электричества от компонентов ПК.
2. Правильная влажность в помещении.
3. Заземление коврика для компьютерной мыши. Это позволит снимать статическое электричество, прежде чем вы коснетесь компьютера.
4. Антистатический коврик, на котором будет стоять стул [26].

В результате неисправного электрооборудования или проводки, а так же не соблюдения техники безопасности существует вероятность поражения электрическим током. При травме полученной электрическим током

развиваются отеки на почве повышенной проницаемости сосудов, поражается мышца сердца. При небольшой электротравме наблюдается ожог в месте соприкосновения с электрическим током, так же головная боль, тошнота и головокружение. При более сильном поражении возможна потеря сознания, нарушение сердечного ритма и снижение болевой и температурной чувствительности. При сильной электротравме нарушается дыхание и возможна его остановка, так же нарушается работа сердца, в этом случае возможен летальный исход.

Для оказания первой медицинской помощи необходимо как можно скорее прекратить контакт с источником тока (выключить рубильник, перерубить провод топором с деревянной ручкой или отбросить провод деревянной палкой). Далее уложить человека на горизонтальную поверхность, так что бы ноги были выше головы, после чего вызвать скорую помощь. При необходимости провести реанимационные мероприятия: искусственное дыхание и не прямой массаж сердца.

Профилактикой от поражения электрическим током служит соблюдение техники безопасности и своевременный ремонт и проверки электрооборудования.

Мероприятиями по уменьшению опасности поражения электрически током являются:

1. Осуществить недоступность токоведущих частей оборудования;
2. Проведение вводных, первичных и периодических инструктажей по технике безопасности;
3. Правильная организация рабочего места;
4. Защитное заземление оборудования;
5. Контроль изоляции проводов.

В отношении опасности поражения людей электрическим током помещения разделяют по категориям [32]. Исследуемое помещение это помещение с повышенной опасностью, так как существует соприкосновение человека с токоведущей пылью.

4.3 Экологическая безопасность

Человек в течение всей своей жизни находится под постоянным воздействием целого спектра факторов окружающей среды. Человек неотделим от среды, в которой он существует.

Техносфера есть результат стремления человека изменять окружающий мир, его активной и деятельной сущности. Многие поколения людей, ставя перед собой задачу «покорения» природы и создания комфортных условий жизнедеятельности, сформировали техногенную, искусственную среду, которая должна была выполнять их желания в отличие от непредсказуемой стихийности природы.

Рост производства и усиленная переработка природных ресурсов привели к проблеме техногенных загрязнений. Со становления индустриального типа производства общественной жизни началась все более явная деградация биосферы. Если аграрное общество знало местные экологические кризисы, то расширение промышленного производства ведет к усилению негативных экологических последствий. С промышленной революции начался бурный пространственный рост техносферы – и по мере увеличения городов и развития промышленности оставалось все меньше нетронутых территорий.

Нарушение гармоничных взаимоотношений с природой может иметь опасные, и даже трагические последствия для уже живущего и будущих поколений. Чтобы избежать катастрофы, необходимо осознать естественные экологические принципы и правила, которые сегодня разрабатываются экологией человека (изучающей адаптационные возможности его организма) и социальной экологией (исследующей взаимоотношения общества и окружающей среды). Всю свою предыдущую историю человек вел нескончаемую борьбу с дикой природой, адаптируя её для собственных нужд. С развитием техники покорение природы пошло быстрее. Однако темпы исчезновения биологических видов поражают. И мы до сих пор не знаем,

увидят ли наши потомки хоть что-нибудь из того прекрасного дикого мира, который еще недавно окружал нас.

4.3.1 Анализ воздействия персонального компьютера на окружающую среду

ПК плохо влияет не только на организм человека, но и на окружающую среду. При производстве компьютера используются такие материалы, которые на этапе переработки сырья оказывают пагубное влияние на экологию. Так же после окончания срока эксплуатации компьютерная техника и ее составляющие требуют специальной утилизации, что тоже плохо влияет на окружающую среду.

