

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и
систем
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Разработка мероприятий по обеспечению устойчивости работы
высоковольтных электродвигателей системы электроснабжения химического
предприятия

Студент

Н.В. Лисин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	6
1.1 Характеристика схемы внешнего электроснабжения	6
1.2 Распределение электроэнергии по территории химического предприятия	11
1.3 Потребление электроэнергии на химическом предприятии.....	22
1.4 Выводы по разделу 1.....	35
2. АНАЛИЗ НАРУШЕНИЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	36
2.1 Модели для расчётов электромеханических переходных процессов.....	53
2.2 Исследования установившихся электрических режимов и статической устойчивости.....	55
2.3 Результаты исследования влияния динамической устойчивости генерирующего оборудования электростанции на динамическую устойчивость синхронной двигательной нагрузки.....	67
2.4 Выводы по разделу 2.....	100
3 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	102
3.1 Мероприятия по предотвращению внутренних посадок напряжения	102
3.2 Мероприятия по повышению внутрисистемной надёжности системы электроснабжения химического предприятия	106
3.3 Выводы по разделу 3.....	122
Заключение	124
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	128

ВВЕДЕНИЕ

Системы электроснабжения промышленных предприятий играют огромную роль в нормальном функционировании технологического процесса любого предприятия. В зависимости от категории надежности электроснабжения промышленные предприятия могут относиться как к первой, второй так и к третьей категории. При определении категории надежности промышленного предприятия учитывается специфика технологического процесса. При этом на самом промышленном предприятии возможно присутствие производств так же относящихся к различным категориям надежности электроснабжения.

Надежность электроснабжения определяется схемным и конструктивным построением системы, резервированием входящих в нее основных составных элементов (линий, трансформаторов, электродвигателей). Для химического предприятия характерны непрерывные технологические процессы, поэтому одним из важнейших условий является бесперебойность электроснабжения.

Основные цеха крупных химических предприятий, задействованных в основном технологическом процессе, являются потребителями первой категории надежности электроснабжения, а вспомогательные цеха могут относиться к третьей категории надежности.

В процессе функционирования, в системе электроснабжения промышленных предприятий, а также во внешней энергосистеме, откуда получают питание предприятия, возможны различные аварийные ситуации. Несмотря на то, что любая система электроснабжения защищена от аварийных ситуаций средствами релейной защиты и автоматики (РЗА), последствия аварийных ситуаций и реакции на них устройств РЗА, т.е. переключения и отключения элементов системы электроснабжения вызывают в системе переходные процессы, которые могут негативно

сказаться на работе основного оборудования предприятий задействованных в основном технологическом процессе производства.

Для крупных химических предприятий характерно большое присутствие в системе электроснабжения двигательной нагрузки, в частности высоковольтных асинхронных и синхронных двигателей.

Возникающие в системах электроснабжения переходные процессы, могут повлечь за собой снижение напряжения на шинах подстанций, питающих высоковольтные электродвигатели, при этом возможно нарушение их работы и потеря устойчивости. При этом потребуются выводить двигатель из работы, останавливать технологический процесс производства продукции и вводить двигатели в работу снова после устранения последствий, вызванных аварией в системе электроснабжения. Даже кратковременный провал напряжения, может вызвать необратимый процесс потери устойчивости двигательной нагрузки при условии, что к шинам подстанции подключено несколько высоковольтных двигателей работающих под нагрузкой.

Целью работы является разработка системы поддержания устойчивости работы высоковольтных двигателей системы электроснабжения химического предприятия.

При выполнении исследования, в рамках выполнения выпускной квалификационной работы, для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Анализ системы электроснабжения химического предприятия с определением критериев оказывающих влияние на потерю устойчивости работы высоковольтных двигателей системы электроснабжения

- 2) Оценка режимов работы системы электроснабжения при внешних и внутренних возмущениях в системе электроснабжения промышленного предприятия.

3) Разработка рекомендаций, направленных на поддержание устойчивости работы высоковольтных двигателей системы электроснабжения химического предприятия.

В качестве объекта исследования выбрана система электроснабжения химического предприятия.

Предметом исследования является устойчивость работы высоковольтных электродвигателей при снижении питающего напряжения на шинах подстанции.

В технологическом процессе рассматриваемого химического предприятия участвует большое количество высоковольтных двигателей напряжением 6 кВ. Высоковольтные двигатели запитаны от шин 6 кВ ГПП предприятия. Так как химическое предприятие относится к потребителям первой категории надежности электроснабжения, то питание его осуществляется от нескольких (двух) независимых источников электроснабжения. На предприятии расположены три главных понизительных подстанции (ГПП). Питание от энергосистемы осуществляется по воздушным линиям напряжением 110 кВ.

При возникновении аварийных ситуаций в энергосистеме, на предприятии происходят провалы напряжения. Уровень провалов напряжения может превысить $0,7U_{ном}$. Длительность провалов напряжения находятся в пределах от 1,5 до 2 секунд. При возникновении провалов напряжения, на предприятии происходят сбои в работе технологического оборудования, высоковольтных электродвигателей. При этом перебой в работе могут достигать нескольких часов. Поэтому тема диссертационного исследования направленного на повышение устойчивости работы высоковольтных двигателей системы электроснабжения промышленного предприятия является актуальной.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

1.1 Характеристика схемы внешнего электроснабжения

Питание химического предприятия осуществляется по высоковольтным линиям электропередачи 110 кВ и 35 кВ.

Система электроснабжения химического предприятия представлена шестью центрами электропитания:

1. ГПП-1 110/6 кВ;
2. ГПП-2 110/6 кВ;
3. ГПП-3 110/6 кВ;
4. ГПП-4 110/6 кВ;
5. ПС «ПС 3» 110/6 и 35/6 кВ;
6. ТЭЦ – 6 кВ (непосредственно с шин РУ ТЭЦ) (резерв) – данные КЛ отключены.

Географически главные понизительные подстанции №1, 2 и 3 расположены компактно, на территории основного производства предприятия. Находясь в противоположных углах прямоугольника, они обеспечивают минимальный уровень потерь в рабочих и послеаварийных режимах при соблюдении требований надежности электроснабжения потребителей первой категории.

Подстанция ГПП-1 – является трехтрансформаторной, на ней установлены два силовых трансформатора марки ТДН-31500/110/6 и один силовой трансформатор марки ТРДН-32000/110/6. Питание осуществляется от двух подстанций энергосистемы, обе подстанции являются купными узловыми подстанциями с классами напряжения 220/110/10 кВ. Питание от этих подстанций осуществляется по трем воздушным линиям электропередачи напряжением 110 кВ.

От распределительного устройства (РУ) 6 кВ ГПП-1 в свою очередь запитаны следующие вторичные распределительные подстанции:

- ТП-93 – 2 ввода;
- ТП-7 – 2 ввода;
- ТП-51 – 2 ввода;
- ТП-39 – 2 ввода;
- ТП-36 – 4 ввода;
- ТП-26 – 2 ввода;
- ТП-34 – 2 ввода;
- ТП-35 – 2 ввода;
- ТП-60 (с/а) – 2 ввода от ТП-35;
- ТП-81 – 1 ввод, 2-й ввод от ПС-9;
- ПС-5 – 1 ввод, 2-й ввод от ГПП-3;

Отдельные трансформаторные подстанции, не имеющие собственного РУ-6 кВ запитаны следующим образом:

- ТП 27,31,37,93,49 – от РУ 6 кВ ГПП-1 – 2 ввода;
- ТП 82– от РУ 6 кВ ТП-39 – 2 ввода;
- ТП 85,37– от РУ 6 кВ ТП-36 – 2 ввода;

ТП 47– от РУ 6 кВ ТП-26 – 2 ввода

Подстанция ГПП-2 – является двухтрансформаторной, на ней установлен один силовой трансформатор марки ТДН-31500/110/6 и один силовой трансформатор марки ТДН-32000/110/6. Питание осуществляется от подстанции энергосистемы 220/110/10 кВ и расположенной поблизости с предприятием ТЭЦ. Питание осуществляется по воздушным линиям электропередачи напряжением 110 кВ.

От РУ 6 кВ ГПП-2 в свою очередь запитаны вторичные распределительные подстанции:

- ТП-18 – 1 ввод;
- ТП-30 – 3 ввода, 4-й ввод от ГПП-3;

- ТП-46 – 1 ввод, 2-й ввод от ГПП-3;
- ТП-19 – 1 ввод, 2-й ввод от ГПП-3 (резервный ввод с ТЭЦ);

Отдельные трансформаторные подстанции энергорайона, не имеющие собственного РУ-6 кВ запитаны следующим образом:

- ТП 24– от РУ 6 кВ ГПП-2 – 2 ввода;
- ТП 17,29,118,24– от РУ 6 кВ ТП-30 – 2 ввода

Подстанция ГПП-3 – является двухтрансформаторной, на ней установлено два силовых трансформатора марки ТРДН-40000/110/6. Питание осуществляется от подстанции энергосистемы напряжением 220/110/10 кВ и расположенной вблизи предприятия ТЭЦ. Запитка ГПП-3 выполнена посредством кабельной линии от ГПП-2, при этом на ГПП-3 установлены порталы в габаритах 110 кВ и присутствует возможность подключения к воздушной ЛЭП.

От РУ 6 кВ ГПП-3 в свою очередь запитаны вторичные распределительные подстанции:

- ТП-44 – 2 ввода;
- ТП-21 – 3 ввода, 4-й ввод от ТП-18;
- ПС-2 – 2 ввода от ТП-21;
- ТП-54 – 2 ввода;
- ТП-9 – 2 ввода (+ 2 ввода с ТЭЦ);
- ТП-16 – 1 ввод, 2-й ввод от ТП-9, 3-й ввод от ТЭЦ;
- ТП-11 – 1 резервный ввод, основные 2 ввода с ТП-16;
- ТП-15 – 2 ввода от ТП-16;

Отдельные трансформаторные подстанции, не имеющие собственного РУ-6 кВ запитаны следующим образом:

- ТП 45– от РУ 6 кВ ТП-44 – 2 ввода;
- ТП 23– от РУ 6 кВ ТП-21 – 2 ввода;
- ТП 22– от РУ 6 кВ ПС-2 – 2 ввода;

- ТП 11– от РУ 6 кВ ТП-16 – 2 ввода;
- ТП 10– от РУ 6 кВ ТП-11 – 2 ввода;
- ТП 63– от РУ 6 кВ ТП-15 – 2 ввода

Подстанция ГПП-4 – является двухтрансформаторной, на ней установлено два силовых трансформатора марки ТРДН-40000/110/6. Данная подстанция расположена обособленно от ГПП1, 2 и 3, на территории очистных сооружений предприятия, восточнее основного производства. Кабельной линией напряжением 6 кВ осуществляется резервирование с третьей секцией шин 6 кВ ГПП-2. Питание осуществляется от подстанции энергосистемы 220/110/10 кВ и расположенной вблизи предприятия ТЭЦ.

От РУ 6 кВ ГПП-4 в свою очередь запитаны вторичные распределительные подстанции:

- ТП-3 – 2 ввода;
- ТП-41 – 2 ввода;

Отдельные трансформаторные подстанции, не имеющие собственного РУ-6 кВ запитаны следующим образом:

- ТП 52,40– от РУ 6 кВ ГПП-4 – 2 ввода;
- ТП 58– от РУ 6 кВ ТП-3 – 2 ввода;
- ТП 38,41– от РУ 6 кВ ТП-41 – 2 ввода

Подстанция «ПС-3» расположена не на территории предприятия, а черте жилых районов города. На ней установлено два силовых трансформатора марки ТДНС-10000 35/6 кВ и один силовой трансформатор марки ТДН-10000/110/6 кВ. Питание осуществляется воздушными ЛЭП соответствующего уровня напряжения.

Ряд подстанций химического предприятия получают питание по вводам 6 кВ, запитанным непосредственно от распределительного устройства напряжением 6 кВ ТЭЦ:

- ТП-19 – 1-й ввод от ГПП-2, 2-й ввод от ГПП-3 (резервный ввод с ТЭЦ);

Внутризаводское распределение электрической энергии выполнено по радиальной схеме кабельными линиями напряжением 6кВ.

Радиальные схемы распределения выполнены одно-, двух- и трехступенчатыми.

Одноступенчатые схемы связывают пункты питания (ГПП) с цеховыми трансформаторными подстанциями 6/0,4кВ и/или мощными высоковольтными электродвигателями напряжением 6 кВ.

По одноступенчатой схеме распределения выполнено электроснабжение:

- от ГПП -1 до ТП 27,31,93,49
- от ГПП -4 до ТП 40,52,ТП «ЧП»
- от п/ст «ПС 3» до ТП «ДК» и всех электродвигателей 6кВ в этой распределительной сети.

Двух и трехступенчатые схемы связывают пункты питания с цеховыми трансформаторами и электродвигателями через промежуточные распределительные пункты (РП) 6кВ.

По двухступенчатой схеме распределения выполнено электроснабжение:

- от ГПП -1 до ПС 34,7,36,26,81,51
- от ГПП-2 до ПС 19
- от ГПП-3 до ПС 19,5,9,54,11,44
- от ГПП-4 до ПС 41,53,3 с кольцевой магистралью на ТП101-ТП104

По смешанной двух-трехступенчатой схеме распределения выполнено электроснабжение:

- от ГПП – 1 до ПС35 - ПС39, ПС18 - ПС 2, ПС5 – ПС54, ПС 16 – ПС15
- от ГПП -2 до ПС 30 с обходной системой шин – ПС 46
- от ГПП – 3 до ПС 30 – ПС46, ПС19 – ПС5, ПС16 – ПС15

Во всех случаях секции ГПП и РП (ПС) в нормальном режиме работают раздельно. Для повышения надежности радиальное питание двухтрансформаторных подстанций 6/0,4кВ осуществляется от разных

секций РП- 6кВ, либо от разных РП. Для дополнительного резервирования особо ответственных потребителей дополнительно используются специально проложенные кабельные связи - перемычки.

На всех подстанциях предприятия применяется автоматическое включение резерва (АВР).

На ряде подстанций (ТП-7,9,16,18,19,26,30,36,44,46,51) внедрены быстродействующие устройства автоматического включения резерва (БАВР). Устройства БАВР выполнены на элементной базе микропроцессорных реле РЕВ-542 и СОЕ-3000 компании АВВ с применением быстродействующих вакуумных выключателей VM1T.

Анализ схемных решений по электроснабжению потребителей химического предприятия позволяет сделать вывод о соответствии ее степени надежности требованиям ПУЭ.

1.2 Распределение электроэнергии по территории химического предприятия

Распределение электрической энергии по территории химического предприятия производится по кабельным линиям. Напряжение кабельной распределительной сети химического предприятия 6 кВ. Это связано с большим числом высоковольтных электродвигателей, участвующих в технологическом процессе химического предприятия. Перечень кабельных линий представлен в таблице 1. В таблице 1 представлены наименования питающих линий, типа кабеля которым выполнена линия и длина линии. Данные представленные в таблице 1 необходимы для разработки компьютерной модели схемы системы электроснабжения химического предприятия. Разработка достоверной модели системы электроснабжения промышленного предприятия необходима для оценки возмущений, оказывающих влияние на устойчивость высоковольтной двигательной нагрузки.

Таблица 1 – Кабельные линии 6кВ

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
ГПП-1						
ГПП-1	Т-5-27	Т-5	ГПП-1	1	АСБ (3х95)	0,3
ГПП-1	Т-1-31	Т-1	ГПП-1	7	АСБ (3х95)	0,5
ГПП-1	Т-2-31	Т-2	ГПП-1	15	АСБ (3х95)	0,5
ГПП-1	Т-1-49	Т-1	ГПП-1	31	АСБ (3х95)	2
ГПП-1	В-1-9	-	ГПП-1	18	АСБ (3х95)	1,5
ГПП-1	Т-6-27	Т-6	ГПП-1	19	АСБ (3х95)	0,3
ГПП-1	В-3-9	-	ГПП-1	20	АСБ (3х95)	1,5
ГПП-1	Т-2-49	Т-2	ГПП-1	49	АСБ (3х95)	2
2	В-2-2	7	21	27	ААШВ (3×185)	0,2
2	СД-3-625	ЭД	2	5	АСБ (3х95)	0,1
2	Т-1-22	Т-1	2	9	АСБ (3х95)	0,5
2	СД-4-625	ЭД	2	11	АСБ (3х95)	0,1
3	Т-2-3	Т-2	3	12	АСБ (3х95)	0,06
5	В-1-5	26	ГПП-1	53	ААШ 3(3×240)	0,55
5	Т-1-69	Т-1	5	56	АСБ (3х95)	0,9
5	13-400	ЭД	5	55	АСБ (3х95)	0,06
5	СД-2-1500	ЭД	5	51	АСБ (3х120)	0,12
5	СД-6-1500	ЭД	5	50	АСБ (3х120)	0,12
5	Т-1-13	Т-1	5	49	АСБ (3х95)	0,5
5	Т-1-5	Т-1	5	25	АСБ (3х95)	0,06
5	14-320	ЭД	5	24	АСБ (3х95)	0,06
5	15-320	ЭД	5	23	АСБ (3х95)	0,06
5	12-320	ЭД	5	22	АСБ (3х95)	0,06
5	22-400	ЭД	5	21	АСБ (3х95)	0,06
5	18-320	ЭД	5	19	АСБ (3х95)	0,06
5	Т-2-6	Т-2	5	17	АСБ (3х95)	0,25
7	В-1-7	6	ГПП-1	2	СБ2 (3×150)+АСБ (3×150)	0,5
7	В-2-7	3	ГПП-1	56	АСБ 3(3×150)	0,5
7	24-250	ЭД	7	22	АСБ (3х95)	0,13
7	Т-5-7	Т-5	7	16	АСБ (3х95)	0,06
7	Т-3-7	Т-3	7	14	АСБ (3х95)	0,06
7	Т-1-7	Т-1	7	12	АСБ (3х95)	0,06
7	Т-2-7	Т-2	7	15	АСБ (3х95)	0,06
7	Т-4-7	Т-4	7	17	АСБ (3х95)	0,06
7	Т-6-7	Т-8	7	19	АСБ (3х95)	0,06
18	В-2-18	7	ГПП-1	5	АСБГ 3(3×240)	15,2
18	СД-38	ЭД	18	13	АСБ (3х95)	0,14
18	СД-36	ЭД	18	15	АСБ (3х95)	0,14
18	СД-35	ЭД	18	17	АСБ (3х95)	0,14
18	Т-1-20	Т-1	18	21	АСБ (3х95)	0,28
18	Т-2-25	Т-2	18	25	АСБ (3х95)	0,31
18	Т-4-19	Т-4	18	27	АСБ (3х95)	0,9
21	В-3-21	24	18	23	АСБГ3 (3×185)	0,49

Продолжение таблицы 1

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
21	Т-8-21	Т-8	21	28	АСБ (3х95)	0,06
21	Т-4-21	Т-4	21	25	АСБ (3х95)	0,06
21	Т-2-23	Т-2	21	23	АСБ (3х95)	0,3
21	Т-4-23	Т-4	21	22	АСБ (3х95)	0,3
26	В-1-26	4	ГПП-1	6	АСБ 4(3×185)	0,17
26	В-2-26	21	ГПП-1	60	АСБ 4(3×185)	0,17
26	Т-2-56	Т-2	26	2	АСБ (3х150)	0,5
26	Т-1-56	Т-1	26	3	АСБ (3х150)	0,5
26	Т-1-26	Т-1	26	6	АСБ (3х95)	0,06
26	Т-3-26	Т-3	26	7	АСБ (3х95)	0,06
26	Т-3-47	Т-3	26	8	АСБ (3х95)	0,6
26	Т-5-47	Т-5	26	9	АСБ (3х95)	0,6
26	Т-1-47	Т-1	26	10	АСБ (3х95)	0,6
26	Т-1-57	Т-1	26	13	АСБ (3х150)	0,65
26	Т-2-57	Т-2	26	14	АСБ (3х150)	0,65
26	Т-2-47	Т-2	26	15	АСБ (3х95)	0,6
26	Т-4-47	Т-4	26	16	АСБ (3х95)	0,6
26	Т-6-47	Т-6	26	17	АСБ (3х95)	0,6
26	Т-4-26	Т-4	26	18	АСБ (3х95)	0,06
26	Т-2-26	Т-2	26	19	АСБ (3х95)	0,06
34	В-1-34	8	ГПП-1	11	АСБ 4(3×185)	0,7
34	В-2-34	27	ГПП-1	16	АСБГ 2(3×185)	0,7
34	Т-1-32	Т-1	34	3	АСБ (3х95)	0,2
34	Т-3-32	Т-3	34	4	АСБ (3х95)	0,2
34	Т-3-57	Т-3	34	19	АСБГу (3х95)	0,6
34	Т-4-57	Т-4	34	23	АСБГу (3х150)	0,65
34	Т-2-32	Т-2	34	30	АСБ (3х95)	0,2
34	Т-4-32	Т-4	34	31	АСБ (3х95)	0,2
34	ТП-5 КРС	Т	34	33	АСБ (3х95)	0,9
35	В-1-35	7	ГПП-1	35	АСБ 4(3×240)	0,35
35	В-2-35	22	ГПП-1	32	АСБ 4(3×240)	0,35
35	Т-1-59	Т-1	35	3	АСБ (3х95)	0,6
35	Т-1-27	Т-1	35	4	АСБ (3х95)	0,45
35	4-1000	ЭД	35	5	АСБ (3х95)	0,09
35	3-1000	ЭД	35	6	АСБ (3х95)	0,09
35	Т-3-27	Т-3	35	9	АСБ (3х95)	0,45
35	12-250	ЭД	35	10	АСБ (3х95)	0,15
35	13-250	ЭД	35	11	АСБ (3х95)	0,15
35	Т-4-27	Т-4	35	15	АСБ (3х95)	0,45
35	14-250	ЭД	35	17	АСБ (3х95)	0,15
35	11-250	ЭД	35	18	АСБ (3х95)	0,15
35	2-315	ЭД	35	23	АСБ (3х95)	0,15
35	1-1000	ЭД	35	24	АСБ (3х95)	0,09
35	Т-2-27	Т-2	35	25	АСБ (3х95)	0,45
35	Т-2-59	Т-2	35	26	АСБ (3х95)	0,6

Продолжение таблицы 1

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
36	В-1-36	5	ГПП-1	51	АСБ 4(3×240)	0,35
36	В-2-36	16	ГПП-1	38	АСБ 3(3×185)	0,35
36	В-3-36	27	ГПП-1	4	АСБГ 3(3×185)	0,35
36	В-4-36	36	ГПП-1	59	АСБГ 3(3×185)	0,35
36	Т-2-37	Т-2	36	2	АСБ (3х95)	0,5
36	9-2000	ЭД	36	3	АСБ (3х95)	0,09
36	8-2000	ЭД	36	6	АСБ (3х95)	0,09
36	Т-2-36	Т-2	36	8	АСБ (3х95)	0,06
36	Т-1-36	Т-1	36	13	АСБ (3х95)	0,06
36	7-2000	ЭД	36	14	АСБ (3х95)	0,09
36	6-2000	ЭД	36	17	АСБ (3х95)	0,09
36	Т-1-37	Т-1	36	22	АСБ (3х95)	0,5
36	Т-1-65	Т-1	36	24	АСБ (3х95)	0,5
36	СД-1	ЭД	36	25	АСБ (3х95)	0,09
36	СД-2	ЭД	36	28	АСБ (3х95)	0,09
36	СД-3	ЭД	36	34	АСБ (3х95)	0,09
36	СД-4	ЭД	36	37	АСБ (3х95)	0,09
36	10-2000	ЭД	36	39	АСБ (3х95)	0,09
36	Т-2-65	Т-2	36	40	АСБ (3х95)	0,5
39	В-1-39	6	ГПП-1	42	АСБГ 3(3×185)	0,48
39	В-2-39	17	ГПП-1	29	АСБГ 3(3×185)	0,48
39	АД-5	ЭД	39	25	АСБ (3х95)	0,25
39	Т-1-82	Т-1	39	1	АСБ (3х95)	0,6
39	Т-1-39	Т-1	39	7	АСБ (3х95)	0,06
39	АД-4	ЭД	39	14	АСБ (3х95)	0,25
39	АД-6	ЭД	39	15	АСБ (3х95)	0,25
39	Т-2-39	Т-2	39	16	АСБ (3х95)	0,06
39	Т-2-82	Т-2	39	21	АСБ (3х95)	0,6
51	В-1-51	5	ГПП-1	41	АСБ 3(3×185)	0,9
51	В-4-51	40	ГПП-1	43	АСБГ 3(3×185)	0,9
51	ТП-3	-	51	2	АСБ (3х70)	0,6
51	ТП-1	-	51	2	АСБ (3х70)	0,4
51	42-2	ЭД	51	3	АСБ (3х95)	0,18
51	ЭТЦ №20	ИСП.СТ ЕНД	51	6	АСБГ (3х95)	0,6
51	СД-21-300	ЭД	51	7	АСБ (3х95)	0,11
51	Т-1-51	Т-1	51	8	АСБ (3х95)	0,06
51	Т-1-1	Т-1	51	9	АСБ (3х95)	0,3
51	СД-11-300	ЭД	51	10	АСБ (3х95)	0,11
51	27-2	ЭД	51	11	АСБ (3х95)	0,12
51	СД-9-300	ЭД	51	12	АСБ (3х95)	0,11
51	Т-4-51	Т-4	51	35	АСБ (3х95)	0,06
51	Т-3-1	Т-3	51	36	АСБ (3х95)	0,3

Продолжение таблицы 1

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
51	СД-7-300	ЭД	51	37	АСБ (3х95)	0,11
51	27-6	ЭД	51	38	АСБ (3х95)	0,12
51	22-300	ЭД	51	41	АСБ (3х95)	0,11
51	27-1	ЭД	51	43	АСБ (3х95)	0,12
60	В-1-60	1	35	2	СБ (3×120)	1,18
60	В-2-60	4	35	16	СБ (3×120)	1,18
81	В-2-81	10	ГПП-1	58	ААШ 3(3×240)	0,8
81	Т-2-42	Т-2	81	4	АСБ (3х95)	0,4
81	Т-2-81	Т-2	81	14	АСБ (3х95)	0,06
81	Т-4-81	Т-4	81	18	АСБ (3х95)	0,06
81	Т-1-43	Т-1	81	22	АСБ (3х95)	1,25
81	Т-2-21а	Т-2	81	24	АСБ (3х95)	0,35
81	Т-6-81	Т-6	81	26	АСБ (3х95)	0,06
93	В-1-93	1	ГПП-1	36	АСБ (3х95)	0,3
93	В-2-93	10	ГПП-1	23	АСБ (3х95)	0,3
ГПП-2						
ГПП-2	В-317-4	-	ГПП-2	11	СБ (3х95)	2
ГПП-2	Т-1-24	Т-1	ГПП-2	22	АСБ (3х95)	1,8
3	В-1-3	15	ГПП-2	12	АСБ 3(3×240)	19
3	Т-1-58	Т-1	3	31	АСБ (3х95)	1
3	СД-8	ЭД	3	19	АСБ (3х150)	0,1
3	Т-1-3	Т-1	3	11	АСБ (3х95)	0,06
3	АД-1	ЭД	3	9	АСБ (3×95)	0,5
3	СД-2	ЭД	3	7	АСБ (3х150)	0,1
3	СД-3	ЭД	3	5	АСБ (3х150)	0,1
18	В-1-18	30	ГПП-2	41	АСБГ 3(3×240)	12
19	В-2-19	23	ГПП-2	20	АСБГ 3(3×240)	0,9
30	В-2-30	13	ГПП-2	2	ААШ 4(3×150)	0,67
30	В-3-30	31	ГПП-2	15	ААШ 3(3×185)	0,67
30	301-2	ЭД	30	14	СБ (3х150)	0,25
30	301-4	ЭД	30	15	СБ (3х150)	0,25
30	АД-15-3	ЭД	30	16	СБ (3х95)	0,3
30	СД-148-2	ЭД	30	17	АСБ (3х95)	0,4
30	Т-2-118	Т-2	30	18	АСБ (3х95)	0,6
30	Т-2-29	Т-2	30	19	АСБ (3х95)	0,4
30	АД-7-5	ЭД	30	21	АСБ (3х95)	0,43
30	Т-2-24	Т-2	30	22	АСБ (3х95)	1
30	403-2	ЭД	30	49	СБ (3х185)	0,27
30	Т-1-33	Т-1	30	48	АСБ (3х95)	0,1
30	Т-3-29	Т-3	30	23	АСБ (3х95)	0,35
30	СД-15-2	ЭД	30	24	СБ (3х95)	0,3
30	403-3	ЭД	30	27	СБ (3х185)	0,27
30	АД-70-3	ЭД	30	29	ВБШВ (3×50)	0,33
30	Т-1-30	Т-1	30	30	АСБ (3х95)	0,06
46	В-2-46	14	ГПП-2	14	ААШ 2(3×185)+(3×120)	0,4

Продолжение таблицы 1

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
46	В-300-1	46	ГПП-2	37	ААШВ 2(3×185)	0,3
46	В-300-2	50	ГПП-2	13	ААШВ 2(3×185)	0,3
46	В-300-3	54	ГПП-2	1	ААШВ 2(3×185)	0,3
46	В-317-1	34	ГПП-2	27	ААШВ 2(3×120)	0,72
46	В-317-2	38	ГПП-2	7	ААШВ 2(3×120)	0,72
46	В-317-3	42	ГПП-2	39	ААШВ 2(3×120)	0,72
46	Т-2-28	Т-2	46	13	АСБ (3х95)	0,15
46	Т-2-109	Т-2	46	15	АСБ (3х95)	0,4
46	Т-2-48	Т-2	46	17	АСБ (3х95)	0,35
46	Т-2-46	Т-2	46	18	АСБ (3х95)	0,06
46	АД-107-2	ЭД	46	19	АСБ (3х185)	0,13
46	АД-703-2	ЭД	46	21	АСБ (3х95)	0,33
46	3300 ТК-300-1	ЭД	46	45	2хСБ (3х150)	0,1
46	4300 ТК-300-2	ЭД	46	49	2хСБ (3х150)	0,1
46	4300 ТК-300-3	ЭД	46	53	2хСБ (3х150)	0,1
46	2900 ТК-317-1	ЭД	46	33	2хСБ (3х95)	0,15
46	2900 ТК-317-2	ЭД	46	37	2хСБ (3х95)	0,15
46	2400 ТК-317-3	ЭД	46	41	2хСБ (3х95)	0,15
46	2400 ТК-317-4	ЭД	46	56	2хСБ (3х95)	0,15
2	В-1-2	8	21	5	ААШВ (3×185)	0,2
2	Т-2-22	Т-2	2	10	АСБ (3х95)	0,5
2	СД-2-625	ЭД	2	6	АСБ (3х95)	0,1
ГПП-3						
ГПП-3	В-403-1	52	ГПП-3	31	АСБГ 2(3×185)	1,5
2	СД-1-625	ЭД	2	4	АСБ (3х95)	0,1
5	В-2-5	9	ГПП-3	6	СБ2 (3×120)+АСБ (3×150)	14
5	СД-4-1500	ЭД	5	13	АСБ (3х120)	0,12
5	СД-5-1500	ЭД	5	7	АСБ (3х120)	0,12
5	23-320	ЭД	5	6	АСБ (3х95)	0,06
9	В-2-9	7	ГПП-3	28	ААБ 3(3×240)	2,5
9	В-4-9	41	ГПП-3	40	ААШ 4(3×150)	3
9	Т-1-76	Т-1	9	3	АСБ (3х95)	0,95
9	Т-1-8	Т-1	9	5	АСБ 3(3×95)	0,65
9	АД-22-250	ЭД	9	6	АСБ (3х95)	0,17
9	АД-11-250	ЭД	9	12	АСБ (3х95)	0,17
9	АД-13-250	ЭД	9	10	АСБ (3х95)	0,17
9	АД-14-250	ЭД	9	11	АСБ (3х95)	0,17

Продолжение таблицы 1

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
9	Т-2-76	Т-2	9	43	АСБ (3х95)	0,95
9	АД-19-250	ЭД	9	44	АСБ (3х95)	0,17
9	Т-1-14	Т-1	9	46	АСБ 3(3х95)	1,1
9	АД-16-250	ЭД	9	49	АСБ (3х95)	0,17
9	20-1-250	ЭД	9	50	АСБ (3х95)	0,38
9	АД-3-630	ЭД	9	51	АСБ (3х95)	0,07
9	Т-2-12	Т-2	9	52	АСБ 3(3х95)	0,3
9	Т-1-9	Т-1	9	53	АСБ 3(3х95)	0,06
9	АД-20-250	ЭД	9	54	АСБ (3х95)	0,17
11	В-1-11	1	ГПП-3	13	АСБ 3(3х95)	0,5
11	В-2-11	12	16	22	АСБ 3(3х95)	0,3
11	В-3-11	6	16	8	АСБ 3(3х95)	0,3
11	Т-1-11	Т-1	11	11	АСБ 3(3х95)	0,06
11	Т-1-10	Т-1	11	16	АСБ 3(3х95)	0,36
15	В-1-15	3	16	16	ААШ 2(3х185)	0,47
15	В-2-15	10	16	7	ААШ 2(3х185)	0,47
15	Т-1-15	Т-1	15	4	АСБ (3х95)	0,06
15	Т-1-63	Т-1	15	6	АСБ (3х95)	0,15
15	Т-2-15	Т-2	15	9	АСБ (3х95)	0,06
15	Т-2-63	Т-2	15	12	АСБ (3х95)	0,15
16	В-1-16	5	ГПП-3	42	АСБ 3(3х185)	1,3
16	В-3-16	17	9	45	СБ 4(3х120)	0,36
16	Т-1-16	Т-1	16	4	АСБ (3х95)	0,06
16	Т-2-11	Т-2	16	15	АСБ (3х95)	0,5
16	Т-2-16	Т-2	16	26	АСБ (3х95)	0,06
19	В-1-19	12	ГПП-3	15	ААБ 4(3х150)	0,7
19	17-250	ЭД	19	2	АСБ (3х95)	0,1
19	Т-4-22	Т-4	19	4	АСБ (3х95)	0,5
19	АД-9-320	ЭД	19	5	АСБ (3х95)	0,08
19	АД-1-630	ЭД	19	6	АСБ (3х95)	0,08
19	Т-3-19	Т-3	19	7	АСБ (3х95)	0,06
19	16-250	ЭД	19	8	АСБ (3х95)	0,08
19	15-250	ЭД	19	9	АСБ (3х95)	0,08
19	АД-4-630	ЭД	19	13	АСБ (3х95)	0,08
19	АД-5-630	ЭД	19	14	АСБ (3х95)	0,08
19	Т-1-19	Т-4	19	15	АСБ (3х95)	0,06
19	14-250	ЭД	19	16	АСБ (3х95)	0,08
21	В-1-21	1	ГПП-3	11	АСБГ 3(3х185)	0,49
21	В-2-21	13	ГПП-3	38	АСБ 3(3х240)	1,1
21	В-4-21	33	ГПП-3	21	ААШ 4(3х120)	1,1
21	Т-3-23	Т-3	21	7	АСБ (3х95)	0,3
21	Т-1-23	Т-1	21	6	АСБ (3х95)	0,3
21	Т-3-21	Т-3	21	4	АСБ (3х95)	0,06
21	Т-7-21	Т-7	21	3	АСБ (3х95)	0,06
21	АД-20-2	ЭД	21	2	АСБ (3х95)	0,3

Продолжение таблицы 1

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
21	Т-5-21	Т-5	21	15	АСБ (3х95)	0,06
21	Т-1-21	Т-1	21	12	АСБ (3х95)	0,06
21	Т-3-22	Т-3	21	11	АСБ (3х95)	0,3
21	АД-20-1	ЭД	21	9	АСБ (3х95)	0,3
21	Т-6-21	Т-6	21	31	АСБ (3х95)	0,06
21	Т-2-21	Т-2	21	30	АСБ (3х95)	0,06
30	В-1-30	8	ГПП-3	35	ААБ 4(3×185)	0,7
30	В-4-30	36	ГПП-3	19	ААБ 4(3×185)	0,7
30	403-1	ЭД	30	51	СБ (3х185)	0,27
30	Т-2-17	Т-2	30	1	АСБ (3х95)	0,6
30	АД-7-6	ЭД	30	2	АСБ (3х95)	0,43
30	Т-1-29	Т-1	30	3	АСБ (3х95)	0,4
30	Т-1-118	Т-1	30	4	АСБ (3х95)	0,6
30	СД-15-1	ЭД	30	5	СБ (3х95)	0,3
30	301-1	ЭД	30	6	СБ (3х150)	0,25
30	301-3	ЭД	30	7	СБ (3х150)	0,25
30	Т-2-30	Т-2	30	37	АСБ (3х95)	0,06
30	Т-1-17	Т-1	30	39	АСБ (3х95)	0,6
30	Т-2-33	Т-2	30	40	АСБ (3х95)	0,1
30	403-4	ЭД	30	41	СБ (3х185)	0,27
30	СД-148-1	ЭД	30	44	АСБ (3х95)	0,4
30	Т-4-29	Т-4	30	45	АСБ (3х95)	0,35
44	В-1-44	6	ГПП-3	12	ААБ 2(3×240)	0,2
44	В-2-44	17	ГПП-3	32	ААБ 2(3×240)	0,2
44	Т-4-45	Т-4	44	24	АСБ (3х95)	0,37
44	17-250	ЭД	44	2	АСБ (3х95)	0,275
44	1-1000	ЭД	44	3	АСБ (3х95)	0,125
44	2-1000	ЭД	44	4	АСБ (3х95)	0,125
44	Т-1-45	Т-1	44	7	АСБ (3х95)	0,37
44	11-250	ЭД	44	8	АСБ (3х95)	0,275
44	12-250	ЭД	44	9	АСБ (3х95)	0,275
44	14-250	ЭД	44	12	АСБ (3х95)	0,275
44	13-250	ЭД	44	13	АСБ (3х95)	0,275
44	Т-3-45	Т-3	44	14	АСБ (3х95)	0,37
44	15-250	ЭД	44	15	АСБ (3х95)	0,275
44	Т-2-45	Т-2	44	16	АСБ (3х95)	0,37
44	4-1000	ЭД	44	19	АСБ (3х95)	0,125
44	3-1000	ЭД	44	20	АСБ (3х95)	0,125
44	16-250	ЭД	44	21	АСБ (3х95)	0,275
46	В-1-46	7	ГПП-3	8	АСБ 5(3×95)	0,72
46	В-300-4	26	ГПП-3	36	АСБ (3×95)	0,72
46	АД-107-1	ЭД	46	1	АСБ (3х185)	0,13
46	Т-1-28	Т-1	46	29	АСБ (3х95)	0,15
46	АД-703-1	ЭД	46	30	АСБ (3х95)	0,33
46	Т-1-46	Т-1	46	3	АСБ (3х95)	0,06

Продолжение таблицы 1

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
46	Т-1-48	Т-1	46	4	АСБ (3х95)	0,35
46	АД-7-1-630	ЭД	46	5	АСБ (3х95)	0,43
46	Т-1-109	Т-1	46	6	АСБ (3х95)	0,4
46	КТП ГПП-2	Т	46	8	АСБ (3х95)	0,4
46	3300 ТК-300-4	ЭД	46	25	2хСБ (3х150)	0,1
54	В-1-54	15	ГПП-3	29	СБ 3(3×120)	1,4
54	В-2-54	12	ГПП-3	14	СБ 3(3×120)	1,4
54	25-320	ЭД	54	21	АСБ (3х95)	0,125
54	27-320	ЭД	54	19	АСБ (3х95)	0,125
54	СД-11-1600	ЭД	54	13	АСБ (3х120)	0,13
54	12-1600	ЭД	54	9	АСБ (3х120)	0,13
54	13-1600	ЭД	54	4	АСБ (3х120)	0,13
54	14-1600	ЭД	54	8	АСБ (3х120)	0,13
54	26-400	ЭД	54	16	АСБ (3х95)	0,125
54	28-320	ЭД	54	18	АСБ (3х95)	0,125
54	15-1600	ЭД	54	26	АСБ (3х120)	0,13
106	В-1-106	4	2	14	АСБ (3×70)+(3×120)	1,6
ГПП-4						
ГПП-4	КТП КАРЬЕР	-	ГПП-4	33	АС-25+АСБ (3×50)	0,6
ГПП-4	Т-1-52	Т-1	ГПП-4	10	АСБ (3х95)	2,8
ГПП-4	Т-1-40	Т-1	ГПП-4	16	СБ (3х150)	0,9
ГПП-4	Т-2-40	Т-2	ГПП-4	25	СБ (3х150)	0,9
ГПП-4	Т-2-52	Т-2	ГПП-4	38	АСБ (3х95)	2,8
3	В-2-3	16	ГПП-4	26	СБ 3(3×185)	0,8
3	В-3-3	27	ГПП-4	13	АСБГ 2(3×185)	0,8
3	ВВОД на ТП-103	-	3	29	АСБ (3х95)	1,6
3	СД-7	ЭД	3	2	АСБ (3х150)	0,1
3	СД-6	ЭД	3	4	АСБ (3х150)	0,1
3	СД-5	ЭД	3	6	АСБ (3х150)	0,1
3	СД-4	ЭД	3	8	АСБ (3х150)	0,1
3	ВВОД на ТП-102	-	3	22	АСБ (3х95)	0,9
3	Т-2-58	Т-2	3	26	АСБ (3х95)	1
41	В-1-41	13	ГПП-4	11	СБ 2(3×120)	1,4
41	В-2-41	22	ГПП-4	36	СБ 2(3×120)	1,4
41	АД-3-1	ЭД	41	5	ВБШв (3×25)	0,12
41	Т-1-38	Т-1	41	6	АСБ (3х95)	0,35
41	Т-2-41	Т-2	41	7	АСБ (3х95)	0,06
41	АД-1	ЭД	41	8	АСБ (3х95)	0,1
41	АД-2	ЭД	41	9	АСБ (3х95)	0,1

Продолжение таблицы 1

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
41	АД-10	ЭД	41	11	АСБ (3х95)	0,1
41	Т-1-55	Т-1	41	16	АСБ (3х95)	0,35
41	АД-9	ЭД	41	24	АСБ (3х95)	0,1
41	АД-7	ЭД	41	25	АСБ (3х95)	0,1
41	Т-1-41	Т-1	41	28	АСБ (3х95)	0,06
41	Т-2-38	Т-2	41	29	АСБ (3х95)	0,35
41	АД-3-2	ЭД	41	31	ВБбШв (3×25)	0,12
110	В-1-110	2	41	4	АСБ (3х95)	0,37
110	В-2-110	5	41	20	АСБ (3х95)	0,37
ТЭЦ						
5	СК-22	28	ТЭЦ	22	АСБ 3(3×240)	13
5	Т-2-13	Т-2	5	2	АСБ (3х95)	0,5
5	СД-3-1500	ЭД	5	37	АСБ (3х120)	0,12
5	Т-2-69	Т-2	5	36	АСБ (3х95)	0,9
5	21-400	ЭД	5	34	АСБ (3х95)	0,06
5	19-400	ЭД	5	33	АСБ (3х95)	0,06
5	17-320	ЭД	5	32	АСБ (3х95)	0,06
5	16-320	ЭД	5	31	АСБ (3х95)	0,06
5	Т-2-5	Т-2	5	30	АСБ (3х95)	0,06
5	11-400	ЭД	5	38	АСБ (3х95)	0,06
5	Т-1-6	Т-1	5	41	АСБ (3х95)	0,25
5	20-400	ЭД	5	42	АСБ (3х95)	0,06
9	СК-27	28	ТЭЦ	27	АСБ 3(3×240)	6
9	СК-28	13	ТЭЦ	28	АСБ 3(3×240)	6
9	АД-8-630	ЭД	9	19	АСБ (3х95)	0,07
9	АД-7-630	ЭД	9	20	АСБ (3х95)	0,07
9	АД-6-630	ЭД	9	21	АСБ (3х95)	0,07
9	АД-5-630	ЭД	9	22	АСБ (3х95)	0,07
9	АД-18-200	ЭД	9	23	АСБ (3х95)	0,17
9	АД-17-200	ЭД	9	24	АСБ (3х95)	0,17
9	АД-21-250	ЭД	9	25	АСБ (3х95)	0,17
9	АД-15-250	ЭД	9	26	АСБ (3х95)	0,17
9	20-2-250	ЭД	9	27	АСБ (3х95)	0,38
9	Т-2-14	Т-2	9	30	АСБ 3(3×95)	1,1
9	Т-2-8	Т-2	9	31	АСБ 3(3×95)	0,65
9	Т-2-9	Т-2	9	33	АСБ 3(3×95)	0,06
9	Т-1-12	Т-1	9	35	АСБ 3(3×95)	0,5
9	АД-2-630	ЭД	9	15	АСБ (3х95)	0,07
9	АД-1-630	ЭД	9	16	АСБ (3х95)	0,07
9	АД-4-630	ЭД	9	17	АСБ (3х95)	0,07
9	АД-12-250	ЭД	9	18	АСБ (3х95)	0,17
9	АД-9-630	ЭД	9	38	АСБ (3х95)	0,07
16	СК-49	24	ТЭЦ	49	АСБ 3(3×185)	2
18	СК-21	8	ТЭЦ	21	АСБ 3(3×240)	2,2

Продолжение таблицы 1

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
18	Т-1-25	Т-1	18	28	АСБ (3х95)	0,31
18	Т-2-10	Т-2	18	24	АСБ (3х95)	0,42
18	Т-2-20	Т-2	18	20	АСБ (3х95)	0,28
18	СД-34	ЭД	18	16	АСБ (3х95)	0,14
18	СД-37	ЭД	18	14	АСБ (3х95)	0,14
18	Т-1-18	Т-1	18	6	АСБ (3х95)	0,06
18	Т-2-18	Т-2	18	5	АСБ (3х95)	0,06
19	СК-7	32	ТЭЦ	7	АСБ 3(3×240)	2,3
19	18-250	ЭД	19	20	АСБ (3х95)	0,15
19	АД-2-630	ЭД	19	21	АСБ (3х95)	0,08
19	АД-3-630	ЭД	19	22	АСБ (3х95)	0,08
19	АД-5-630	ЭД	19	25	АСБ (3х95)	0,08
19	13-250	ЭД	19	26	АСБ (3х95)	0,08
19	12-250	ЭД	19	27	АСБ (3х95)	0,1
19	Т-2-19	Т-2	19	28	АСБ (3х95)	0,06
19	11-250	ЭД	19	29	АСБ (3х95)	0,15
19	АД-7-630	ЭД	19	30	АСБ (3х95)	0,08
19	АД-8-320	ЭД	19	31	АСБ (3х95)	0,08
46	СК-1	57	ТЭЦ	1	СБ 2(3×120)	3,2
51	СК-19	18	ТЭЦ	19	АСБ 3(3×185)	1,1
51	СК-18	25	ТЭЦ	18	АСБ 3(3×185)	1,1
51	27-4	ЭД	51	14	АСБ (3х95)	0,12
51	27-5	ЭД	51	15	АСБ (3х95)	0,12
51	Т-1-50	Т-1	51	16	АСБ (3х95)	0,7
51	Т-2-51	Т-2	51	17	АСБ (3х95)	0,06
51	Т-2-1	Т-2	51	28	АСБ (3х95)	0,3
51	В-1 ТП-4		51	29	АСБ (3х95)	0,2
51	Т-3-51	Т-3	51	30	АСБ (3х95)	0,06
51	СД-8-300	ЭД	51	31	АСБ (3х95)	0,11
51	СД-13-300	ЭД	51	32	АСБ (3х95)	0,11
51	27-3	ЭД	51	33	АСБ (3х95)	0,12
51	СД-20-300 (Д7)	ЭД	51	34	АСБ (3х95)	0,11
81	В-1-81	11	9	32	АСБГ 3(3×95)	0,9
81	Т-3-21а	Т-3	81	29	АСБ (3х95)	0,35
81	Т-5-81	Т-5	81	27	АСБ (3х95)	0,06
81	Т-1-81	Т-1	81	25	АСБ (3х95)	0,06
81	Т-1-21а	Т-1	81	23	АСБ (3х95)	0,35
81	Т-3-81	Т-3	81	21	АСБ (3х95)	0,06
81	ТП-250	Т	81	19	АСБ (3х95)	1,85
81	Т-2-43	Т-2	81	19	АСБ (3х95)	1,25
81	Т-4-21а	Т-4	81	17	АСБ (3х95)	0,35
81	Т-1-42	Т-1	81	7	АСБ (3х95)	0,4
ПС «ПС-3»						
В/3-1	1-1600	ЭД	В/3-1	1	АСБ (3х150)	0,08