Очень опасным отходом являются отработанные энергосберегающие люминесцентные лампы. Ртуть относится к вредным веществам первой категории, и его неправильная утилизация сильно отравляет окружающую среду и находящихся рядом людей [29].

После утилизации отходы отправляются на переработку, металл отправляется на переплавку на предприятия черной и цветной металлургии. А те отходы, которые не подлежат переработке, отправляют на специальные полигоны для захоронения.

В настоящее время все больше возможностей для вторичного использования отработанных ресурсов, что весьма приветствуется, так как при этом сокращаются затраты на транспортировку и утилизацию отработанных материалов. Из-за высокой актуальности проблемы переработки материалов разрабатываются такие направления как создание экологически чистых отделочных материалов, приборов (в том числе и ЭВМ) и создание технологии переработки отходов для вторичного использования.

4.4 Чрезвычайные ситуации и меры по их предупреждению

В данной работе в качестве рабочего места рассматривается место специалиста производственного предприятия. На каждом предприятии проводят мероприятия по действиям при возникновении пожара или угрозы террора.

Наиболее типичной ситуацией для Томской области является возникновение пожара. Причиной пожара могут служить: неисправная проводка; неисправное электрооборудование; не соблюдение техники пожарной безопасности; искровые разряды статического электричества; не своевременный ремонт оборудования и многое другое.

По нормам пожарной безопасности [33] производственные помещения имеют категорию надежности помещений В4. Эта категория характеризуется горючими и трудногорючими жидкостями, твердыми горючими и трудногорючими веществами и материалами, также веществами и материалами, способными при взаимодействии с друг другом, водой или кислородом воздуха только гореть.

Основными мерами для предотвращения пожаров являются соблюдения всех стандартов по проектированию и строительству зданий и сооружений, своевременный ремонт и проверка электрооборудования, а также соблюдение правил пожарной безопасности. В правилах пожарной безопасности РФ ППБ 01-03 в главе IV прописаны правила для энергетических производств.

При обнаружении пожара необходимо знать основные правила:

1. В первую очередь сообщить о пожаре по телефону 01 в пожарную охрану, где необходимо назвать адрес объекта и место возникновения пожара.
2. В случае, если задымление ограничивает видимость надо лечь на пол и осмотреться, после того как вы сориентировались в помещении необходимо срочно его покинуть.
3. Принять все возможные средства по эвакуации людей в соответствии с планом эвакуации здания.
4. По возможности отключить электроэнергию и приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения, при этом не подвергая свою жизнь опасности.

На каждом этаже энергетического предприятия стоят огнетушители порошкового типа ОП-4, предназначенный для ликвидации пожаров в промышленных, жилых, складских, административных помещений. Стоит принять во внимание, что этот тип огнетушителя не предназначен для тушения загораний щелочных и щелочноземельных металлов и других материалов, горение которых может происходить без доступа воздуха.

4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.5.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Для реализации этих законов приняты Постановления Правительства РФ “О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда”, “О службе охраны труда”, “О Федеральной инспекции труда” и др. Следует выделить наиболее характерные для проектируемой рабочей зоны правовые основы и законы:

1. Правовую основу организации работ в чрезвычайных ситуациях и ликвидации их последствий составляет закон Российской Федерации “О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера”.
2. В федеральном законе “О пожарной безопасности” определяются общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в России.
3. Федеральный закон “О радиационной безопасности населения” характеризует правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения в целях охраны его здоровья.
4. Федеральный закон “О гражданской обороне” (1998) отражает задачи в области гражданской обороны и правовые основы их осуществления.