Продолжение таблицы 1

№ ПС/Т П	Наимен. пит. линии	Присоединение	Откуда питание		Сечение и тип кабеля	Длина, км
			№ ПС/ТП	№ яч.		
1	2	3	4	5	6	7
В/3-1	2-1600	ЭД	В/3-1	3	АСБ (3х150)	0,08
В/3-1	3-1600	ЭД	В/3-1	7	АСБ (3х150)	0,08
В/3-1	4-1600	ЭД	В/3-1	9	АСБ (3х150)	0,08
В/3-1	КС-1	-	В/3-2	3	3хАСБ (3х150)	0,25
В/3-2	4-1600	ЭД	В/3-2	7	АСБ (3х150)	0,08
В/3-2	3-1600	ЭД	В/3-2	9	АСБ (3х150)	0,08
В/3-2	2-1600	ЭД	В/3-2	12	АСБ (3х150)	0,08
В/3-2	1-1600	ЭД	В/3-2	8	АСБ (3х150)	0,08
В/3-1	КС-2	-	В/3-2	4	3хАСБ (3х150)	0,25
Протяженность общая КЛ, км						249,02

Таблица 2 – Зависимость протяженности кабельных линий (км) от материала жил

Материал жил	Длина
Алюминий, км	223,53
Медь, км	25,49
ИТОГО	249,015

Таблица 3 – Зависимость протяженности кабельных линий (км) от сечения жил

Сечение, мм	Длина, км
25	0,54
50	0,63
70	1,80
95	97,68
120	24,21
150	20,11
185	21,05
240	83,00
ИТОГО	249,015

1.3 Потребление электроэнергии на химическом предприятии

Таблица 4 – Данные о распределительных трансформаторах

Наименование ПС/ТП, участвующих в процессе передачи э/э	Данные силовых тр-ров 110/6кВ и 6/0,4кВ					
	Тип	Мощность, кВА	dP _{хх} , кВт	dP _{кз} , кВт	U _{кз} , %	Присоединение (ПС-№_яч.№)
ГПП-1						
ГПП-1	ТДН	31500	35	145	10,5	
	ТДН	31500	35	145	10,5	
	ТРДН	32000	30	170	10,5/20/30	
27	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	35_4
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	35_25
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	35_9
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	35_15
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	ГПП-1
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	ГПП-1
7	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	3_12
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	3_15
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	3_14
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	3_17
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	3_16
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	3_19
60 (сторонняя)	ТМ	630	1,56	7,6	5,5	60_Т-1
	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	60_Т-2
59	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	35_3
	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	35_26
93	ТМ	250	0,74	3,7	6,5	93
	ТМ	250	0,74	3,7	6,5	93
31	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	ГПП-1
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	ГПП-1
49	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	ГПП-1
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	ГПП-1
26	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	26_6
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	26_19
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	26_7
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	26_18

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
4	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	26_10

7	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	26_15
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	26_8
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	26_16
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	26_9
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	26_17
56	ТМП	2500	4,75	16,35	5,8	26_2
	ТНЗП	1600	2,05	13,6	5,3	26_3
57	ТМП	2500	4,75	16,35	5,8	26_13
	ТНЗП	1600	2,05	13,6	5,3	26_14
	ТСЗП	1000	2,7	9,3	5,5	34_19
	ТСЗП	1000	2,7	9,3	5,5	34_23
ТП-5	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	34_33
32	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	34_3
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	34_30
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	34_4
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	34_31
36	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	36_13
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	36_8
37	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	36_22
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	36_2
65	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	36_24
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	36_40
39	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	39_7
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	39_16
82	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	39_1
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	39_21
ТП-1	ТМЗ	630	1,05	7,6	5,5	51_2
ТП-3	ТМЗ	400	0,82	5,5	4,5	51_2 (отпайка)
51	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	51_8
	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	51_35
1	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	51_9
	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	51_36
42	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	81_4
81	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	81_14
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	81_18
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	81_26
43	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	81_22
21a	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	81_24
69	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	5_56
13	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	5_49
5	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	5_25
6	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	5_17
23	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_23
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_22
22	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	2_9
21	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_25
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_28

Продолжение таблицы 4

18	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	18_5
20	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	18_21

25	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	18_25
19	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	18_27
ГПП-2						
ГПП-2	ТДН	31500	35	145	10,5	
	ТДН	31500	35	145	10,5	
118	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	30_18
29	ТМЗ	630	1,05	7,6	5,5	30_19
	ТМЗ	630	1,05	7,6	5,5	30_23
24	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	ГПП-2
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	30_22
33	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	30_48
30	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	30_30
19	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	19_28
28	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	46_13
109	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	46_15
48	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	46_17
46	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	46_18
25	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	18_28
10	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	18_24
20	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	18_20
18	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	18_6
ГПП-3						
ГПП-3	ТРДН	40000	30	170	10,5 / 20 /	
					30	
	ТРДН	40000	30	170	10,5 / 20 /	
					30	
17	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	30_39
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	30_1
29	ТМЗ	630	1,05	7,6	5,5	30_3
	ТМЗ	630	1,05	7,6	5,5	30_45
118	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	30_4
30	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	30_37
33	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	30_40
22	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	19_4
19	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	19_15
	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	19_7
45	ТМЗ	1600	2,05	16,5	6	44_7
	ТМЗ	1600	2,05	16,5	6	44_16
	ТМЗ	1600	2,05	16,5	6	44_14
	ТМЗ	1600	2,05	16,5	6	44_24
28	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	46_29
46	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	46_3
48	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	46_4
109	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	46_6
КТП ГПП-2	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	46_8

Продолжение таблицы 4

23	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_6
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_7

106	ТМЗ	400	0,82	5,5	4,5	2_14 (отпайка)
105	ТМЗ	400	0,82	5,5	4,5	2_14 (отпайка)
22	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	2_10
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_11
21	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_12
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_30
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_4
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_15
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_3
	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	21_31
76	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	9_3
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	9_43
8	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	9_5
15	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	15_9
63	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	15_12
11	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	16_15
14	ТМ	400	0,95	5,5	4,5	9_46
12	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	9_52
9	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	9_53
16	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	16_4
ГПП-4						
ГП П-4	ТРДН	40000	30	170	10,5 / 20 /	
					30	
	ТРДН	40000	30	170	10,5 / 20 /	
					30	
58	ТМ	320	1,6	6,07	5,5	3_31
	ТМ	320	1,6	6,07	5,5	3_26
3	ТАМ	560	2,5	9,4	5,5	3_11
	ТАМ	560	2,5	9,4	5,5	3_12
110	ТМ	250	0,74	3,7	6,5	110_1
	ТМ	250	0,74	3,7	6,5	110_6
38	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	41_6
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	41_29
41	ТМЗ	630	1,05	7,6	5,5	41_28
	ТМЗ	630	1,05	7,6	5,5	41_7
55	ТМ	630	1,56	7,6	5,5	41_16
52	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	ГПП-4_10
	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	ГПП-4_38
40	ТМЗ	630	1,05	7,6	5,5	ГПП-4_16
	ТМЗ	630	1,05	7,6	5,5	ГПП-4_25
ТЭЦ						
51	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	51_17
	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	51_30
50	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	51_16
1	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	51_28

Продолжение таблицы 4

21a	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	81_23
	ТАМ	750	4,1	11,9	5,5	81_21a

	ТАМ	750	4,1	11,9	5,5	81_17
81	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	81_25
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	81_21
	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	81_27
250 (склад солей)	ТМ	250	0,74	3,7	6,5	81_19 (отпайка)
43	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	81_19
42	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	81_7
13	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	5_2
69	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	5_36
5	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	5_30
6	ТМ	560	2,5	9,4	5,5	5_42
14	ТМ	400	0,95	5,5	4,5	9_30
8	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	9_31
9	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	9_33
12	ТМЗ	1000	1,55	10,8	5,5	9_35
15	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	15_4
63	ТМ	1000	2,45	12,2	5,5	15_6
11	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	11_11
10	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	11_16
16	ТАМ	1000	4,9	15	5,5	16_26
Подстанция «ПС-3»						
В/3-2	ТДН	10000	14	58	10,5	
В/3-1	ТМ	5600	18	57	5,5	
В/3-1	ТМ	5600	18	57	5,5	

Таблица 5 – Количественное трансформаторов в система электроснабжения

S, кВА	Кол-во, шт.	Сист., МВА
40000	4	160
32000	1	32
31500	4	126
10000	1	10
5600	2	11,2
2500	2	5
1600	6	9,6
1000	127	127
750	2	1,5
630	11	6,93
560	16	8,96
400	5	2
320	2	0,64
250	5	1,25
ИТОГО	188	502,08

Электрическая энергия используется химическим предприятием в основном для питания электродвигателей, приводящих в движение насосы и

различные виды компрессоров (поршневые и турбинные). Так же электроэнергия применяется для освещения производственных и административно-бытовых помещений.

Наиболее мощными потребителями являются двигатели – асинхронные единичной мощностью до 4300 кВт и синхронные, единичной мощностью до 3300 кВт. Всего на предприятии установлено и используется 177 двигателей напряжением 6 кВ.

Таблица 6 – Высоковольтные электродвигатели

Место присоед-я (ПС-№_яч.№)	Техн-ий номер	Тип Д	Марка ЭД	ТВУ	Ін (ст./рот.) ,А	б./мин.
1	2	3	4	5	6	7
ГПП-1						
ПС-39_яч.14	АД-4 108-3	АД	A13-37-6	-	59	985
ПС-39_яч.25	АД-5 108-2	АД	A13-37-6	-	59	985
ПС-39_яч.15	АД-6 108-1	АД	A13-37-6	-	59	985
ПС-36_яч.3	СД-9 - 2000	СД	СТМП 2000-2	ТЕ-8-320	221/329	3000
ПС-36_яч.6	СД-8 - 2000	СД	СТМП 2000-2	ТЕ-8-320	221/329	3000
ПС-36_яч.14	СД-7 - 2000	СД	СТМП 2000-2	ТЕ-8-320	221/329	3000
ПС-36_яч.17	СД-6 - 2000	СД	СТМП 2000-2	ТЕ-8-320	221/329	3000
ПС-36_яч.39	СД-10 - 2000	СД	СТМП 2000-2	ТЕ-8-320/48	221/329	3000
ПС-51_яч.3	АД-42-2-320	АД	A4-400ХК-4У3	-	47	1500
ПС-51_яч.7	СД-21-300	СД	ДСК-13-24-12	ТВУ самодельное	40,5/268	500
ПС-51_яч.10	СД-11-300	СД	ДСК-173-16-16М	ТВУ самодельное	40/267	375
	АД-27-2-1000	АД	A3-1000/6000У4	-	113	3000
ПС-51_яч.12	СД-9-300	СД	ДСК-173-16-16М	ПВ 81	40/267	375
ПС-51_яч.37		СД	ДСК-173-16-16АУХА4	ТЕ8-320/48 Т5 УХЛ4	37,5/250	375

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

ПС-51_яч.38	АД-27-6-1000	АД	2А3М-1000/6000	-	113	3000
ПС-51_яч.41	СД-22-300	СД	ДСК-13-24-12	ТЕ8 320/75 Т5 У4	40,5/268	500
ПС-51_яч.43	АД-27-1-1000	АД	А3-1000/6000	-	113	3000
ПС-35_яч.5	АД-4-1000	АД	АН-15-44-10	-	121	590
ПС-35_яч.6	АД-3-1000	АД	АН-15-44-10	-	121	590
ПС-35_яч.10	АД-12-200	АД	1LA4310-4AN60-Z	-	25,5	1480
ПС-35_яч.11	АД-13-250		ДНЕВ-63-4	-	30	1500
ПС-35_яч.17	АД-14-160	АД	1LA4310-4AN60-Z	-	25,5	1480
	АД-11-250	АД	АНЕ-460-4	-	32	1480
ПС-35_яч.23	АД-2-1000	АД	АН-15-44-10	-	121	590
ПС-35_яч.24	АД-1-1000	АД	АН-15-44-10	-	121	590
ПС-7_яч.22	24-250	АД	А-12-52-10	-	32,5	590
ПС-5_яч.55	АД-13-400	АД	А4-400ХК-4У3	-	47	1500
ПС-5_яч.51	СД-2-1500	СД	СТМ-1500-2	ВТ-РЭМ 315-75П-УХЛ4	168/226	3000
ПС-5_яч.50	СД-6-1500	СД	СТМ-1500-2	ВТ-РЭМ 315-75П-УХЛ4	168/226	3000
ПС-5_яч.24	АД-14-320	АД	А-114-4	-	37,1	1500
ПС-5_яч.23	АД-15-400	АД	А4-355У-4У3	-	45	1500
ПС-5_яч.22	АД-12-320	АД	А-114-4	-	37,1	1500
ПС-5_яч.21	АД-22-320	АД	А-114-4	-	37,1	1500
ПС-5_яч.19	АД-18-400	АД	А4-355-4У3	-	45	1500
ПС-18_яч.17	СД 35	СД	ДСКП-260-24-36	ВТ-РЭМ 315-115П-УХЛ4	74/263	167
ПС-18_яч.15	СД 36	СД	ДСКП-260-24-36	ВТ-РЭМ 315-115П-УХЛ4	74/263	167
ПС-18_яч.13	СД 38	СД	ДСКП-260-24-36	ВТ-РЭМ 315-115П-УХЛ4	74/263	167
ПС-2_яч.5	СД-3-625	СД	ДСКП-260-24-36	ТВУ самодельное	74/263	167
ПС-2_яч.11	СД-4-625	СД	ДСКП-260-24-36	ТВУ самодельное	74/263	167

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

ПС-36_яч.25	СД-1-2500	СД	1 Е БОЕ 136-55-4	КВсдОС-РА-60-320-УХЛ4	267/349	3000
ПС-36_яч.28	СД-2-2500	СД	1 Е БОЕ 136-55-4	КВсдОС-РА-60-320-УХЛ4	267/349	3000
	СД-3-2500	СД	1 Е БОЕ 136-55-4	КВсдОС-РА-60-320-УХЛ4	267/349	3000
ПС-36_яч.37	СД-4-2500	СД	1 Е БОЕ 136-55-4	ВТ-РЭМ 315-75П-УХЛ4	267/349	3000
ГПП-2						
	А-703/2	АД	ДА3О-13-55-6М-У1	-	59	1200
	т/к 317/1	СД	1Е БОЕ-136-74-4	КВсдОС-РА-60-320-УХЛ4	275/324	1000
ПС-46_яч.37	т/к 317/2	СД	1Е БОЕ-136-74-4	КВсдОС-РА-60-320-УХЛ4	275/324	1000
ПС-46_яч.41	т/к 317/3	АД	4V-208-04HW1	-	269	-
ПС-46_яч.56	т/к 317/4	АД	4V-208-04HW1	-	269	-
ПС-46_яч.45	т/к 300/1	АД	4V-226-04HW1	-	369	-
	т/к 300/2	СД	1Е БОЕ-155-75-4	КВсдОС-РА-60-400-УХЛ4	395/478	1000
ПС-46_яч.53	т/к 300/3	СД	1Е БОЕ-155-75-4	КВсдОС-РА-60-400-УХЛ4	395/478	1000
ПС-46_яч.19	т/к 107/2	АД	AR630-S4-Д4КВ	-	139,2	-
ПС-30_яч.21	В 7-5	АД	2А3М-630/6000	-	70,5	2950
ПС-30_яч.24	СД 13-15/2	СД	СТД-800-23УХЛ4	ВС-20-3000 (1978)	90/282	3000
ПС-30_яч.16	АД 12-15/3	АД	4А3МП-800-2	-	90	3000
ПС-30_яч.49	т/к 403/2	АД	32V225-04Н	-	303	-
ПС-30_яч.27	т/к 403/3	АД	32V225-04Н	-	303	-
ПС-30_яч.14	СД-2 т/к 301/2	СД	1 Е БОЕ 136-55-4	ЕХ-SR-200-115-УХЛ4 (2005) ЕХ-SR-200-	133/181	1500
ПС-30_яч.15	СД-4 т/к 301/4	СД	1 Е БОЕ 136-55-4	115-УХЛ4 (2005)	133/181	1500
	М-148/2	СД	СДКП2-16-24	ВТ-РЭМ 315-48П-УХЛ4	37/249	375

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
ПС-30_яч.29	Н-70/3	АД	БАО4-450LA-2-У2	-	35,1	3000
ПС-19_яч.20	АД-18-250	АД	ДНЕВ-63-4	-	30	1500
ПС-19_яч.21	АД-2-630	АД	А-13-62-8	-	76	735
ПС-19_яч.22	АД-3-630	АД	А-13-62-8	-	76	735
ПС-19_яч.25	АД-5-630	АД	А-13-62-8	-	76	735
ПС-19_яч.26	АД-13-250	АД	ДНЕВ-63-4	-	30	1500
ПС-19_яч.27	АД-12-250	АД	ДНЕВ-63-4	-	30	1500
ПС-19_яч.29	АД-11-250	АД	ДНЕВ-63-4	-	30	1500
	АД-7-630	АД	А-13-62-8	-	76	735
ПС-19_яч.31	АД-8-320	АД	А-114-4	-	37,1	1480
ПС-18_яч.16	СД 34	СД	ДСКП-260-24-36	ВТ-РЭМ 315-115П-УХЛ4	74/263	167
	СД 37	СД	ДСКП-260-24-36	ВТ-РЭМ 315-115П-УХЛ4	74/263	167
ПС-3_яч.7	СД-2	СД	СТМ 1500-2	ВТ-РЭМ 315-75П-УХЛ4	168/226	3000
ПС-3_яч.5	СД-3	СД	СТМ 1500-2	ВТ-РЭМ 315-75П-УХЛ4	168/226	3000
	СД-8	СД	СТМ 1500-2	ВТ-РЭМ 315-75П-УХЛ4	168/226	3000
ГПП-3						
ПС-21_яч.9	В 20-1	АД	2А3М-630/6000	-	70,5	2950
ПС-21_яч.2	В 20-2	АД	2А3М-630/6000	-	70,5	2950
ПС-46_яч.5	В 7-1	АД	4А3М-630/6000	-	72	2950
ПС-46_яч.30	А-703/1	АД	ДА3О-13-55-6М-У1	-	59	1200
ПС-46_яч.25	т/к 300/4	АД	4V-226-04HW1	-	369	-
ПС-46_яч.1	т/к 107/1	АД	AR630-S4-Д4КВ	-	136	-
ПС-30_яч.2	В 7-6	АД	2А3М-630/6000	-	70,5	2950
ПС-30_яч.5	СД 11-15/1	СД	СТД-800-23УХЛ4	ВС-20-3000 (1980)	90/288	3000
ГПП-3 яч.31 / ПС-30_яч.51		АД	32V225-04Н	-	303	-
	т/к 403/4	АД	32V225-04Н	-	303	-

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
ПС-30_яч.7	СД-3 т/к 301/3	СД	1 Е БОЕ 136- 55-4	ЕХ-SR-200- 115-УХЛ4 (2005)	133/181	1500
	М-148/1	СД	СДКП2-16-24	ВТ-РЭМ 315- 48П-УХЛ4	37/249	375
ПС-30_яч.6	СД-1	СД	1 Е БОЕ 136- 55-4	позиция не рабочая	133/181	1500
ПС-44_яч.2	АД-17-200	АД	1LA4310- 4AN60-Z	-	25,5	1480
ПС-44_яч.3	АД-1-1000	АД	АН-15-44-10		121	590
ПС-44_яч.4	АД-2-1000	АД	АН-15-44-10	-	121	590
ПС-44_яч.8	АД-11-200	АД	АО4-355P-4У2	-	23,5	1480
ПС-44_яч.9	АД-12-200	АД	1LA4310- 4AN60-Z	-	25,5	1480
ПС-44_яч.12	АД-14-200	АД	1LA4310- 4AN60- Z	-	25,5	1480
ПС-44_яч.13	АД-13-200	АД	АО4-355P-4У2	-	23,5	1480
ПС-44_яч.15	АД-15-200	АД	1LA4310- 4AN60- Z	-	25,5	1480
ПС-44_яч.19	АД-4-1000	АД	АН-15-44-10	-	121	590
ПС-44_яч.20	АД-3-1000	АД	АН-15-44-10	-	121	590
ПС-44_яч.21	АД-16-200	АД	1LA4310- 4AN60-Z	-	25,5	1480
ПС-5_яч.13	СД-4-1500	СД	СТМ-1500-2	ВТ-РЭМ 315- 75П-УХЛ4	168/226	3000
ПС-5_яч.7	СД-5-1500	СД	СТМ-1500-2	ВС-20-3000	168/226	3000
ПС-5_яч.6	АД-23-320	АД	А-114-4	-	37,1	1500
ПС-19_яч.2	АД-17-250	АД	ДНЕВ-63-4	-	30	1500
ПС-19_яч.5	АД-9-315	АД	ДА304-400ХК- 4У1	-	38	1500
ПС-19_яч.6	АД-1-630	АД	А-13-62-8	-	76	735
ПС-19_яч.8	АД-16-250	АД	ДНЕВ-63-4	-	30	1500
ПС-19_яч.9	АД-15-250	АД	ДНЕВ-63-4	-	30	1500
ПС-19_яч.13	АД-4-630	АД	А-13-62-8	-	76	735
ПС-19_яч.14	АД-6-630	АД	А-13-62-8	-	76	735
ПС-19_яч.16	АД-14-250	АД	ДНЕВ-63-4	-	30	1500
ПС-54_яч.21	АД-25-400	АД	А4-400ХК-4У3	-	47	1500
ПС-54_яч.19	АД-27-400	АД	А4-400ХК-4У3	-	47	1500

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

ПС-54_яч.13	СД-11-1600	СД	СТМ-1600-2	БСВ-РЭМ 123-10-60	178/240	3000
ПС-54_яч.9	СД-12-1600	СД	СТМ-1600-2	БСВ-РЭМ 123-10-60	178/240	3000
ПС-54_яч.4	СД-13-1600	СД	СТМ-1600-2	БСВ-РЭМ 123-10-6	178/240	3000
ПС-54_яч.8	СД-14-1600	СД	СТМ-1600-2	БСВ-РЭМ 123-10-63	178/240	3000
ПС-54_яч.16	АД-26-400	АД	А4-355У-4У3	-	45	1480
ПС-54_яч.18	АД-28-400	АД	А4-400ХК-4У3	-	47	1500
ПС-54_яч.26	СД-15-1600	СД	СТМ-1600-2	БСВ-РЭМ	178/240	3000
				123-10-64		
ПС-2_яч.6	СД-2-625	СД	ДСКП-260-24-36	ТВУ самодельное	74/263	167
ПС-2_яч.4	СД-1-625	СД	ДСКП-260-24-36	ТВУ самодельное	74/263	167
ПС-9_яч.6	АД-22-250	АД	АНЕ-406-4	-	32	1480
ПС-9_яч.12	АД-11-200	АД	ВАСВ17-40-52У1	-	36	115
ПС-9_яч.10	АД-13-200	АД	1LA4310-4AN60-Z	-	25,5	1480
ПС-9_яч.11	АД-14-250	АД	ДКЕА3510-4	-	31	1500
ПС-9_яч.44	АД-19-250	АД	АНЕ-406-4	-	32	1480
ПС-9_яч.49	АД-16-250	АД	ДНЕВ-63-4	-	30	1500
ПС-9_яч.50	20-1-250	АД	А-12-52-10	-	32,5	590
ПС-9_яч.51	АД-3-630	АД	А-13-62-8	-	70	735
ПС-9_яч.54	АД-20-250	АД	АНЕ-406-4	-	32	1480
ГПП-4 (ПС «Фильтр»)						
ПС-41_яч.8	Насос №1	АД	А-12-52-10	-	32,5	590
ПС-41_яч.9	Насос №2	АД	А-12-52-10	-	32,5	590
ПС-41_яч.5	АД-3-1-315	АД	А4-355Х-4У3	-	36,5	600
ПС-41_яч.31	АД-3-2-315	АД	А4-355Х-4У3	-	36,5	600
ПС-41_яч.25	Насос №7	АД	А-12-52-10	-	32,5	590
Подстанция «ПС-3»						
в/з-1_яч.1	1-1600	СД	СДН-15-49-8	ТЕ8-320/75	175/233	750
в/з-1_яч.3	2-1600	СД	СДН-15-49-8	генератор постоянного тока ПВ-101	175/233	750
в/з-1_яч.7	3-1600	СД	СДН-15-49-8	генератор постоянного тока ПВ-101	175/233	750

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

в/з-1_яч.9	4-1600	СД	СДН-15-49-8	генератор постоянного тока ПВ-101	175/233	750
в/з-2_яч.8	1-1600	СД	СДН-15-49-8	генератор постоянного тока ПВ-101	175/233	750
в/з-2_яч.12	2-1600	СД	СДН-15-49-8	генератор постоянного тока ПВ-101	175/233	750
в/з-2_яч.7	4-1600	СД	СДН-15-49-8	генератор постоянного тока ПВ-101	175/233	750
в/з-2_яч.9	3-1600	СД	СДН-15-49-8	генератор постоянного тока ПВ-101	175/233	750

Таблица 7 – Количественное распределение электродвигателей по мощностям

Тип ЭД	Кол-во,	Р _{уст.} ,
	шт.	МВт
Асинхронные э/д	114	74
Синхронные э/д	63	90
ЭД, ВСЕГО	177	164

Количественное соотношение двигателей 6кВ химического предприятия.

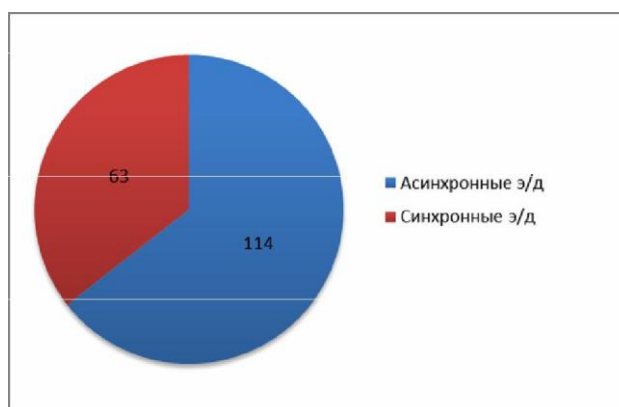


Рисунок 1 – Соотношение мощностей двигателей 6кВ химического предприятия

В общей структуре энергозатрат электроэнергия составляет существенно меньшую долю в сравнении с тепловой энергией и

водоснабжением, что обуславливается особенностями производства продукции.

1.4 Выводы по разделу 1

1. Анализ схемных решений системы электроснабжения химического предприятия, проведенный в разделе 1 выпускной квалификационной работы, позволяет сделать вывод о соответствии ее степени надежности требованиям ПУЭ, т.е. схемные решения не могут повлиять на устойчивость работы высоковольтной двигательной нагрузки, участвующей в непрерывном технологическом процессе химического предприятия.

2. Выполненный анализ системы распределение электрической энергии по территории химического предприятия показал, что основная часть распределительной сети выполнена кабелями. Напряжение кабельной распределительной сети химического предприятия составляет 6 кВ. Это связано с большим числом высоковольтных электродвигателей, участвующих в технологическом процессе химического предприятия.

3. Определено, что в общей структуре энергозатрат химического предприятия электроэнергия составляет существенно низкую часть в сравнении с тепловой энергией и водоснабжением, что обуславливается особенностями производства продукции.

4. Определено, что число электродвигателей, относящихся к высоковольтным на предприятии 177 шт., а их установленная мощность составляет 164 МВт, из них большая часть – 114 шт. являются асинхронными, а меньшая часть – 63 шт. являются синхронными. Поэтому при разработке мероприятий и анализе возмущений, необходимо учесть, как синхронные, так и асинхронные высоковольтные электродвигатели, при этом учесть их возможное взаимное влияние друг на друга.

2. АНАЛИЗ НАРУШЕНИЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Для анализа аварийности в системе электроснабжения химического предприятия были взяты данные за 2016 год и за 3 квартала 2019 года. Необходимо отметить, что во внешней схеме электроснабжения химического предприятия произошли изменения, а именно в 2018 году на ПС 220 проведена замена двух силовых автотрансформаторов 220/110 кВ мощностью 2х200 МВА на автотрансформаторы 220/110 кВ с мощностями 2х250 МВА с соответствующей реконструкцией электротехнического оборудования, в связи с чем повышена надежность внешнего электроснабжения рассматриваемого химического предприятия.

Анализ и обработка предоставленной информации показали, что нарушение работы производства химического предприятия происходит вследствие аварийных возмущений на энергообъектах внешней электрической сети, вследствие которых остаточное напряжение на шинах ГПП химического предприятия РУ 6 кВ до момента срабатывания БАВР ниже 5,39 кВ. Высокая чувствительность к провалам напряжения во внешней сети объясняется тем, что в существующей схеме электроснабжения к одной линии ВЛ-110 кВ подключены несколько силовых трансформаторов на нескольких ГПП в соответствии с таблицей 8.

Таблица 8 – Связь ВЛ 110/35 кВ с силовыми трансформаторами на ГПП

Наименование ЛЭП по которой	Номер трансформатора на ГПП по
-----------------------------	--------------------------------

происходит отключение	которым происходит провалы напряжения в следствии отключения ВЛ
1	2
ВЛ-110 кВ «К – 1»	ГПП-3 Т-1; ГПП-4 Т-1
ВЛ-110 кВ «К – 2»	ГПП-2 Т-1
ВЛ-110 кВ «К – 3»	ГПП-2 Т-2, ГПП-3 Т-2

Продолжение таблицы 8

1	2
ВЛ-110 кВ «К – 4»	ГПП-1 Т-1, ГПП-4 Т-2
ВЛ-110 кВ «С-2»	ГПП-1 Т-2
ВЛ-110 кВ «ЭТЗ»	ГПП-1 Т-3
ВЛ-110 кВ «ПС-5»	п/с ПС-3 Т-3
ВЛ – 35 кВ «ПС-4»	п/с «ПС-3» Т-1
ВЛ – 35 кВ «СК- ПС-3»	п/с «ПС-3» Т-2

Сводные данные по технологическим нарушениям за рассматриваемы период приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Сводные данные по количеству технологических нарушений, связанных с аварийными возмущениями во внешней электрической сети

Год	Общее количество возмущений во внешней сети	Количество возмущений во внешней сети, которые привели к полному или частичному останову производства
2017	10	9
2018	5	4
3 квартала 2019 года	1	1

Необходимо отметить, что при всех возмущениях во внешней электрической сети происходило нарушение работы части двигательного оборудования химического предприятия. В таблицах 2.3-2.5 представлены обобщённые результаты анализа карт отказов оборудования и актов расследования потенциально опасных происшествий за 2017 и 3 квартала 2018 года. В таблицах приведены краткое описание аварии, перечень двигательного оборудования нормальная работа которого была нарушена в результате аварии, а также, в случае необходимости, дополнительная информация по последствиям аварии.

Представленные в таблицах 10-13 данные свидетельствуют о том, что в существующей схеме электроснабжения химического предприятия кратковременные (на время срабатывания АПВ) провалы напряжения на шинах ГПП 6 кВ до уровня $0,8U_{ном}$ и ниже, связанные с аварийными возмущениями во внешней сети, вызывают сбои в работе производства длительностью от нескольких минут до нескольких часов. В отчётах по расследованию потенциально опасных происшествий, в качестве одной из основных причин наличия такой проблемы отмечается провалы напряжения одновременно сразу по нескольким ЛЭП 110 кВ, при этом резервных источников, остающихся в работе при провалах напряжения, соответствует категории надежности.

Так как внешние сети 110 кВ находятся в ведении предприятия энергосистемы, то проработка мероприятий по снижению аварийных отключений ВЛ-110 кВ «К»-1,2,3,4, «С»-2, «ЭТЗ» должна проводится совместно с предприятием энергосистемы и правительство региона.

При анализе аварийных ситуации в связи с внутренними возмущениями в системе электроснабжения химического предприятия установлено, что причиной возникновения просадки напряжений на шинах 6 кВ, являются проведенные схемно-режимные ситуации в сетях самого предприятия, при этом отсутствие преобразователей частоты на мощных

асинхронных двигателях, приводят к просадке напряжения во время пусковых операций на шинах 6 кВ химического предприятия в схемах.

Необходимо отметить, что в соответствии с Правилами технологического присоединения, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 (далее – Правила технологического присоединения), в составе первой категории надежности выделяют особую категорию энергопринимающих устройств, бесперебойная работа которых необходима для безаварийной остановки производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров. Для энергопринимающих устройств особой категории первой категории надежности должно быть обеспечено наличие автономного резервного источника питания.

Автономные резервные источники питания в случае, если их наличие предусмотрено техническими условиями, подлежат установке владельцем энергопринимающих устройств и технологическому присоединению в порядке, предусмотренном Правилами технологического присоединения. Владелец энергопринимающих устройств обязан поддерживать установленные автономные резервные источники питания в состоянии готовности к использованию при возникновении внеплановых отключений, введении аварийных ограничений режима потребления электрической энергии (мощности) или использовании противоаварийной автоматики.

При анализе карт отказов оборудования и внутренней системы электроснабжения химического предприятия установок, требующих автономные резервные источники питания большой мощности не выявлено. В связи с этим вопрос строительства собственного источника электрической энергии на территории предприятия не рассматривается.

Таблица 10 – Статистика отказов электрооборудования химического предприятия в результате внешних возмущений за 2017 год

Дата	Краткое описание	Отказ по вине	Провалы напряжения по вводам	Ввода резервного питания	Последствия отказа (перечень отключенных технол.объектов)	Остаточное напряжение на БАВР в момент переключения, кВ	Глубина просадки, %	Время срабатывания БАВР, мс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
24.01.2015г	Посадка напряжения на ЛЭП-110кВ «К-1», «К-2», «С-2», «ЭТЗ»	На подстанции 220 кВ отключалась ВЛ 110 кВ Л-1 с успешным АПВ, работала МТЗ 1 ступени.	ГПП-3 Т1, ГПП-4 Т-1; ГПП-2 Т-1; ГПП-1 Т-2; ГПП-1 Т-3	ГПП-1 Т-1, ГПП-4 Т-2; ГПП-2 Т-2; ГПП-3 Т-2; ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1,	Остановка технологического оборудования установок ИП-3; БК-5,8; И-6,8,9; Д-4; Е-2	2.87	45.5	78.3
02.02.2015г	Посадка напряжения на ЛЭП-110кВ «К-1», «К-2», «С-2», «ЭТЗ»	На ПС 220/110кВ «Левобережная» отключилась линия ВЛ-110 кВ «Химзавод-2» из-за ураганного ветра (перехлест проводов)	ГПП-3 Т1, ГПП-4 Т-1; ГПП-2 Т-1; ГПП-1 Т-2; ГПП-1 Т-3	ГПП-1 Т-1, ГПП-4 Т-2; ГПП-2 Т-2; ГПП-3 Т-2; ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1,	Остановка технологического оборудования установок ИП-5,6; БК-5, И-6; Д-6	5.30	84.0	90

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
02.02.2015г	Посадка напряжения на ЛЭП-110кВ «К- 1», «К-2», «С-2», «ЭТЗ»	На ПС 220/110кВ «Левобережная» отключилась линия ВЛ-110 кВ «Химзавод-2» из- за ураганного ветра (перехлест проводов)	ГПП-3 Т1, ГПП-4 Т-1; ГПП-2 Т-1; ГПП-1 Т-2; ГПП-1 Т-3	ГПП-1 Т-1, ГПП-4 Т-2; ГПП-2 Т-2; ГПП-3 Т-2; ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1,	Остановка технологического оборудования установок ИП-3; БК- 5,6, И-6; Д-3-5	2.81	44.6	54.2
12.02.2015г	На ПС 220/110кВ «Васильевская» отключилась линия ВЛ-110 кВ «К-3» с успешным АПВ		ГПП-2 Т-2; ГПП-3 Т-2;	ГПП-1 Т-1, ГПП-1 Т-2, ГПП-1 Т-3; ГПП-2 Т-1; ГПП-3 Т1; ГПП-4 Т-1, ГПП-4 Т-2; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1, ПС 5 Т-3	Остановка технологического оборудования установок ИП-3,4,5; БК-8, И-9; Д-3-5,6	4.80	76.2	90.8

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
06.06.2015г	Посадка напряжения по линии «К-1,2», «С-2»,«ЭТЗ» ЛЭП-110кВ	Производства работ краном под ЛЭП-110 «С-4» с приближением стрелы к токоведущим частям	ГПП-3 Т1, ГПП-4 Т-1; ГПП-2 Т-1; ГПП-1 Т-2; ГПП-1 Т-3	ГПП-1 Т-1, ГПП-4 Т-2; ГПП-2 Т-2; ГПП-3 Т-2; ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1,	Остановка технологического оборудования установок ИП-3,5; И-9; Д-6; ТИБА; ИП- 20-30; Е-8	4.47	71.0	67.5
21.06.2015г	Посадка напряжения по линии К -3,4 ЛЭП-110 кВ	Посадка напряжения во время прохождения грозового фронта	ГПП-1 Т-1; ГПП-2 Т-2, ГПП-3 Т-2, ГПП-4 Т-2	ГПП-1 Т-2, ГПП-1 Т-3; ГПП-2 Т-1; ГПП-3 Т1; ГПП-4 Т-1, ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1,	Остановка технологического оборудования установок БК-5, И- 6,9; Е-1	5.00	79.4	50

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18.07.2015г	Отключение линии К -3 ЛЭП- 110кВ с успешным АПВ (3-4сек)	ПС «Васильевская» отключение шинносоединител ьного выключателя 1 и 3 секции 110 кВ от защит.	ГПП-2 Т-2, ГПП-3 Т-2,	ГПП-1 Т-1, ГПП-1 Т-2, ГПП-1 Т-3; ГПП-2 Т-1; ГПП-3 Т1; ГПП-4 Т-1, ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1, ПС 5 Т-3	Остановка технологического оборудования установок ; БК-3, И- 6; Д-4,6; Е-1; Д-1-И-1	4.78	75.9	61.7
05.08.2015г	Отключение линии «К-1», «С- 2» ЛЭП-110 кВ с успешным АПВ	Отключения линии 110 кВ «Город 32» с успешным АПВ	ГПП-3 Т1, ГПП-4 Т-1; ГПП-2 Т-1; ГПП-1 Т-2;	ГПП-1 Т-1, ГПП-1 Т-3; ГПП-4 Т-2; ГПП-2 Т-2; ГПП-3 Т-2; ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1, ПС 5 Т-3	Остановка технологического оборудования установок нет	5.45	86.6	79.2

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
31.08.2015г	Отключение ЛЭП-110 кВ «К-3», «К-4»	ПС «Васильевская» отключение ЛЭП -110 кВ «К-3» и секции 110 кВ от защит.	ГПП-1 Т-1; ГПП-2 Т-2, ГПП-3 Т-2, ГПП-4 Т-2	ГПП-1 Т-2, ГПП-1 Т-3; ГПП-2 Т-1; ГПП-3 Т1; ГПП-4 Т-1, ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 5 Т-3 ПС 4 Т-1	Частичная остановка технологического оборудования установок БК-4,5,6,8; Д-3-5, Д-4, Д-6, Е-1,2,8, ЦВВ,ТТЦ	1.00	15.9	80.8
03.10.2015г	Посадка напряжения по линии «К-1», СК-18,19,27,28,49	На ПС 220/110кВ «Левобережная» отключилась линия ВЛ-110 кВ «Химзавод-2» из-за ураганного ветра (перехлест проводов)	ГПП-3 Т-1, ГПП-4 Т-1	ГПП-1 Т-1 ГПП-1 Т-2, ГПП-1 Т-3; ГПП-2 Т-1 ГПП-2 Т-2; ГПП-3 Т2; ГПП-4 Т-2, ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1 ПС 5 Т-3	Остановка технологического оборудования цехов ЦВВ, ПС 3 №2, Д-1-И-1, Д-1а.	4.89	77.6	81.2

Таблица 11 – Статистика отказов электрооборудования химического предприятия в результате внешних возмущений за 2016 год

Дата	Краткое описание	Отказ по вине	Провалы напряжения по вводам	Ввода резервного питания	Последствия отказа (перечень отключенных технол.объектов)	Остаточное напряжение на БАВР в момент переключения, кВ	Глубина просадки, %	Время срабатывания БАВР, мс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
30.05.2016г	Отключение линии "К-1" по земленной защите, с последующим падением напряжения на ЛЭП-110 кВ "К-2", "С-2", "ЭТЗ" и линий генераторного напряжения 6кВ "СК-49", "СК-19", с успешным АПВ (3-4 сек)	Срабатывание МТЗ на ТoТЭЦ из-за птиц	ГПП-3 Т1, ГПП-4 Т-1; ГПП-2 Т-1; ГПП-1 Т-2; ГПП-1 Т-3	ГПП-1 Т-1, ГПП-4 Т-2; ГПП-2 Т-2; ГПП-3 Т-2; ПС 5 ТЗ; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1 ПС 5 Т-3	Е-1: Н-65/1, 65/3; Е-2: Н55/2, сушильный агрегат №5,6; Д-4: Н-224/1, 215/2; ИП-3 Н-102/2, 104/2; БК-4 Н-2/2; БК-6 ЛК-4/2, 703; Д-1а: Н-11/3, 11/1	4.87	77.3	40

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
20.07.2016г	Отключение линии "К-1"с успешным АПВ (3-4 сек), с последующим падением напряжения на ЛЭП-110 кВ "К- 2", "С-2", "ЭТЗ".	Срабатывание 33 на ТоТЭЦ	ГПП-3 Т1, ГПП-4 Т-1; ГПП-2 Т-1; ГПП-1 Т-2; ГПП-1 Т-3	ГПП-1 Т-1, ГПП-4 Т-2; ГПП-2 Т-2; ГПП-3 Т-2; ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1 ПС 5 Т-3	Д-1А: Н-11/2, Д-6: Н24/3, ИП-6 701/3;ЦВВ: воздуходувки АД- 1,СД-8, иловая насосная: Н-1; насосная №4: Н-1, вторичные отстойники 14,15; насосная №3: Н - 15, вторичные отстойники 12,13; насосная доочистки: барабанные сетки 1,2,3.	5.26	83.5	70

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
08.09.2016г	Посадка напряжения на линии 110кВ К-2 Т-2 "Энергетика и связь строительство" с успешным АПВ (3-4сек). Сработала защита "ТО" и "ТЗНП- 1ступени" ,	Срабатывание защиты ТО и ТЗнП на ЭСнС из-за грозы	ПС 5 Т-3	ГПП-1 Т- 1ГПП-1 Т- 2,ГПП-1 Т- 3;ГПП-2 Т- 1ГПП-2 Т- 2;ГПП-3 Т- 1,ГПП-3 Т2;ПП-4 Т-1, ГПП-4 Т- 2,ПС 3 Т- 2;ПС 4 Т-1	Производство СБСК установка Е-2 сушилка №5, отжимная машина №5, мешалка Л-1/6, Е-1 Н-48/2, Н65/2.	4.69	74.4	160
22.09.2016г	Отключилась линия Жигулёвских электросетей 110кВ "ПС 4 -3" по ТК (ТС) прошла просадка напряжения по линиям 110кВ Ст- 2,ЭТЗ, К 1,	Срабатывание защит со стороны Левобережная - 1			Е-1: Н-48/1 Д-4: Н- 24/6, 15/4;Д-6:Н- 24/1,24 ИП-3 Н- 102/2, 116/2,104/2,118; БК- 6 А- 803; Д-1а: Н- 11/3, 2/1;44насосная - Н-6,ЦВВ втор.отст. №14.	3.68	58.4	60

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
29.09.2016г	Отключилась линия сетей 110кВ Энергетика связь строительство "Стройбаза" по ТК(ТС) прошла просадка напряжения по линиям 110кВ Ст- 2, К 1, К 2.	Срабатывание МТЗ на линии	ГПП-1 Т-2, ГПП-3 Т-1, ГПП-4 Т-1, ГПП-2 Т-1.	ГПП-2 Т-1, ГПП-3 Т-2, ГПП-1 Т-1, ГПП-1 Т-3, ГПП-4 Т-2, ПС 3 Т-2; ПС 4 Т-1, ПС 5 Т-3	нет	5.39	85.6	45

Таблица 12 – Статистика отказов электрооборудования химического предприятия в результате внешних возмущений за 3 квартала 2017 года

Дата	Краткое описание	Отказ по вине	Провалы напряжения по вводам	Ввода резервного питания	Последствия отказа (перечень отключенных технол.объектов)	Остаточное напряжение на БАВР в момент переключения, кВ	Глубина просадки, %	Время срабатывания БАВР, мс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
06.05.2017г	Прерывание напряжения на питающих линиях 110кВ «К-3», «К-4».	Повреждение ввода фазы А на шинном соединителе ШСМВ 110-2 ПС "Васильевская" Жигулевского ПО.	ГПП-1 Т-1; ГПП-2 Т-2, ГПП-3 Т-2, ГПП-4 Т-2	ГПП-1 Т-2, ГПП-1 Т-3; ГПП-2 Т-1; ГПП-3 Т1; ГПП-4 Т-1, ПС 5 Т3; СК-ПС 3 Т-2; ПС 5 Т-3 ПС 4 Т-1	Е-1: Н250/3, Н58/2, Н117/2, Н65/13, М58/2; Цех Е-2: Н2/3; Цех Д-3-5: Н134/1, Н116/2; Н41/2, Н134/1; Цех Д-4: Н106/1, Н113/2, Н93/1; Цех Д-6: Н23/4, Н8/1; 17 ОТД.: 40/4; Цех И-6: Н183/4; Н74/1; Н74/4; Н181/4; Н98А/1; Н143/1; Цех И-9: Н182/1, Н195/3; Н51Б/3; Н31/2; Н147/3; Н324/2; Н58/3; Н59/5, Н110А/1; Н212/3;	информация отсутствует	информация отсутствует	информация отсутствует

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
					Н128/1; Н122/1; Цех И-3: Н213/1; пс13/2; Цех ИП-3: Н104/1, Н118, Н133/1; Цех ИП-6: Н719/1, Н142А/6, М209/2, М209/4, ЛК-8/2, ПС16, Цех БК-3: ТК403-1, Цех БК-4: Н17/3, Н59/1, Цех БК-5: Н72/2, Н72/3, Н150/2, Н281/1, Н125А/1, Н116В/1, Цех БК-6: ЛК-4/1, ВЕЛДИНГ, Л-722Б, Цех БК-8: ТК317/4; Цех Д-1: Н6/3, К№1; ЦВВ: СД-7, Н2, Н3, Н16, Н10, Н5, Н7, Н1			

Таблица 13 – Статистика отказов электрооборудования химического предприятия в результате внутренних возмущений за 3 квартала 2017 года

Дата	Краткое описание	Отказ по вине	Последствия отказа (перечень отключенных технол.объектов)	Остаточное напряжение на БАВР в момент переключения, кВ	Глубина просадки, %	Время срабатывания БАВР, мс
14.04.2017г	При пуске ТК-300/4 мощностью 3,3 МВт установки БК-8 произошло снижение напряжение на 4СШ ГПП-3, что привело к срабатыванию.	При переводе питания технологических установок производств СБСК и Б и ДВМ с линии 110кВ «К-3», на линию 110кВ «С-2»,	Е-1; Д-3-5; Д-4; Д-6.	4,3	68,3	информация отсутствует

		увеличилась				
--	--	-------------	--	--	--	--

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5	6	7
	БАВР на ПС44, ПС16, ПС9 и к срабатыванию ЗМН на электродвигателях	нагрузка на Т-2 ГПП-1, что привело к снижению напряжения на секции шин на ГПП-3, ГПП-1 до значений (U=4.3кВ) в момент пуска ТК-300/4.				