4.5.2 Организационные мероприятия при компановке рабочей зоны

Специальные нормы трудового права могут быть трех видов:

- 1) нормы-льготы, предоставляющие работникам дополнительные гарантии их права на труд, по охране труда, рабочему времени, отпускам. Такие нормы-льготы, ими компенсируется тяжесть, вредность труда ;
- 2) нормы-изъятия, как-то ограничивающие общие права (например, для государственных служащих, руководителей организаций и др.);
- 3) нормы-приспособления, которые приспособливают общие нормы к особенностям данного вида труда, например с учетом характера и ответственности работников.

Рабочее место при работе с ПК должно составлять не менее чем 6 кв. м [26]. При площади 50 кв.м получается по 4,5 кв.м на одного оператора ЭВМ, что допустимо лишь при использовании плоских дискретных экранов ПК (в данном случае так и есть). Пространство для ног должно соответствовать следующим параметрам: высота пространства для ног не менее 600 мм, расстояние сиденья до нижнего края рабочей поверхности не менее 150мм, а высота сиденья 420 мм [26]. Стоит заметить, что высота стола должна зависеть от роста оператора, однако, это не учтено в данном помещении (все столы одинаковой высоты).

Так же предусмотрены следующие требования к организации рабочего места пользователя ПЭВМ: Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию [26]. В данном случае

так же очевидно несоответствие нормам, так как в этом помещении обычные стулья, без регулировки по высоте.

В ходе работы было исследовано влияние различных вредных факторов на организм человека и окружающую среду на примере производственного помещения Томской распределительной компании. Были рассмотрены такие факторы, как: организация рабочего места; уровень излучения; уровень освещенности над рабочей поверхностью; уровень шума; чрезмерное напряжение зрения и внимания; монотонность труда; распределение рабочего времени; возникновение пожара.

В ходе решения проблемы было установлено, что организация рабочего места не соответствует нормам. Для соблюдения уровня воздействия излучения было установлено использование жидкокристаллических мониторов, которые менее вредны как для здоровья человека, так и для окружающей среды. Также предпочтительнее использовать компьютер, а не ноутбук, который более пагубно влияет на человека. По нормативу СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 было установлено что в исследуемом помещении не хватает 2 светильника по 4 лампы каждый. Одним из самых опасных факторов являются пары ртути, был предложен ряд мероприятий по утилизации паров ртути из помещения. Были предложены мероприятия по устранению чрезмерного напряжения зрения, монотонности труда. Был составлен график-план рационального распределения рабочего времени. Были составлены основные правила тушения пожара и эвакуации людей из здания.

Заключение

Основываясь на результатах, полученных в ходе выполнения выпускной квалификационной работы, можно констатировать следующее:

1. Электроприемники установок по добыче, подготовке и транспортировке нефти относятся к потребителям I и II категорий надежности. Внезапные кратковременные перерывы электроснабжения нефтепромыслов могут привести к расстройству технологического процесса, большим материальным потерям.
2. Для того, чтобы правильно смоделировать двигательную нагрузку в ПК необходимо определиться с выбором модели нагрузки. Проанализировав все возможные способы представления нагрузки при расчете переходных процессов, было установлено, что при исследовании переходных процессов двигатели следует представлять статическими характеристиками нагрузки по напряжению.
3. При исследовании самозапуска синхронных двигателей на Лугинецком нефтяном месторождении, было выявлено, что при трехфазном КЗ на ВЛ Парабель – Лугинецкая двигатели не самозапускаются, успешный самозапуск произошел только у СД №44.
4. Для обеспечения самозапуска двигателей был описан ряд мероприятий и проведены экспериментальные исследования. В результате анализа экспериментов было установлено, что для обеспечения группового самозапуска синхронных двигателей наиболее эффективна установка БСК на ПС 110 кВ Лугинецкая.
5. Сделан расчет затрат на разработку научно-технического исследования, длительность запланированных работ составила 86 календарных дней, себестоимость проекта равна 539 тыс. рублей.
6. Дан анализ вредных и опасных факторов воздействия компьютерной техники, выявлены возможные чрезвычайных ситуации, возникновения которых наиболее вероятно в зоне использования объекта исследований выпускной квалификационной работы.