2.1 Модели для расчётов электромеханических переходных процессов

Модели для расчётов электромеханических переходных процессов разработаны в среде ПК EnergyCS и в среде MATLAB/Simulink на основе цифровых моделей для расчёта установившихся режимов работы системы электроснабжения.

Для формирования моделей для анализа электромеханических переходных процессов, использовались следующие исходные данные:

- Паспортные данные электродвигателей химического предприятия;
- Данные по оборудованию понизительных подстанций, от которых запитано химическое предприятие.

В цифровой модели для расчётов электромеханических переходных процессов подробно представлены все синхронные и асинхронные двигатели на напряжение 6 кВ. Подстанции и шины расположенной вблизи химического предприятия электростанции (ТЭЦ) от которой частично запитано рассматриваемое химическое предприятие представлены в цифровой модели эквивалентами с обобщенными параметрами.

Схемы внутреннего электроснабжения химического предприятия развёрнуты до уровня шин НН 0,4 кВ, при этом, высоковольтные асинхронные двигатели, подключённые к шинам 6 кВ, смоделированы подробно в полном объёме. Синхронные двигатели на стороне 6 кВ заданы подробными моделями синхронных машин с обобщёнными параметрами, соответствующими данным о номинальной мощности, классу номинального напряжения и номинальной скорости вращения. Двигательная нагрузка, подключённая к шинам НН цеховых трансформаторных подстанций, представлена эквивалентными моделями. В таблице 14 представлен перечень асинхронных двигателей, отображённых в разработанной цифровой модели своими полными моделями с индивидуальными параметрами.

Таблица 14 – Паспортные данные синхронных двигателей

	Тип двигателя	U _{ном} , кВ	P _{ном} , кВт	cosφ _н	n, об/мин	КПД, %	I _п /I _н	M _п /M _н	R _{ст} , о.е.	X _d ", о.е.	X ₂ , о.е.
1	СД-12-24-6А	0.38	300	0.9	1000	92	6	1.4	0.0225	0.167	0
2	СТД-800-23	6	800	0.9	3000	94	6	1.8	0.06	0.4	0.4
3	СТМ 1500-2	6	1500	0.9	3000	96.6	6.7	2.4	0.03	0.2	0.2
4	СТД-1600-2	6	1600	0.9	3000	96.9	6.79	2.16	0.03	0.2	0.2
5	СД-12-42-4	6	500	0.9	1500	93.5	7	1.5	0.0225	0.143	0
6	1Е ВОЕ -136- 55-4	6	1600	0.9	1500	96	6	2.2	0.03	0.2	0.2
7	1Е ВОЕ 136- 72-4	6	2500	0.9	1500	96	6	2.2	0.019	0.128	0.2
8	1Е ВОЕ 136- 74-4	6	2900	0.9	1500	96	7	2.2	0.0166	0.11	0.11
9	1Е ВОЕ 155- 75-4	6	4300	0.9	1500	95	7	2.4	0.0112	0.0744	0.0744
10	СДН-15-496	6	2000	0.9	1000	95.9	5.5	1	0.0225	0.181	0
11	СДН-15-49/8	6	1600	0.9	750	95.6	2	7	0.03	0.2	0.2
12	СДН-16-80-8	6	4000	0.9	750	96.7	6.5	1.3	0.0225	0.154	0
13	СДКП2-16-24	6	315	0.9	500	92.2	5.5	1.1	0.152	1.02	1.02
14	ДСК173/16- 16М	6	315	0.8	375	92	5.5	1.4	0.152	1.02	1.02
15	ДСКП260-24- 36	6	630	0.85	167	92	6.4	2.1	0.076	0.508	0.508
16	СДН-18-71-12	10	5000	0.9	500	96.2	5.9	0.8	0.0225	0.169	0.169

2.2 Исследования установившихся электрических режимов и статической устойчивости

В настоящем разделе рассмотрены установившиеся и возможные послеаварийные электрические режимы системы электроснабжения, обусловленные нормативными возмущениями в схеме внешнего электроснабжения химического предприятия.

Целью расчётов, установившихся и послеаварийных электрических режимов системы электроснабжения является определение:

- Достаточности регулировочного диапазона ТЭЦ;
- Достаточности регулировочного диапазона по реактивной мощности генерирующего оборудования ТЭЦ;
- Достаточности мероприятий по ликвидации нормативных возмущений во внешней сети химического предприятия при нормативных возмущениях согласно методическим указаниям по устойчивости систем электроснабжения [19];
- Достаточности средств компенсации реактивной мощности в электрических сетях химического предприятия;
- Необходимости введения сетевых ограничений по критерию длительно допустимой токовой загрузки.

Основной целью проведения расчётов статической устойчивости является определение предельного напряжения статической устойчивости ($U_{СТ}$). При условии, что напряжение сети ($U_{сет}$) больше предельного напряжения статической устойчивости, т.е. $U_{сет} > U_{СТ}$ нарушения статической устойчивости происходить не будет, электротехническая система будет работать с пониженным напряжением. При условии $U_{сет} < U_{СТ}$ будет происходить нарушение статической устойчивости по напряжению (лавинообразное снижение напряжения).

Со стороны Заказчика в качестве исходных данных для расчётов электрических режимов и определения $U_{СТ}$ были предоставлены:

- Схема нормальных соединений химического предприятия;

- Паспортные данные электротехнического оборудования.

Со стороны заказчика дополнительно были использованы данные из «Схемы и программы развития Самарской энергосистемы на 2017-2023 гг.», которая представлена на сайте Министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Самарской области [20].

В результате проведенного моделирования была установлена, что мероприятий во внешней схеме электроснабжения для обеспечения статической устойчивости достаточно.

При определении статической устойчивости расчётным путем установлено предельного значения напряжения статической устойчивости $U_{СТ}$, которое справедливо для всех рассматриваемых схемно-режимных ситуаций и равно $U_{СТ}=5,54$ кВ.

При снижении напряжения выше указанного значения будет происходить нарушение статической устойчивости.

В среде ПК EnergyCS были рассчитаны установившиеся режимы для различных уровней напряжения внешней сети, при обеспечении статической устойчивости, результаты расчетов занесены в таблицы.1-3.

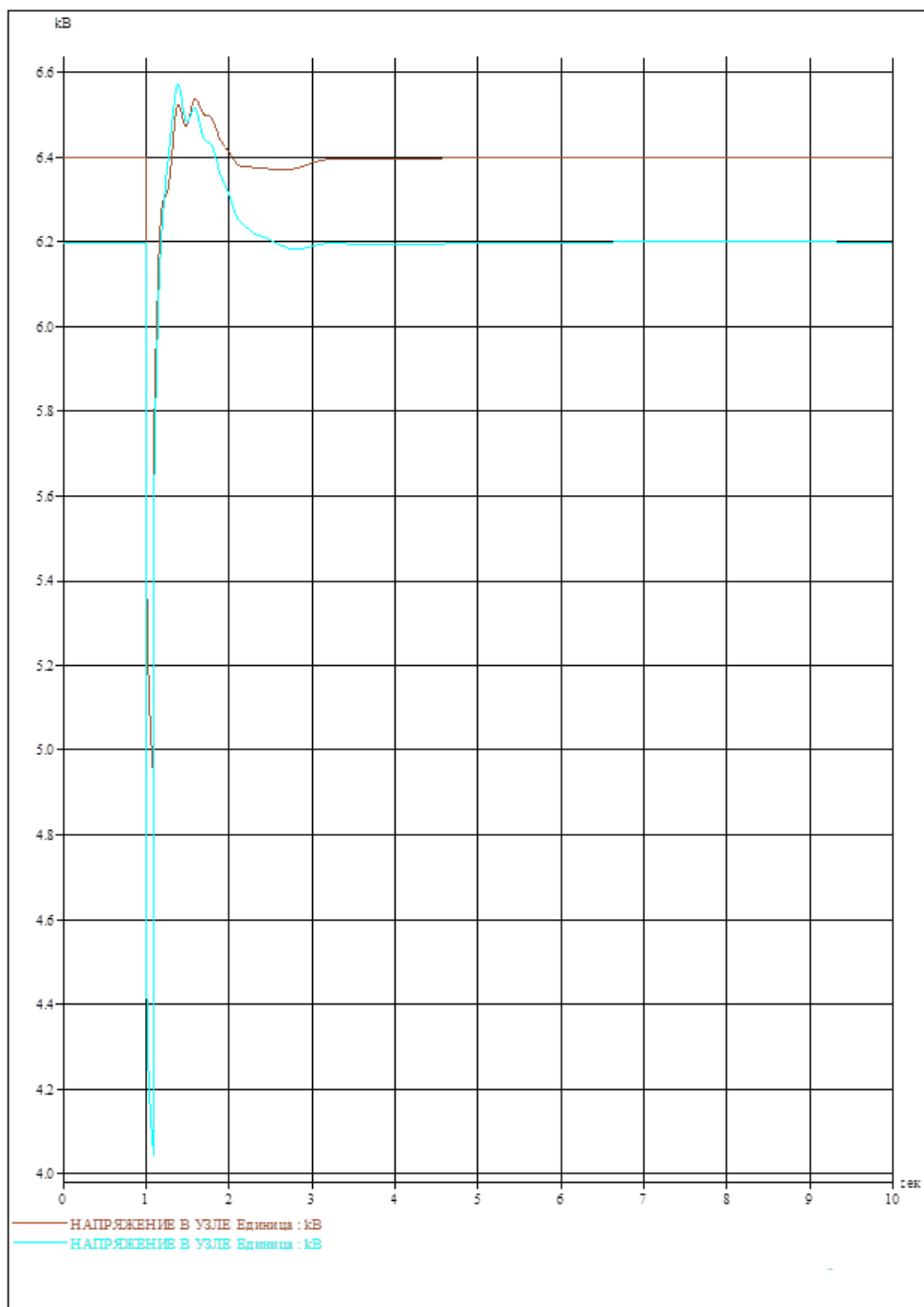


Рисунок 2 – Снижение напряжения на шинах 6 кВ химического предприятия

Таблица 15 – Расчет узловых напряжений при установившемся режиме ГПП-1 химического предприятия при U=115 кВ

Номер узла в модели	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование узла
1	2	3	4	5
1	115	4,55	0	"Васил"
2	114	3,97	-0,234	ГПП-1/110
3	6,29	4,78	-3,88	ГПП-1/6
4	6,19	3,13	-5,34	ГПП-1/6-1
5	6,17	2,8	-5,33	ГПП-1/6-2
8	6,19	3,12	-5,34	ПС-7 1С
10	6,19	3,12	-5,34	ПС-7, Т5
11	0,412	8,55	-5,34	ПС-7, Т5
12	6,19	3,12	-5,34	ПС-7, Т3
13	0,412	8,55	-5,34	ПС-7, Т3
14	6,19	3,12	-5,34	ПС-7, Т1
15	0,412	8,55	-5,34	ПС-7, Т1
16	6,18	2,96	-5,34	ПС-36 3С
17	6,18	2,96	-5,34	ПС-65, Т1
18	6,17	2,83	-5,35	СД-1-2500, ИП
19	6,17	2,9	-5,34	СД-2-1500, ИП
20	0,412	8,38	-5,34	ПС-65, Т1
21	6,17	2,81	-5,34	ПС-18 2С
22	6,17	2,81	-5,34	ПС-18, Т2
23	6,16	2,73	-5,32	СД-38, ИЗ
24	6,16	2,72	-5,32	СД-36, ИЗ
25	6,16	2,7	-5,32	СД-35, ИЗ
26	6,15	2,5	-5,32	АД-20/2, И-18
27	6,17	2,8	-5,34	ПС-22, Т3
28	6,17	2,81	-5,34	ПС-25, Т2
29	6,17	2,8	-5,34	ПС-19, Т4
30	6,17	2,8	-5,34	ПС-19, Т2
31	0,411	8,22	-5,34	ПС-18, Т2
32	0,411	8,21	-5,34	ПС-22, Т3
33	0,411	8,22	-5,34	ПС-25, Т2
34	0,411	8,22	-5,34	ПС-19, Т4
35	0,411	8,22	-5,34	ПС-19, Т2
36	6,19	3,13	-5,35	ПС-26 1С
37	6,19	3,13	-5,34	ПС-56, Т2
38	6,19	3,13	-5,34	ПС-56, Т1
39	6,19	3,13	-5,35	ПС-26, Т1
40	6,19	3,13	-5,35	ПС-26, Т3
41	6,19	3,13	-5,34	ПС-47, Т3
42	6,19	3,13	-5,34	ПС-47, Т5

Продолжение таблицы 15

Номер узла в модели	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование узла
1	2	3	4	5
43	6,19	3,13	-5,34	ПС-47, T1
44	0,413	8,56	-5,34	ПС-56, T2
45	0,413	8,55	-5,34	ПС-56, T1
46	0,413	8,56	-5,35	ПС-26, T1
47	0,413	8,56	-5,35	ПС-26, T3
48	0,413	8,56	-5,34	ПС-47, T3
49	0,413	8,55	-5,34	ПС-47, T5
50	0,413	8,56	-5,34	ПС-47, T1
51	6,19	3,13	-5,35	ПС -34 1С
52	6,19	3,13	-5,34	ПС-32, T1
54	0,413	8,56	-5,34	ПС-32, T1
55	6,19	3,13	-5,34	ПС-32, T3
56	0,413	8,56	-5,34	ПС-32, T3
57	6,19	3,13	-5,34	ПМС-31, T1
58	6,19	3,13	-5,34	ПС-27, T5
59	0,413	8,56	-5,34	ПС-27, T5
60	0,413	8,56	-5,34	ПС-31, T1
61	6,15	2,55	-5,31	ПС-35 1С
62	6,17	2,8	-5,33	ПС-36 2С
63	6,14	2,4	-5,3	ПС-51 1С
64	6,17	2,8	-5,33	ПС-93, T1
65	0,411	8,21	-5,33	ПС-93, T1
66	6,14	2,4	-5,29	ТП-1-3/1
67	6,14	2,39	-5,29	Т-1-3/2
68	0,41	7,79	-5,29	Т-1-3/1
69	0,41	7,78	-5,29	Т-1-3/2
70	6,14	2,33	-5,29	АД-42-2,ц17
71	6,14	2,4	-5,3	
72	6,14	2,32	-5,28	СД-21,Д-7-17
73	6,14	2,4	-5,3	ПС-51, T1
74	0,41	7,79	-5,3	ПС-51, T1
75	6,14	2,4	-5,3	ПС-1, T1
76	0,41	7,79	-5,3	ПС-1, T1
77	6,14	2,34	-5,28	СД-11, ц17
78	6,14	2,31	-5,29	АД-27-2, ц17
79	6,14	2,34	-5,29	СД-9, ц17
80	6,17	2,8	-5,33	ПС-36, T1
81	0,411	8,21	-5,33	ПС-36, T1
82	6,17	2,8	-5,33	ПС-27, T2
83	0,411	8,21	-5,33	ПС-27, T2

Продолжение таблицы 15

Номер узла в модели	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование узла
1	2	3	4	5
84	6,17	2,8	-5,33	ПС-27, Т4
85	0,411	8,21	-5,33	ПС-27, Т4
86	6,17	2,8	-5,33	ПС-37, Т1
87	0,411	8,21	-5,33	ПС-37, Т1
88	6,15	2,54	-5,3	ПС-59, Т1
89	0,41	7,94	-5,3	РПС-59, Т1
90	6,15	2,45	-5,28	АД-4,Н/с127
91	6,15	2,46	-5,28	АД-3,Н/с127
92	6,15	2,51	-5,3	АД-12,Н/с127
93	6,15	2,51	-5,3	АД-13,Н/с127
94	6,15	2,51	-5,3	ПС-39 2С
95	6,14	2,37	-5,28	АД-4,ИП-2
96	6,14	2,38	-5,28	АД-6,ИП-2
97	6,15	2,51	-5,3	ПС-39,Т2
98	0,41	7,91	-5,3	ПС-39,Т2
99	6,15	2,51	-5,3	ПС-82,Т2
100	0,41	7,91	-5,3	ПС-82,Т2
101	6,17	2,81	-5,34	ПС-2,2С
102	6,17	2,8	-5,34	ПС-22,Т1
103	0,411	8,21	-5,34	ПС-22,Т1
104	6,19	3,09	-5,34	АД-24,Е-2
105	6,14	2,39	-5,3	ПС-51,3С
106	6,14	2,39	-5,3	ПС-1,Т2
107	0,41	7,78	-5,3	ПС-1,Т2
108	6,14	2,39	-5,3	ТП-4
109	0,41	7,78	-5,3	ТП-4
110	6,14	2,39	-5,3	ПС-51,Т3
111	0,41	7,78	-5,3	ПС-51,Т3
112	6,14	2,34	-5,29	СД-8,ц17
113	6,14	2,34	-5,29	СД-13,ц17
114	6,14	2,3	-5,29	АД-27-3,ц17
115	6,14	2,33	-5,28	СД-20,Д-7-17
116	6,15	2,55	-5,31	В-1 МК"Цен"

Таблица 16 – Расчет узловых напряжений при установившемся режиме ГПП-1 химического предприятия при U=109 кВ

Номер узла в модели	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование
1	2	3	4	5
1	109	-0,909	0	"Васильевская"
2	108	-1,52	-0,26	ГПП-1/110
3	5,93	-1,25	-4,15	ГПП-1/6
4	5,82	-3,01	-5,64	ГПП-1/6-1
5	5,8	-3,33	-5,63	ГПП-1/6-2
8	5,82	-3,02	-5,64	ПС-7 1С
10	5,82	-3,02	-5,64	ПС-7,Т5
11	0,388	2,08	-5,64	ПС-7,Т5
12	5,82	-3,02	-5,64	ПС-7,Т3
13	0,388	2,08	-5,64	ПС-7,Т3
14	5,82	-3,02	-5,64	ПС-7,Т1
15	0,388	2,08	-5,64	ПС-7,Т1
16	5,81	-3,19	-5,63	ПС-36 3С
17	5,81	-3,19	-5,63	ПС-65,Т1
18	5,8	-3,33	-5,65	СД-1-2500,ИП
19	5,8	-3,26	-5,63	СД-2-1500,ИП
20	0,387	1,91	-5,63	ПС-65,Т1
21	5,8	-3,34	-5,63	ПС-18 2С
22	5,8	-3,34	-5,63	ПС-18,Т2
23	5,79	-3,43	-5,61	СД-38,ИЗ
24	5,79	-3,44	-5,61	СД-36,ИЗ
25	5,79	-3,46	-5,6	СД-35,ИЗ
26	5,78	-3,66	-5,61	АД-20/2,И-18
27	5,8	-3,34	-5,63	ПС-22,Т3
28	5,8	-3,34	-5,63	ПС-25,Т2
29	5,8	-3,34	-5,63	ПС-19,Т4
30	5,8	-3,34	-5,63	ПС-19,Т2
31	0,387	1,75	-5,63	ПС-18,Т2
32	0,387	1,74	-5,63	ПС-22,Т3
33	0,387	1,75	-5,63	ПС-25,Т2
34	0,387	1,75	-5,63	ПС-19,Т4
35	0,387	1,75	-5,63	ПС-19,Т2

Продолжение таблицы 16

Номер узла в модели	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование
1	2	3	4	5
36	5,82	-3,01	-5,64	ПС-26 1С
37	5,82	-3,01	-5,63	ПС-56,Т2
38	5,82	-3,02	-5,63	ПС-56,Т1
39	5,82	-3,01	-5,64	ПС-26,Т1
40	5,82	-3,01	-5,64	ПС-26,Т3
41	5,82	-3,01	-5,63	ПС-47,Т3
42	5,82	-3,02	-5,63	ПС-47,Т5
43	5,82	-3,01	-5,63	ПС-47,Т1
44	0,388	2,09	-5,63	ПС-56,Т2
45	0,388	2,09	-5,63	ПС-56,Т1
46	0,388	2,09	-5,64	ПС-26,Т1
47	0,388	2,09	-5,64	ПС-26,Т3
48	0,388	2,09	-5,63	ПС-47,Т3
49	0,388	2,09	-5,63	ПС-47,Т5
50	0,388	2,09	-5,63	ПС-47,Т1
51	5,82	-3,01	-5,64	ПС -34 1С
52	5,82	-3,01	-5,63	ПС-32,Т1
54	0,388	2,09	-5,63	ПС-32,Т1
55	5,82	-3,01	-5,63	ПС-32,Т3
56	0,388	2,09	-5,63	ПС-32,Т3
57	5,82	-3,01	-5,64	ПМС-31,Т1
58	5,82	-3,01	-5,64	ПС-27,Т5
59	0,388	2,09	-5,64	ПС-27,Т5
60	0,388	2,09	-5,64	ПС-31,Т1
61	5,78	-3,59	-5,6	ПС-35 1С
62	5,8	-3,33	-5,63	ПС-36 2С
63	5,78	-3,74	-5,59	ПС-51 1С
64	5,8	-3,33	-5,63	ПС-93,Т1
65	0,387	1,76	-5,63	ПС-93,Т1
66	5,78	-3,74	-5,58	ТП-1-3/1
67	5,78	-3,74	-5,58	Т-1-3/2
68	0,385	1,32	-5,58	Т-1-3/1
69	0,385	1,32	-5,58	Т-1-3/2
70	5,77	-3,82	-5,58	АД-42-2,ц17

Продолжение таблицы 16

Номер узла в модели	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование
1	2	3	4	5
71	5,78	-3,74	-5,59	
72	5,77	-3,82	-5,57	СД-21,Д-7-17
73	5,78	-3,74	-5,59	ПС-51,Т1
74	0,385	1,33	-5,59	ПС-51,Т1
75	5,78	-3,74	-5,59	ПС-1,Т1
76	0,385	1,33	-5,59	ПС-1,Т1
77	5,77	-3,81	-5,57	СД-11,ц17
78	5,77	-3,83	-5,58	АД-27-2,ц17
79	5,77	-3,8	-5,58	СД-9,ц17
80	5,8	-3,33	-5,63	ПС-36,Т1
81	0,387	1,76	-5,63	ПС-36,Т1
82	5,8	-3,33	-5,62	ПС-27,Т2
83	0,387	1,76	-5,62	ПС-27,Т2
84	5,8	-3,33	-5,62	ПС-27,Т4
85	0,387	1,76	-5,62	ПС-27,Т4
86	5,8	-3,33	-5,62	ПС-37,Т1
87	0,387	1,75	-5,62	ПС-37,Т1
88	5,78	-3,6	-5,59	ПС-59,Т1
89	0,386	1,48	-5,6	РПС-59,Т1
90	5,78	-3,7	-5,57	АД-4,Н/с127
91	5,78	-3,69	-5,58	АД-3,Н/с127
92	5,78	-3,63	-5,59	АД-12,Н/с127
93	5,78	-3,63	-5,59	АД-13,Н/с127
94	5,78	-3,62	-5,6	ПС-39 2С
95	5,77	-3,78	-5,57	АД-4,ИП-2
96	5,77	-3,77	-5,57	АД-6,ИП-2
97	5,78	-3,62	-5,6	ПС-39,Т2
98	0,386	1,45	-5,6	ПС-39,Т2
99	5,78	-3,63	-5,59	ПС-82,Т2
100	0,385	1,45	-5,59	ПС-82,Т2
101	5,8	-3,34	-5,63	ПС-2,2С
102	5,8	-3,34	-5,63	ПС-22,Т1
103	0,387	1,75	-5,63	ПС-22,Т1

Продолжение таблицы 16

Номер узла в модели	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование
1	2	3	4	5
104	5,82	-3,06	-5,63	АД-24,Е-2
105	5,78	-3,74	-5,59	ПС-51,3С
106	5,78	-3,74	-5,59	ПС-1,Т2
107	0,385	1,32	-5,59	ПС-1,Т2
108	5,78	-3,74	-5,59	ТП-4
109	0,385	1,32	-5,59	ТП-4
110	5,78	-3,74	-5,59	ПС-51,Т3
111	0,385	1,32	-5,59	ПС-51,Т3
112	5,77	-3,8	-5,58	СД-8,ц17
113	5,77	-3,8	-5,58	СД-13,ц17
114	5,77	-3,84	-5,58	АД-27-3,ц17
115	5,77	-3,81	-5,57	СД-20,Д-7-17
116	5,78	-3,59	-5,6	В-1 МК"Цен"

Таблица 17 – Расчет узловых напряжений при установившемся режиме ГПП-1 химического предприятия при $U=105$ кВ

Номер узла	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование
1	2	3	4	5
1	105	-4,55	0	"Васил"
2	104	-5,15	-0,284	ГПП-1/110
3	5,7	-4,98	-4,35	ГПП-1/6
4	5,6	-6,71	-5,85	ГПП-1/6-1
5	5,58	-7,03	-5,84	ГПП-1/6-2
8	5,6	-6,72	-5,85	ПС-7 1С
10	5,6	-6,72	-5,85	ПС-7,Т5
11	0,373	-1,81	-5,85	ПС-7,Т5
12	5,6	-6,72	-5,85	ПС-7,Т3
13	0,373	-1,81	-5,85	ПС-7,Т3
14	5,6	-6,72	-5,85	ПС-7,Т1
15	0,373	-1,81	-5,85	ПС-7,Т1
16	5,59	-6,89	-5,85	ПС-36 3С
17	5,59	-6,89	-5,85	ПС-65,Т1
18	5,58	-7,04	-5,86	СД-1-2500,ИП
19	5,58	-6,96	-5,85	СД-2-1500,ИП
20	0,372	-1,99	-5,85	ПС-65,Т1

Продолжение таблицы 17

Номер узла	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование
1	2	3	4	5
21	5,58	-7,04	-5,84	ПС-18 2С
22	5,58	-7,04	-5,84	ПС-18,Т2
23	5,57	-7,13	-5,82	СД-38,И3
24	5,57	-7,14	-5,82	СД-36,И3
25	5,57	-7,16	-5,81	СД-35,И3
26	5,56	-7,38	-5,82	АД-20/2,И-18
27	5,58	-7,05	-5,84	ПС-22,Т3
28	5,58	-7,04	-5,84	ПС-25,Т2
29	5,58	-7,05	-5,84	ПС-19,Т4
30	5,58	-7,05	-5,84	ПС-19,Т2
31	0,372	-2,15	-5,84	ПС-18,Т2
32	0,372	-2,15	-5,84	ПС-22,Т3
33	0,372	-2,15	-5,84	ПС-25,Т2
34	0,372	-2,15	-5,84	ПС-19,Т4
35	0,372	-2,15	-5,84	ПС-19,Т2
36	5,6	-6,71	-5,85	ПС-26 1С
37	5,6	-6,72	-5,85	ПС-56,Т2
38	5,6	-6,72	-5,85	ПС-56,Т1
39	5,6	-6,72	-5,85	ПС-26,Т1
40	5,6	-6,72	-5,85	ПС-26,Т3
41	5,6	-6,72	-5,85	ПС-47,Т3
42	5,6	-6,72	-5,85	ПС-47,Т5
43	5,6	-6,72	-5,85	ПС-47,Т1
44	0,373	-1,81	-5,85	ПС-56,Т2
45	0,373	-1,81	-5,85	ПС-56,Т1
46	0,373	-1,81	-5,85	ПС-26,Т1
47	0,373	-1,81	-5,85	ПС-26,Т3
48	0,373	-1,81	-5,85	ПС-47,Т3
49	0,373	-1,81	-5,85	ПС-47,Т5
50	0,373	-1,81	-5,85	ПС-47,Т1
51	5,6	-6,72	-5,85	ПС -34 1С
52	5,6	-6,72	-5,85	ПС-32,Т1
54	0,373	-1,81	-5,85	ПС-32,Т1
55	5,6	-6,72	-5,85	ПС-32,Т3
56	0,373	-1,81	-5,85	ПС-32,Т3
57	5,6	-6,72	-5,85	ПМС-31,Т1
58	5,6	-6,72	-5,85	ПС-27,Т5
59	0,373	-1,81	-5,85	ПС-27,Т5
60	0,373	-1,81	-5,85	ПС-31,Т1
61	5,56	-7,29	-5,81	ПС-35 1С

Продолжение таблицы 17

Номер узла	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование
1	2	3	4	5
62	5,58	-7,03	-5,84	ПС-36 2С
63	5,55	-7,43	-5,81	ПС-51 1С
64	5,58	-7,03	-5,84	ПС-93,Т1
65	0,372	-2,13	-5,84	ПС-93,Т1
66	5,55	-7,44	-5,8	ТП-1-3/1
67	5,55	-7,44	-5,79	Т-1-3/2
68	0,37	-2,57	-5,8	Т-1-3/1
69	0,37	-2,57	-5,79	Т-1-3/2
70	5,55	-7,51	-5,79	АД-42-2,ц17
71	5,55	-7,43	-5,81	
72	5,55	-7,52	-5,78	СД-21,Д-7-17
73	5,55	-7,43	-5,81	ПС-51,Т1
74	0,37	-2,56	-5,81	ПС-51,Т1
75	5,55	-7,43	-5,81	ПС-1,Т1
76	0,37	-2,56	-5,81	ПС-1,Т1
77	5,55	-7,5	-5,79	СД-11,ц17
78	5,55	-7,53	-5,79	АД-27-2,ц17
79	5,55	-7,5	-5,79	СД-9,ц17
80	5,58	-7,03	-5,84	ПС-36,Т1
81	0,372	-2,13	-5,84	ПС-36,Т1
82	5,58	-7,03	-5,84	ПС-27,Т2
83	0,372	-2,14	-5,84	ПС-27,Т2
84	5,58	-7,03	-5,84	ПС-27,Т4
85	0,372	-2,14	-5,84	ПС-27,Т4
86	5,58	-7,03	-5,83	ПС-37,Т1
87	0,372	-2,14	-5,83	ПС-37,Т1
88	5,56	-7,29	-5,81	ПС-59,Т1
89	0,371	-2,41	-5,81	РПС-59,Т1
90	5,56	-7,4	-5,78	АД-4,Н/с127
91	5,56	-7,39	-5,79	АД-3,Н/с127
92	5,56	-7,33	-5,81	АД-12,Н/с127
93	5,56	-7,33	-5,81	АД-13,Н/с127
94	5,56	-7,32	-5,81	ПС-39 2С
95	5,55	-7,48	-5,78	АД-4,ИП-2
96	5,55	-7,47	-5,79	АД-6,ИП-2
97	5,56	-7,32	-5,81	ПС-39,Т2
98	0,371	-2,44	-5,81	ПС-39,Т2
99	5,56	-7,32	-5,81	ПС-82,Т2

Продолжение таблицы 17

Номер узла	$ U_p $, кВ	dU, %	Угол, U°	Наименование
1	2	3	4	5
100	0,371	-2,45	-5,81	ПС-82,Т2
101	5,58	-7,04	-5,84	ПС-2,2С
102	5,58	-7,05	-5,84	ПС-22,Т1
103	0,372	-2,15	-5,84	ПС-22,Т1
104	5,59	-6,76	-5,84	АД-24,Е-2
105	5,55	-7,44	-5,81	ПС-51,3С
106	5,55	-7,44	-5,81	ПС-1,Т2
107	0,37	-2,57	-5,81	ПС-1,Т2
108	5,55	-7,44	-5,81	ТП-4
109	0,37	-2,57	-5,81	ТП-4
110	5,55	-7,44	-5,81	ПС-51,Т3
111	0,37	-2,57	-5,81	ПС-51,Т3
112	5,55	-7,5	-5,79	СД-8,ц17
113	5,55	-7,5	-5,79	СД-13,ц17
114	5,55	-7,54	-5,79	АД-27-3,ц17
115	5,55	-7,51	-5,79	СД-20,Д-7-17
116	5,56	-7,29	-5,81	В-1 МК"Цен"

В соответствии со Схемой и программой развития энергосистемы Самарской области 2017-2023 гг., при расчете установившихся режимов при нормальной схеме электроснабжения, напряжения в узлах ГПП химического предприятия по стороне 110 кВ не ниже 114,6 кВ.

2.3 Результаты исследования влияния динамической устойчивости генерирующего оборудования электростанции на динамическую устойчивость синхронной двигательной нагрузки

На основании вышеуказанных данных выполнены расчеты динамической устойчивости синхронной двигательной нагрузки химического предприятия с учетом динамической устойчивости генерирующего оборудования ТЭЦ для нормальной и единичных ремонтных схем, результаты расчетов приведены в таблице 4. Графики изменения

контролируемых параметров, полученные в результате проведенных расчетов.

Анализ полученных результатов показал, что динамическая устойчивость синхронной двигательной нагрузки сохраняется:

- при нормативных возмущениях I, II группы в нормальной и ремонтных схемах обеспечивается.

В соответствии с Методическими указаниями **СТО ДИВГ-046-2017 «Терминалы релейной защиты синхронных и асинхронных электродвигателей 6-10 кВ. Расчет уставок. Методические указания»** для определения динамической устойчивости рассматривают случай внезапного возмущения во внешней сети, например, близкого трехфазного КЗ на одной из питающих линий или снижения напряжения до значений срабатывания АВР, БАВР.

Рассмотрим динамическую характеристику синхронной двигательной нагрузки (рисунок 3).



Рисунок 3 – Характеристики мощности синхронного двигателя в различных режимах

Синхронный двигатель (СД) работал в устойчивом режиме при этом на валу СД момент сопротивления равен M_0 и внутренним углом δ_0 (рисунок 3).

При наступлении и переходе СД в аварийный режим вращающий момент двигателя становится равным нулю, и его механическая характеристика смещается из точки a в точку b . До момента отключения короткого замыкания (КЗ) на шинах питания двигательной нагрузки П, происходит торможение СД. Торможение СД приводит в свою очередь к росту значений угла δ_0 до значения δ_c . Для момента отключения КЗ на шинах питания СД характерен переход механической характеристики из точки c в точку e , которая находится на кривой 2 механической характеристики. Данное состояние будет определять новый режим работы СД в послеаварийном режиме. Энергию торможения двигателя до момента отключения КЗ на шинах питания СД можно определить графически. Она равна площади фигуры с вершинами $abcd$, которая называется площадкой торможения (S_T). Фигура edf называется площадкой ускорения (S_Y), ее площадь будет соответствовать энергии ускорения СД, которую он приобретет в новом установившемся послеаварийном режиме, т.е. после отключения тока КЗ на питающих СД шинах. При этом, определив графически площади S_Y и S_T можно на основании условия превышения одного значения над другим определить сохранится ли устойчивость СД в новом послеаварийном режиме. Условие сохранения устойчивости СД в новом послеаварийном режиме можно записать как: $S_Y > S_T$. При выполнении этого условия процесс после некоторых колебаний установится в точке a' - точка нового устойчивого состояния СД. Если условие выполняется наоборот, т.е. $S_T > S_Y$, то СД после отключения тока КЗ на шинах питания выходит из устойчивого состояния, теряет устойчивость. Рассматривая вариант характерный для химического предприятия, а именно возможность появления коротких замыканий во внешней сети, мы можем применить к ним термин - удаленное КЗ. Рассматривая удаленное симметричное и не симметричное КЗ на смежной линии, напряжение прямой U_1 последовательности в линии связи СД – ЭЭС не достигает нулевого значения (линия 3 на рисунке №.1). Поэтому площадка торможения S_T будет меньше, так как она ограничивается

кривой 3. При этом становится очевидным, что площадь S_T , и соответственно тяжесть режима для потери устойчивости СД будет ниже. Поэтому удаленное КЗ будет «легче», т.е. меньше оказывать влияние на устойчивость работы СД чем «тяжелое», т.е. близкое к точке питания СД.

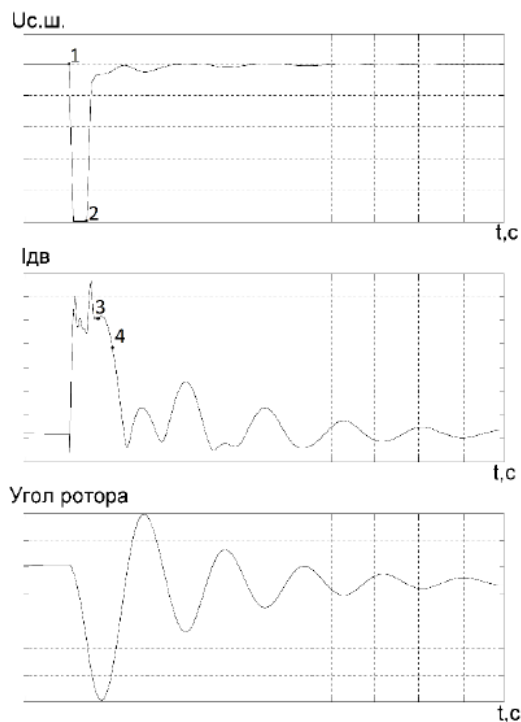
Таблица 18 – Результаты расчётов динамической устойчивости генерирующего оборудования

№ п/п	Группа нормативного возмущения	Описание аварийной ситуации (нормативное возмущение)	Отключаемый элемент	Динамическая устойчивость (обеспечивается / не обеспечивается)
1	I	Отключение сетевого элемента основными защитами при однофазном КЗ с успешным ТАПВ	КВЛ 110 кВ С-2	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ К-1,2,3,4	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ 2этз2	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ ПС 4	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ СК-ПС 3	Обеспечивается
2	I	Отключение сетевого элемента основными защитами при однофазном КЗ с неуспешным ТАПВ	КВЛ 110 кВ С-2	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ К-1,2,3,4	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ 2этз2	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ ПС 4	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ СК-ПС 3	Обеспечивается
5	II	Отключение сетевого элемента основными защитами при трехфазном КЗ с успешным ТАПВ	КВЛ 110 кВ С-2	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ К-1,2,3,4	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ 2этз2	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ ПС 4	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ СК-ПС 3	Обеспечивается
6	II	Отключение сетевого элемента основными защитами при трехфазном КЗ с неуспешным ТАПВ	КВЛ 110 кВ С-2	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ К-1,2,3,4	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ 2этз2	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ ПС 4	Обеспечивается
			ВЛ 110 кВ СК-ПС 3	Обеспечивается

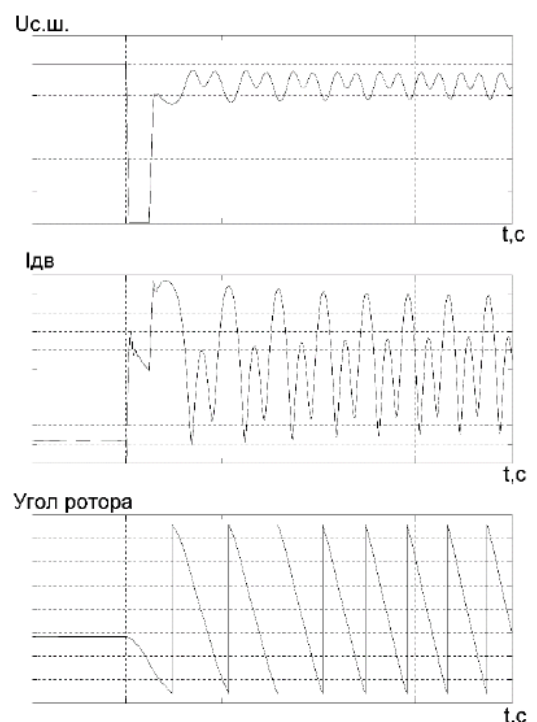
Резюмируя полученные результаты можно говорить о том, что на устойчивость работы СД оказывают влияние следующие факторы

а) вид, удаленность и длительность КЗ. Наиболее опасны близкие КЗ, удаленные КЗ менее опасны. По видам КЗ наиболее опасно – трехфазное. При потере устойчивости СД, в начальной фазе, когда возникло КЗ, двигатели начинают тормозиться. Потери в цепи КЗ создают дополнительный тормозной момент, который, притормаживая двигатель, способствует увеличению угла. Увеличению угла δ_0 двигателей способствуют и повышенные активные потери в статоре и роторе двигателя. После отключения КЗ угол и скольжение продолжают быстро увеличиваться из-за тормозного момента приводного механизма. Поэтому связка энергосистема-узел с синхронной нагрузкой более критична к внешним возмущениям по сравнению со связкой из двух энергосистем. Характер переходного процесса без потери устойчивости узла нагрузки с СД показан на рисунке 4.

а)



б)



$U_{с.ш.}$ – напряжение на шинах секции, $I_{дв}$ – ток двигателя

а) без потери устойчивости;
б) с потерей устойчивости

Рисунок 4 – Переходные процессы двигательной нагрузки

б) нагрузка СД. Чем больше нагрузка СД в предшествующем режиме, тем опаснее внешние возмущения;

в) характеристики послеаварийного режима. Послеаварийный режим, в котором сопротивление внешней сети возрастает по сравнению с до аварийным

режимом, опаснее, поскольку снижается вся угловая характеристика мощности.

При рассмотрении узлов с синхронной нагрузки СД сохраняют синхронный выбег, пока генерируемое ими напряжение не снизится до значения примерно $U_{ном}$, в пределах этого критерия все СД узла нагрузки можно представить (эквивалентировать) одним электродвигателем, особенно, если их мощность, инерционные постоянные и нагрузка примерно одинаковы. Поэтому все вышеизложенное для одного двигателя справедливо и для узла нагрузки с несколькими СД.

Если внешнее возмущение не приводит к нарушению устойчивости группы СД, то переходный процесс носит характер затухающих колебаний, показанных на рисунке №.2 а). Точки 1 и 2 соответствуют началу и моменту отключения внешнего КЗ в сети 110 кВ. В процессе качаний ток через ввод периодически изменяется, достигая в максимуме, при наиболее тяжелых, но устойчивых процессах, четырехкратного начального значения, в минимуме – 0,3 начального значения. При максимуме тока напряжение снижается до $U_{ном.дв.}$, в этих условиях может пускаться МТЗ ввода (точка 3). Длительность повышенного тока не превышает 0,5 с, и в точке 4 МТЗ возвращается.

Определим время, при котором обеспечивает предельное время отключения КЗ (повторной подачи питания) при котором обеспечивается 100%-ная вероятность вхождения в синхронизм:

Для определения индуктивных сопротивлений для схемы замещения для точки КЗ воспользуемся выражением, при $t=0с$:

$$x_{с.к.з.} = x_c + x'_{к.з.} + \frac{x_c \cdot x'_{к.з.}}{x_{\partial\partial}},$$

$$x_{\partial\partial.к.з.} = x_{\partial\partial} + x'_{к.з.} + \frac{x_{\partial\partial} \cdot x'_{к.з.}}{x_c},$$

где $x_{с.к.з.}$ – индуктивное сопротивление между питающим источником сети и местом короткого замыкания; $x_{дв.к.з.}$ – индуктивное сопротивление между двигателем и местом КЗ; x_c – индуктивное сопротивление сети; $x'_{к.з.}$ – переходное индуктивное сопротивление от шин подстанции до места КЗ; $x_{дв.}$ – индуктивное сопротивление двигателя.

В таком случае периодические составляющие токов от системы и двигателей, соответственно будут равны в относительных единицах (в соответствии с системой единиц, принятой в [21]):

$$I_{с.к.з.} = \frac{U}{x_{с.к.з.}} \approx \frac{1,05}{x_{с.к.з.}},$$

$$I_{\partial\partial.к.з.} = \frac{E''_q}{x_{\partial\partial.к.з.}} \approx \frac{1,05}{x_{с.к.з.}},$$

где $I_{с.к.з.}$ – ток, протекающий от сети к месту короткого замыкания, $I_{дв.к.з.}$ – ток, протекающий от синхронного двигателя к месту короткого замыкания в момент $t = 0$; U – напряжение сети в момент задаваемого события; E''_q – напряжение, развиваемое СД в генераторном режиме в момент $t = 0$.

Таким образом, полный ток в точке КЗ будет равен:

$$I_{к.з.} = I_{с.к.з.} + I_{дв.к.з.} = 1,05 \cdot \left(\frac{1}{x_{с.к.з.}} + \frac{1}{x_{дв.к.з.}} \right)$$

Максимальное значение напряжения на шинах при $t = 0$ составит:

$$U_{\text{ш}} = x'_{\text{к.з}} \cdot 1,05 \cdot \left(\frac{1}{x_{\text{с.к.з}}} + \frac{1}{x_{\text{дв.к.з}}} \right)$$

Условие сохранения устойчивости СД при КЗ любой длительности за сопротивлением $x'_{\text{к.з}}$ будет:

$$\frac{x_{\text{дв}}}{x_{\text{св}}} \geq \left(\frac{m_{\text{мех}}}{m_{\text{с.м.к.}} \cdot K_{\phi}} \right)_{\text{макс}}$$

где $m_{\text{мех}}$ - момент на валу двигателя; $m_{\text{с.м.к.}}$ - максимальная кратность синхронного момента при номинальном возбуждении, K_{ϕ} - кратность форсировки возбуждения. Для группы из n синхронных двигателей, следует в данном выражении отношение $\frac{m_{\text{мех}}}{m_{\text{с.м.к.}} \cdot K_{\phi}}$ взять для того двигателя, для которого это отношение наибольшее. Данное выражение дает относительную величину напряжения на выводах двигателей без учета подпитки от самих двигателей.

В реальности, напряжение на питающих шинах при возникновении КЗ за сопротивлением $x'_{\text{к.з}}$ будет несколько выше. Для оценки устойчивости СД необходимо, чтобы остаточное напряжение на питающих шинах определлось из соотношения $\frac{x_{\text{дв}}}{x_{\text{св}}}$. Полученное из этого соотношения напряжение должно быть сопоставлено с наибольшим значением критического напряжения, которое определяется по выражению:

$$U_{\text{кр.макс}} = \left(\frac{m_{\text{мех}}}{m_{\text{с.м.к.}} \cdot K_{\phi}} \right)_{\text{макс}}$$

При выполнении практических расчетов когда действительное напряжение на питающих шинах при возникновении КЗ с учетом подпитки от самих СД $\geq 70\%$ от $U_{\text{ном}}$ - номинального напряжения, то принимается, что

значение $x_{a.d.} = 0,7$. Для случая, когда остаточное напряжение на питающих шинах $< 70\%$ от $U_{ном}$, сопротивления АД принимаются $x_{a.d.} = x_{к.з.}$.

Если условие выполняется:

$$\frac{x_{дв}}{x_{св}} < \left(\frac{m_{мех}}{m_{с.м.к.} \cdot K_{\phi}} \right)_{\max}$$

СД, подключенные к питающим шинам, начинают тормозиться. Скорость изменения угла нагрузки δ зависит от того, насколько максимальное значение электромагнитного момента с учетом пониженного напряжения, определяемого только током от питающего источника, будет меньше момента на валу, что было рассмотрено для рисунка №.1.

Таким образом, предельное время отключения КЗ (повторной подачи питания) при котором обеспечивается 100%-ная вероятность вхождения в синхронизм определяется по выражению:

$$t_{\text{пер}} \leq \frac{1,05}{m_{\text{мех}}} \cdot \sqrt{m_{с.м.к.} \cdot \tau_J}$$

где τ_J - механическая постоянная времени.

В результате выполненного анализа установлено, что:

- При перерыве питания, вызванного коротким замыканием на смежном элементе сети, при условии, что угол нагрузки δ не вырос до критического значения, т.е. значения нарушения динамической устойчивости, электромеханический переходный процесс представляет собой процесс с затухающими синхронными качаниями.

- При действии устройств АПВ и АВР и возможном при этом потере питания синхронной двигательной нагрузки, подключенные СД успевают выпасть из синхронной работы, так как время полного включения и

отключения питания превышает предельно допустимое и составляет $0,3 \div 0,4$ с.

- При появлении на питающих шинах трехфазного короткого замыкания и потери из-за этого питания в условиях подключения синхронной двигательной нагрузки к нереактивированной кабельной сети, не приведет к выпадению СД из синхронизма лишь только, если в системе электроснабжения присутствуют быстродействующие защиты способные отреагировать на междуфазные КЗ без выдержки времени. Если междуфазные КЗ в нереактивированной кабельной сети будут отключаться с одной ступенью выдержки времени, равной $\Delta t = 0,25 \div 0,3$ с, то общее время перерыва питания СД составит порядка $0,4 \div 0,5$ с при этом СД выпадут из синхронизма.

- В реактивированных кабельных линиях возникающие КЗ не приводят к выпадению СД из синхронизма, так как остаточное напряжение на питающих шинах обычно превышает значение $(0,5 \div 0,6)U_{ном}$, которое сохраняется на шинах длительное время порядка $2 \div 3$ с;

При снижении напряжения на питающей синхронную двигательную нагрузку секции из-за отключения питающей предприятие высоковольтной ЛЭП напряжением 110 кВ происходит:

– переход высоковольтных синхронных двигателей в генераторный режим, характеризующий возможность длительного поддержания требуемого уровня напряжения на питающих шинах. При этом СД осуществляют подпилку подключенных к этим же питающим шинам асинхронных двигателей и другой нагрузки;

– постепенное уменьшение амплитудного значения напряжения на питающих СД шинах, происходит снижение частоты и увеличивается разница углов напряжения между секциями РУ 6 кВ. При уменьшении напряжения на секции до значений $(0,8 \div 0,85)U_{ном}$, происходит срабатывание форсировки возбуждения высоковольтных синхронных двигателей, приводящая к росту напряжения на питающей секции 6 кВ. Однако,

длительность форсировки ограничена по времени и после этого напряжение на питающей секции продолжает снижаться;

- при срабатывании АВР по снижению напряжения на секции шин, время между моментом потери питания и моментом срабатывания может достигать 10 с, при пуске АВР это время может составлять несколько секунд;

- при использовании на подстанции устройств БАВР, запуск э автоматики осуществляется по величине, характеризующей увеличение разницы углов напряжения между секциями; в реальных условиях время запуска БАВР может находиться в пределах 0,1-0,01 мс. Время действия БАВР будет зависеть от отношения количества СД на секции к общей нагрузке секции, а также от алгоритмов работы системы БАВР.

Проанализируем далее последовательность событий, происходящих при снижении напряжения на секции вследствие короткого замыкания на питающей линии 110 кВ либо на выводах трансформатора 110/6кВ: – при возникновении короткого замыкания СД переходят в генераторный режим работы, в котором они осуществляют подпитку как несинхронной нагрузки подстанции, так и места КЗ, торможение двигателей и снижение напряжения на их выводах осуществляется гораздо быстрее, чем при потере питания вследствие отключения линии высокого напряжения. Подпитка продолжается до отключения короткого замыкания защитами линии либо, если КЗ произошло на линии, питающей рассматриваемую секцию шин, до срабатывания защиты РЗА ввода; типовое время срабатывания быстродействующих защит на линиях высокого напряжения – 50-100 мс.

Самозапуском называется восстановление нормальной работы электропривода без вмешательства персонала после кратковременного перерыва электроснабжения или глубокого снижения напряжения. Самозапуск считается обеспеченным, если после восстановления напряжения агрегат разогнался до нормальной частоты вращения и продолжает длительно работать с нормальной производительностью приводимого механизма и нагрузкой электродвигателя.

Применение устройств БАВР на предприятии химического предприятия позволяет осуществить синхронный самозапуск СД.

Возможно сохранение устойчивости узла нагрузки с СД после потери питания и его восстановления в течение времени, соответствующего действию БАВР (около 0,1 с), а в некоторых случаях и АВР (около 0,5 с).

При применении БАВР и устройства контроля устойчивости, возможна реализация синхронного самозапуска СД.

Самозапуск возможен в случаях:

- номинальной нагрузки двигателя, возможен его синхронный самозапуск при длительности перерыва питания 0,15 с (действие БАВР);
- в случае нагрузки двигателя равной половине от номинальной, возможен его синхронный самозапуск при длительности перерыва питания 0,5 с (действие АВР).

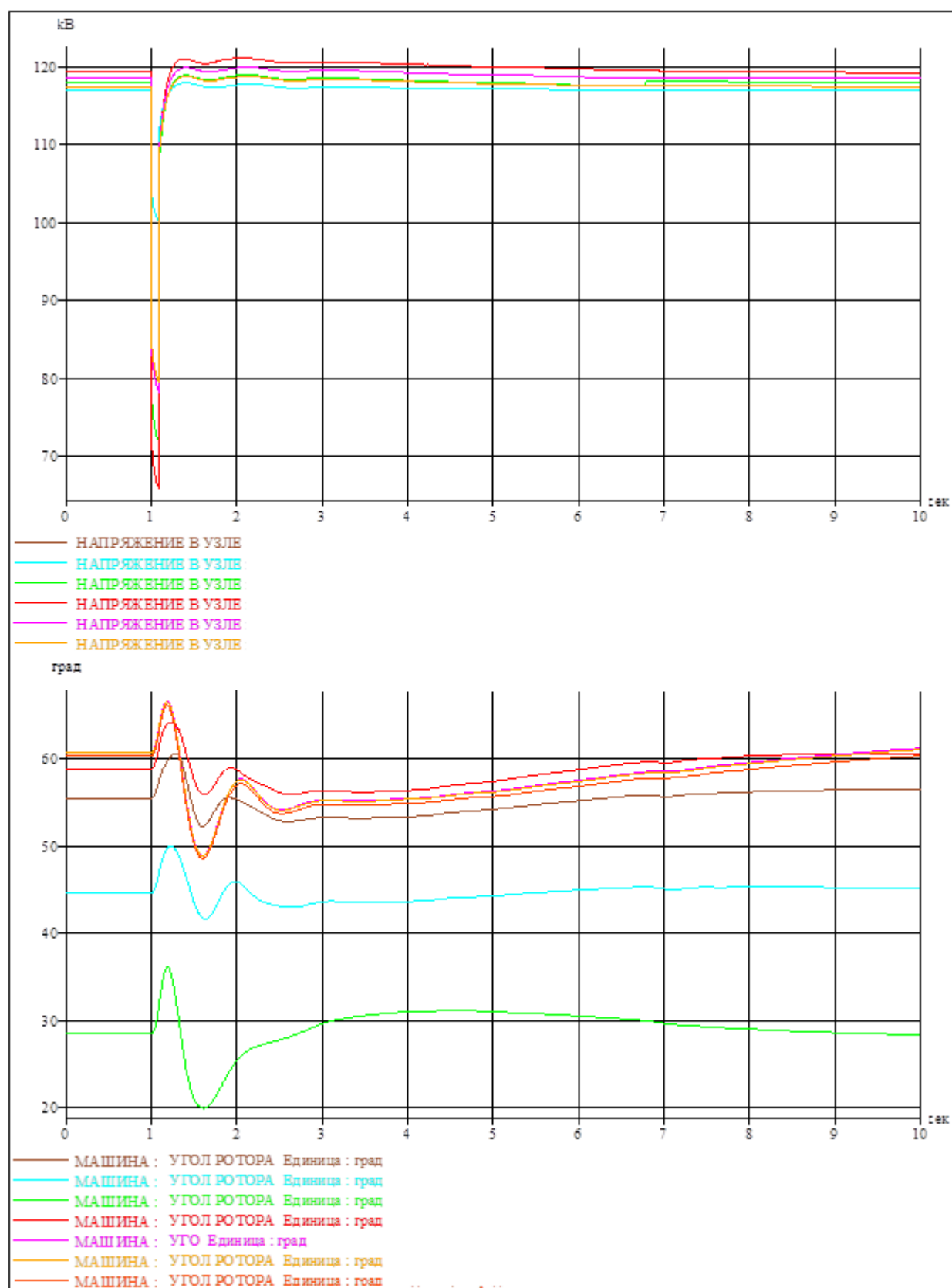


Рисунок 5 – Влияние отключения КВЛ 110 кВ С-2 основными защитами при однофазном КЗ с успешным АПВ на синхронную нагрузку химического предприятия

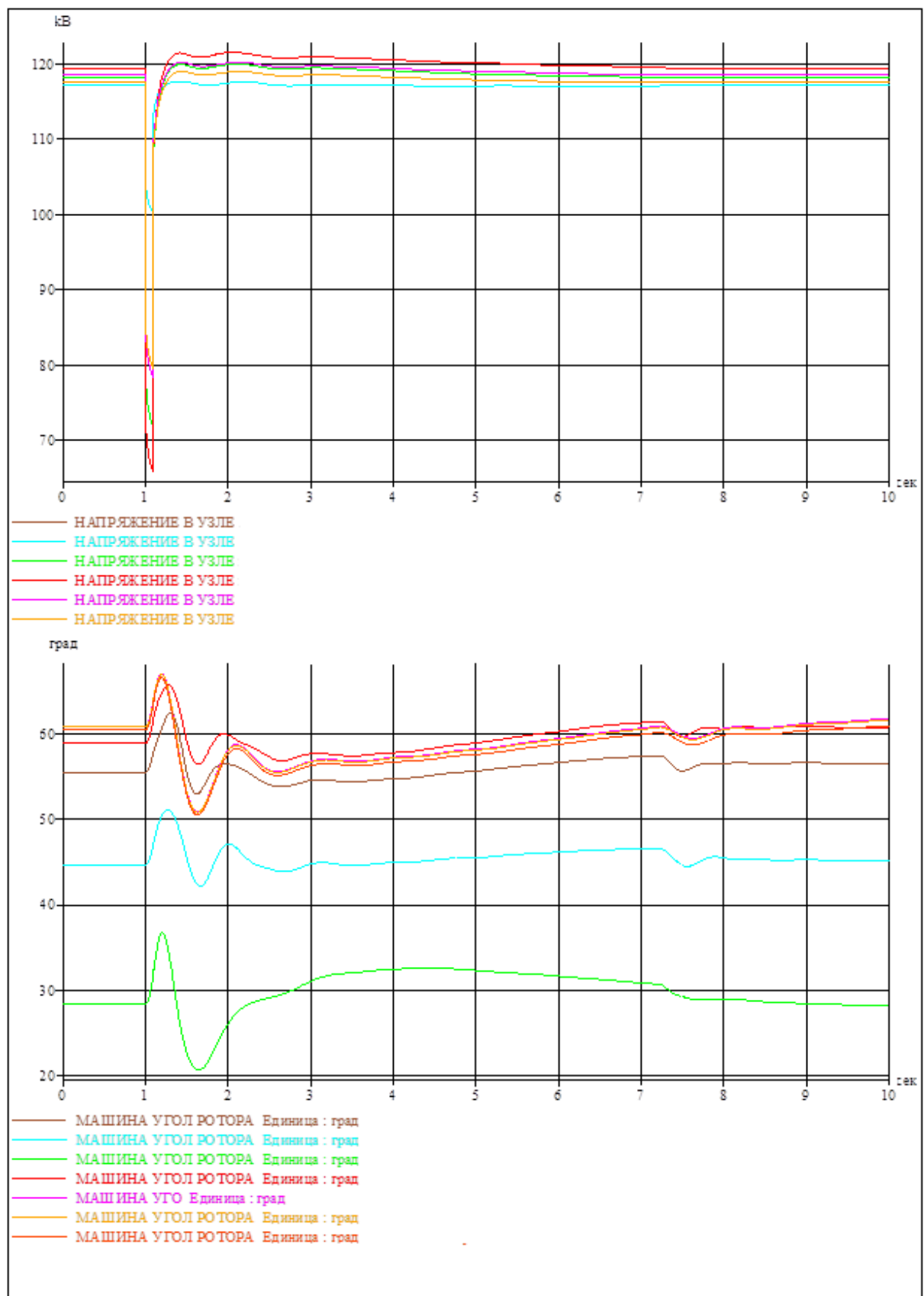


Рисунок 6 – Влияние на синхронную нагрузку при отключении ВЛ 110 кВ К-1,2,3,4 основными защитами при однофазном КЗ с успешным АПВ.

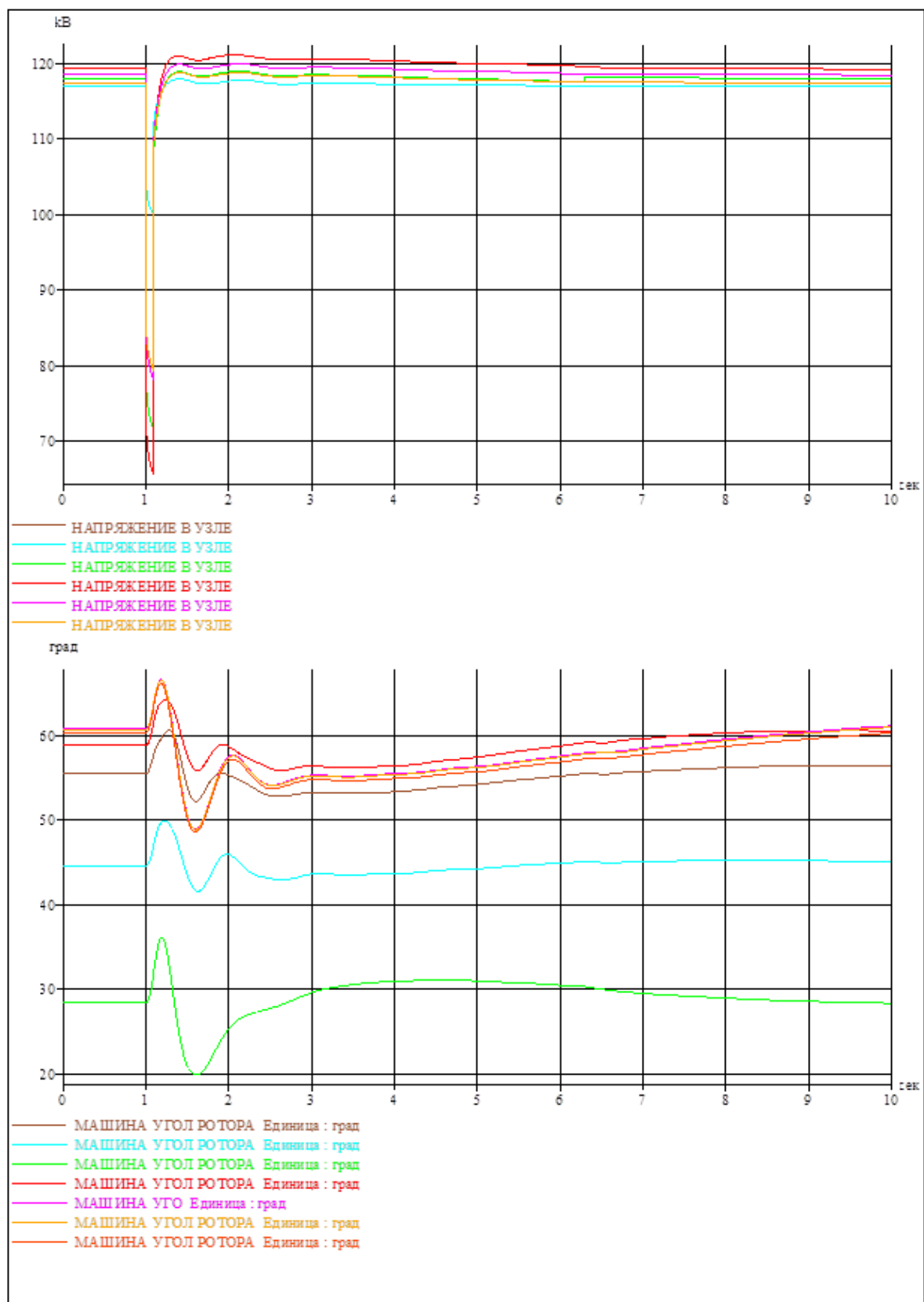


Рисунок 7 – Влияние на синхронную двигательную нагрузку отключение ВЛ 110 кВ 2эт32 основными защитами при однофазном КЗ с успешным АПВ

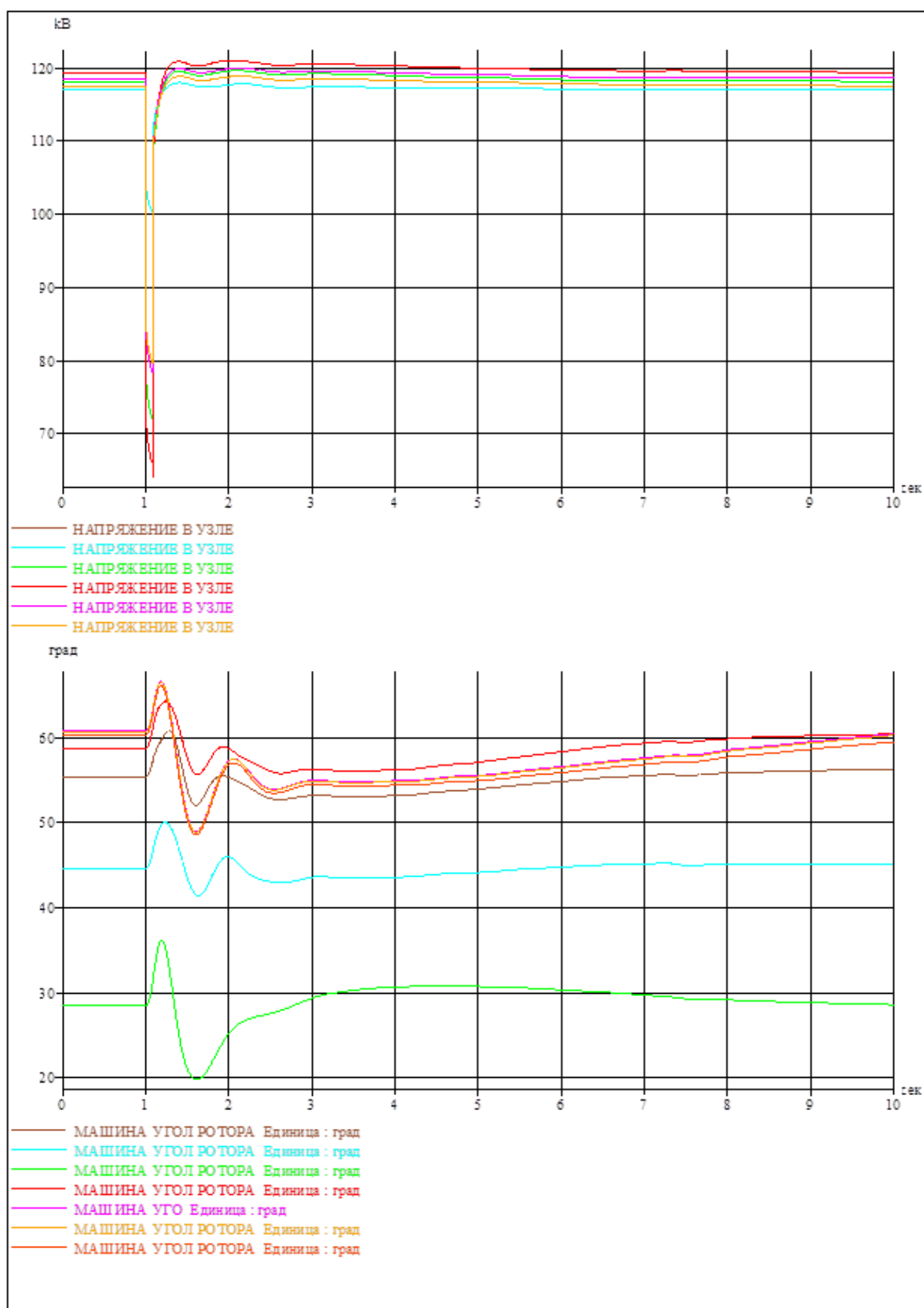


Рисунок 8 – Отключение ВЛ 110 кВ ПС 4 основными защитами при однофазном КЗ с успешным АПВ.

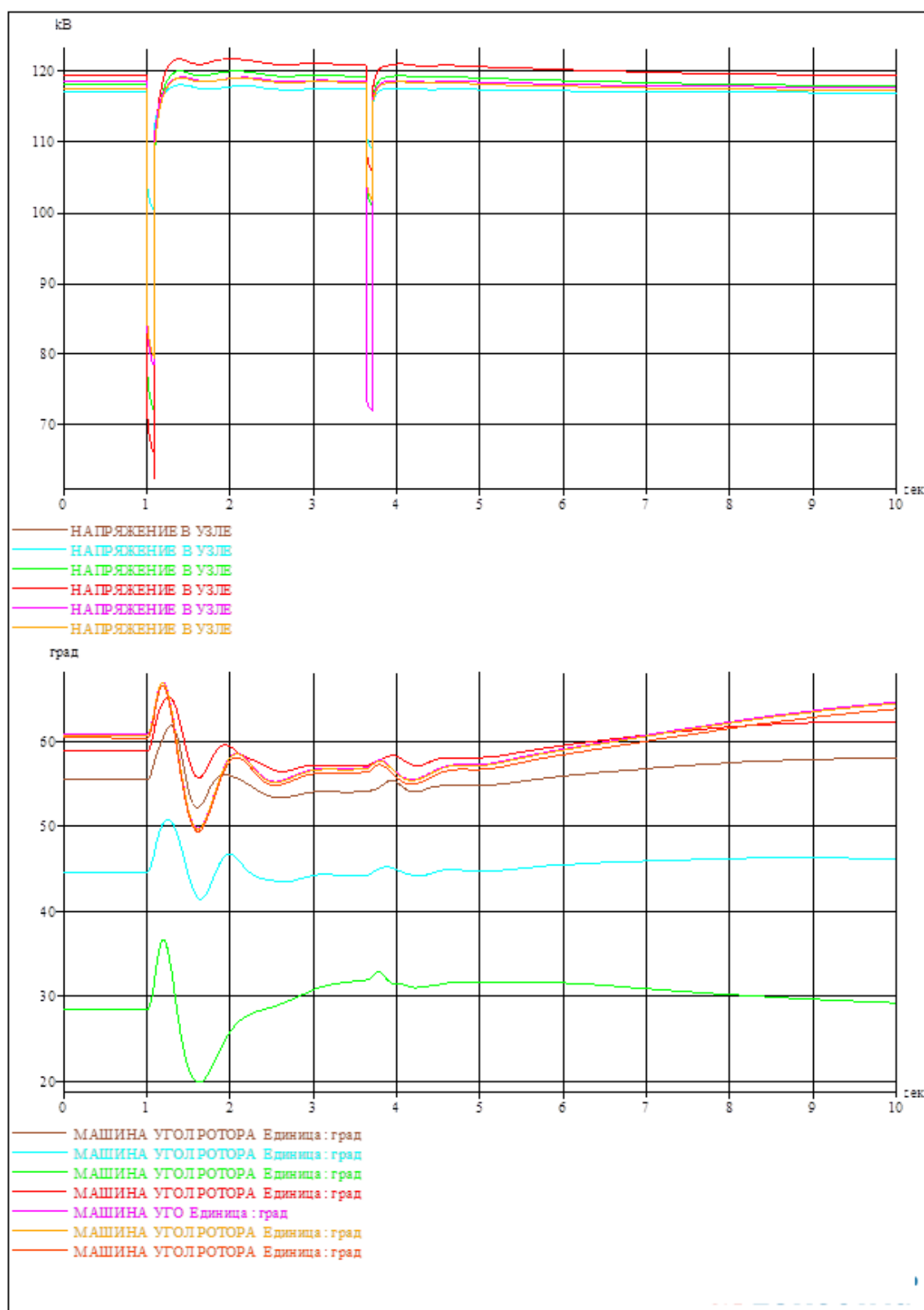


Рисунок 9 – Влияние отключение КВЛ 110 кВ С-2 основными защитами при однофазном КЗ с неуспешным АПВ на синхронную двигательную нагрузку.

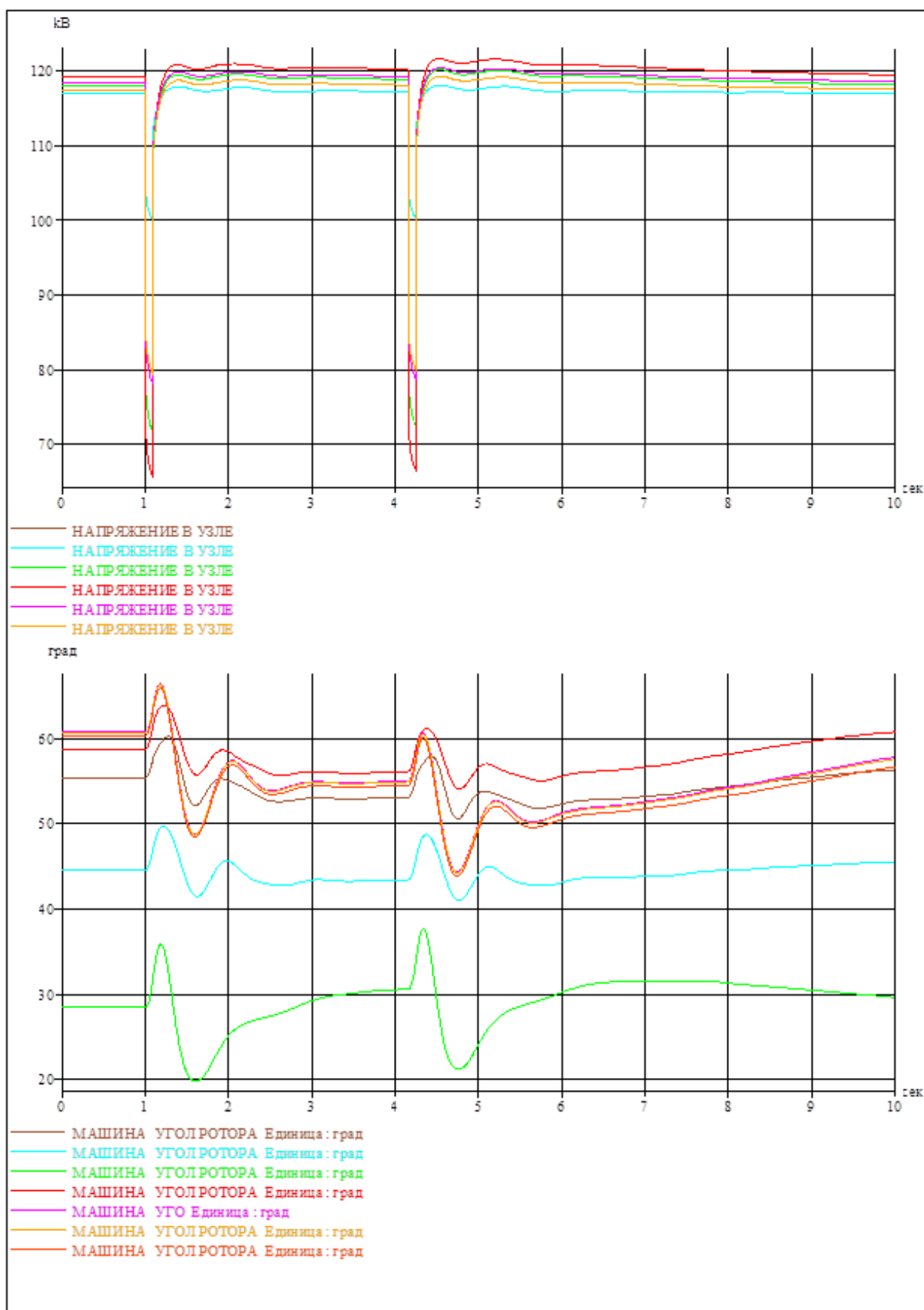


Рисунок 10 – Влияние на двигательную синхронную нагрузку отключение ВЛ 110 кВ К-1,2,3,4 основными защитами при однофазном КЗ с неуспешным АПВ

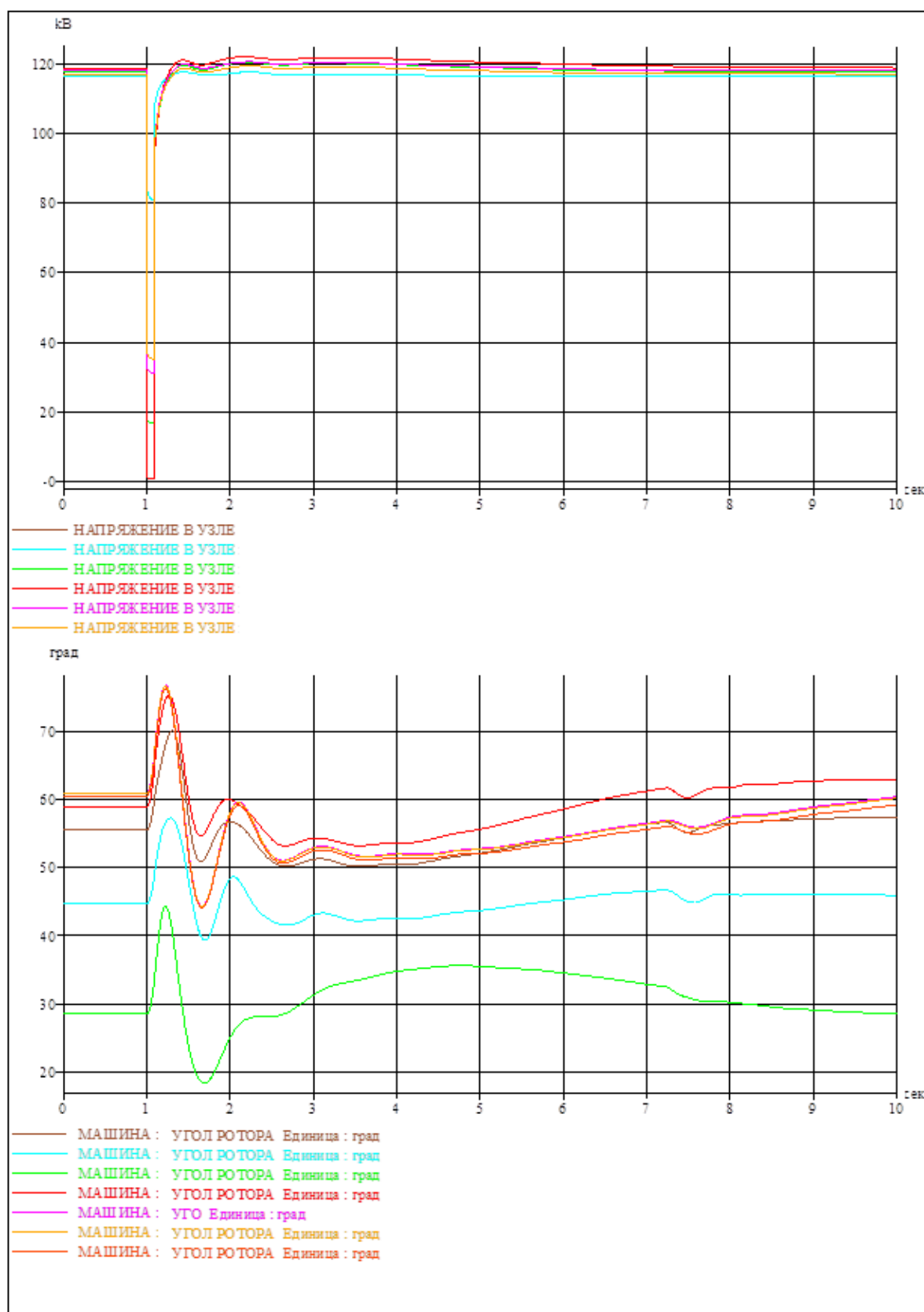


Рисунок 11 – Влияние на синхронную двигательную нагрузку
 Отключение ВЛ 110 кВ К-1,2,3,4 основными защитами при
 трехфазном КЗ с успешным АПВ.

На основании проведенных экспериментов были сделаны следующие выводы:

1. При потере питания без внешнего короткого замыкания, возможно сохранение устойчивости двигателя при превышении внутренним углом значения 180° - после нескольких проворотов ротора двигатель вновь входит в синхронизм.

2. Нарушение устойчивости двигателя при одном и том же времени отключения короткого замыкания, и одинаковом времени восстановления питания зависит от расстояния до места замыкания и нагрузки двигателя;

3. Во всех экспериментах, устойчивость сохранялась при времени восстановления питания 450 мс, что дает возможность применения синхронного самозапуска (типовое время действия релейных защит, работающих без выдержки времени составляет от 30 до 60 мс, типовое время срабатывания БАВР - от 100 до 150мс);

4. При нагрузке двигателя равной 50% от номинальной, а также двухфазных КЗ, существует возможность осуществить синхронный самозапуск средствами БАВР.

5. При номинальной нагрузке двигателя и однофазных КЗ в точках NN существует возможность осуществить синхронный самозапуск средствами БАВР.

6. Для корректной работы БАВР необходимо выявлять в темпе переходного процесса, сохранит ли двигатель устойчивость после восстановления питания.

Анализ работы асинхронных двигателей при снижении питающего напряжения

Для анализа динамической устойчивости асинхронных двигателей (АД) при снижении напряжения на питающих шинах напряжением 6 кВ в среде MATLAB была собрана модель, общий вид которой представлен на рисунке 12

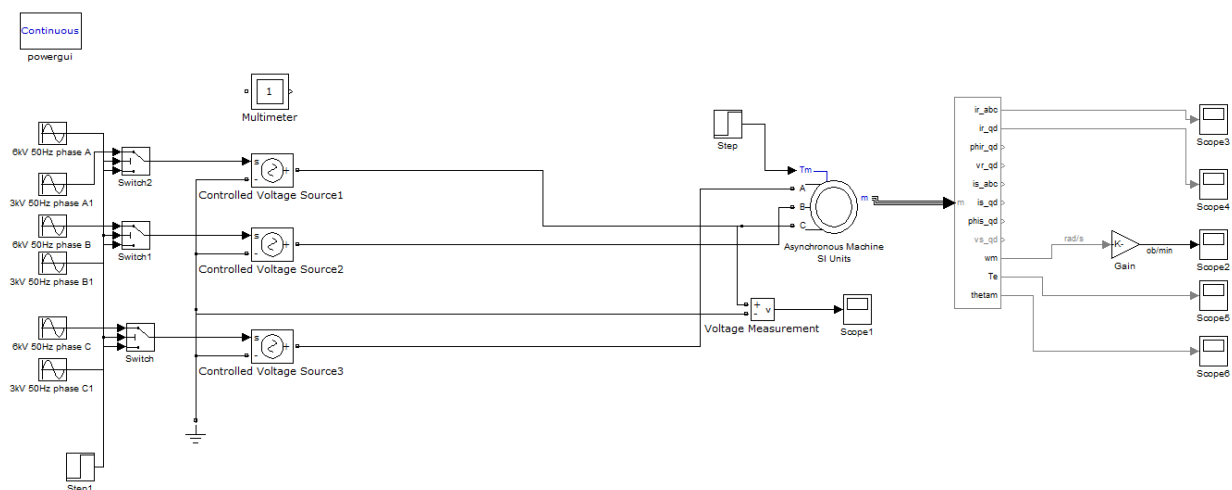


Рисунок 12 – Модель исследования работы АД при снижении питающего напряжения

Для схемы, представленной на рисунке 12 выбран вариант прямого пуска АД при начале расчета. Для уменьшения времени переходного процесса при пуске двигателя, механическая нагрузка на вал АД подавалась через 5 секунд от начала расчета.

Снижение напряжения в модели представленной на рисунке 12 моделировалось управляемым источником напряжения.

В качестве примера исследуемого объекта был выбран асинхронный двигатель марки А4-450У паспортные данные которого представлены в таблице N.1.

Таблица 19 – Паспортные данные асинхронных двигателей

№	Тип двигателя	U _{ном} , кВ	P _{ном} , кВт	cosФ _н	n, об/мин	s _{ном} , %	КПД, %	I _п /I _н	M _п /M _н	R _{ст} , о.е.	X _d ", о.е.	R _p , о.е.	Код изделия
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		0.38	250	0.91	2965	1.5	94.4	6.5	1.2	0.0375	0.149	0.0243	69308416
2	АО2	0.38	100	0.86	1475	1.67	93	5	1	0.0445	0.195	0.0302	71389184
3	BAO4-450LA- 2	6	315	0.9	2973	0.9	93	5	1.2	0.0462	0.195	0.0394	270639104
4	1BAO-450- LA-2	6	315	0.85	2973	0.9	93	6	1.2	0.0318	0.164	0.0244	270639105
5	2A3MB1- 500/6000	6	500	0.89	2974	0.867	94.8	5.7	2.4	0.0662	0.162	0.0604	270647296
6	4A3M630/6000	6	630	0.89	2979	0.7	95.7	5.3	0.88	0.0315	0.186	0.0258	270651392
7	2A3M1- 630/6000	6	630	0.9	2979	0.7	95.3	5.7	2.4	0.0662	0.162	0.062	270651393
8	4A3МП-800-2	6	800	0.89	2985	0.5	96	5.3	1	0.033	0.186	0.0294	270655488
9	A3-800/6000	6	800	0.85	2800	6.67	96	5.3	1	0.0914	0.165	0.0286	270655489
10	A3-800/6000	6	800	0.85	2800	6.67	96	5.3	1	0.0914	0.165	0.0286	270655490
11	2A3M1- 500/6000	6	1000	0.9	2982	0.6	95.9	6.5	1	0.0249	0.152	0.02	270659584
12	АТД-4000	6	4000	0.91	2985	0.5	96.5	6.3	0.7	0.0195	0.158	0.0153	270684160
13	АО4-355L- 4У2	6	200	0.88	1490	0.667	93.4	5	1.1	0.0394	0.196	0.0346	272728064
14	1LA4310- 4AN60-Z	6	200	0.88	1490	0.667	94	5.5	1	0.0314	0.179	0.0262	272728065

Продолжение таблицы 19

№	Тип двигателя	Uном, кВ	Pном, кВт	CosФн	n, об/мин	snом, %	КПД, %	Ip/In	Mп/Mн	Rст, о.е.	Xd", о.е.	Rp, о.е.	Код изделия
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15	ДНЕВ-63-4	6	250	0.9	1490	0.667	95	5	1.2	0.0449	0.195	0.0402	272732160
16	DKEAJ-3150-4	6	250	85	1495	0.333	95	5	12	3427	0	3570	272732161
17	АНЕ-406-4	6	250	0.85	1480	1.33	92.8	6	1.6	0.0437	0.161	0.0326	272732162
18	1L4312-4A307	6	250	0.85	1480	1.33	94	4.5	1.2	0.0548	0.215	0.0441	272732163
19	A-114-4M	6	320	0.87	1485	1	93.2	6	1.2	0.0339	0.163	0.0257	272736256
20	АО4-355X	6	315	0.85	1480	1.33	93	5.5	1.1	0.0381	0.178	0.0267	272736257
21	A-114-4	6	320	0.91	1480	1.33	92	5	1.8	0.0699	0.187	0.06	272736258
22	ДА304-400/хк- 4У1	6	315	0.87	1495	0.33	94.3	7	1.3	0.0228	0.141	0.0205	272736259
23	A-4-355-4У3	6	400	0.89	1480	1.33	95.3	5.7	1.2	0.042	0.17	0.0305	272740352
24	A-4-400XK- 4У3	6	400	0.87	1490	0.667	94.6	6	1	0.0271	0.164	0.0216	272740353
25	A4-400X	6	500	0.876	1480	1.33	94.7	5.7	1.2	0.0408	0.171	0.0294	272744448
26	A-13-59-4	6	1000	0.91	1490	0.667	94	6.2	1.2	0.0316	0.158	0.0264	272756736
27	BAO2-630S-4	6	1250	0.9	1490	0.667	93	6	2	0.0499	0.159	0.0455	272760832
28	AR630-S4- D4KB	6	1200	0.87	1492	0.533	93	7	1.8	0.0319	0.139	0.0281	272760833
29	4V-208- 04HW1	6	2400	0.9	1490	0.667	96	6	2.1	0.0537	0.158	0.0493	272773120
30	7*АД	6	3000	0.86	1480	1.33	93.5	5.5	1	0.0365	0.178	0.025	272777216
31	32-V225-04H	6	2800	0.85	1490	0.667	92.5	6.5	2.7	0.0507	0.145	0.0464	272777217

Продолжение таблицы 19

№	Тип двигателя	Uном, кВ	Pном, кВт	CosФн	n, об/мин	snom, %	КПД, %	Iп/Iн	Mп/Mн	Rст, о.е.	Xd", о.е.	Rp, о.е.	Код изделия
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
32	4V-226-04HW1	6	3300	0.9	1490	0.667	95.5	7	2.4	0.0459	0.135	0.0412	272777218
33	32V-225-04H	6	2800	0.85	1492	0.533	92.5	7	2.4	0.0391	0.137	0.0355	272777219
34	ДАЗО-13-55-6	6	500	0.85	985	1.5	94.5	5.5	1.4	0.0474	0.176	0.0346	274841600
35	A13-37-6	6	500	0.87	950	5	94	5.5	1.2	0.0778	0.164	0.0321	274841601
36	3 АД	6	600	0.87	1000	0	96	6	1	0.0209	0.165	0.0218	274845696
37	4 АД	6	800	0.87	1000	0	96	6	1	0.0209	0.165	0.0218	274849792
38	A13-59-6	6	800	0.87	926	7.4	94.5	5.5	1.2	0.102	0.151	0.0331	274849793
39	АН-15-51-6	6	2000	0.88	990	1	95.2	6.5	1	0.0278	0.151	0.019	274866176
40	A4-450Y	6	630	0.83	740	1.33	94.5	5	1	0.04	0.196	0.0285	276942848
41	A-13-62-8A	6	630	0.85	735	2	93	6	2.2	0.062	0.155	0.0453	276942849
42	A-12-52-10Y2	6	250	0.8	595	0.833	92	6	1.3	0.0299	0.164	0.0232	279023616
43	АН-15-44-10	6	1000	0.8	590	1.67	93	6	1.4	0.0399	0.162	0.0254	279048192
44	АН-15-44-10	6	1000	0.8	590	1.67	93	6	1.5	0.0416	0.161	0.0272	279048193
45	АТД-5000	10	5000	0.915	2985	0.5	96.5	5.6	1	0.0317	0.176	0.028	337797120
46	AK12-49-6	10	400	0.87	1000	0	93	6	1	0.0203	0.165	0.0211	341946368
47	Ptot 8МВт	11	8000	0.88	1000	0	95	6	1	0.0212	0.165	0.0221	341999616
48	A4-400X8Y3	10	250	0.807	737	1.73	93.2	5	1	0.0418	0.196	0.0267	344035328

По паспортным данным двигателя рассчитаны параметры схемы замещения АД. Схема замещения представлена на рисунке №10. Расчет параметров схемы замещения АД выполнены согласно методикам, представленным в [1].

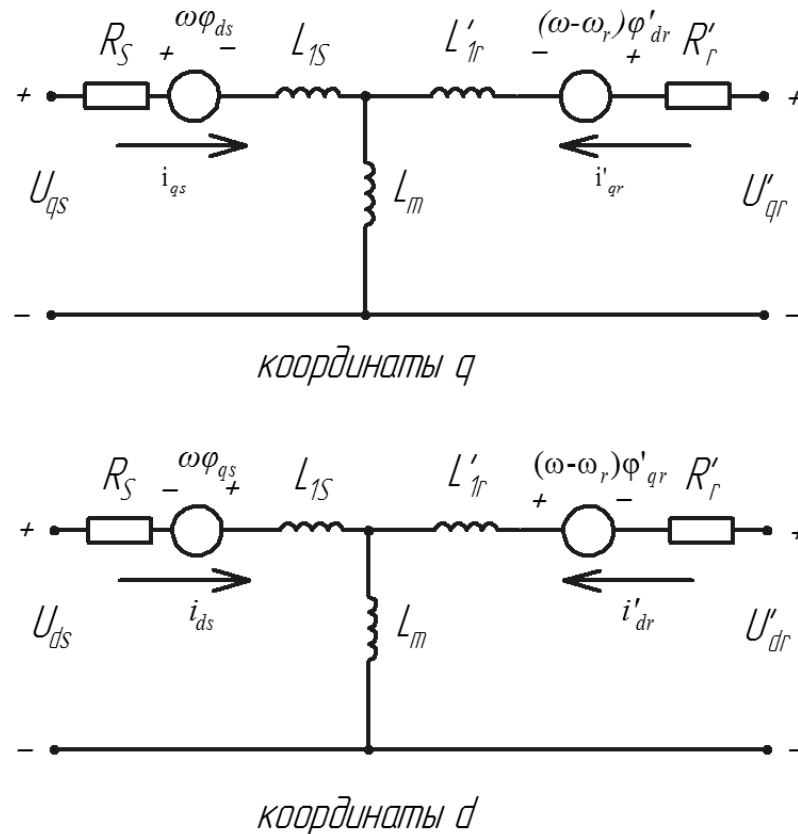


Рисунок 13 – Схема замещения асинхронного двигателя

Исходными данными для расчета параметров схем замещения АД являются: P_n - номинальная мощность [Вт]; U_n - номинальное линейное напряжение [В]; f_1 - частота сети [Гц]; n_n - номинальная скорость вращения вала [об/мин]; p - число пар полюсов; η - коэффициент полезного действия [о.е.]; $\cos \varphi$ - коэффициент мощности [о.е.]; I_n - номинальный ток статора [А]; k_1 - кратность пускового тока [о.е.]; $m_{п}$ - кратность пускового момента [о.е.]; $m_{\max}$ - кратность максимального момента [о.е.]; J - момент инерции [кг·м²].

Параметры схемы замещения рассчитываются по следующим выражениям.

Номинальное фазное напряжение, В:

$$U = \frac{U_n}{\sqrt{3}}.$$

Скорость вращения магнитного поля (синхронная скорость) [об/мин]:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}.$$

Номинальное скольжение [о.е.]:

$$s_n = \frac{n_1 - n_n}{n_1}.$$

Критическое скольжение [о.е.]:

$$s_{kp} = s_n \cdot (m_{\max} + \sqrt{m_{\max}^2 - 1}).$$

Скорость вращения магнитного поля (синхронная скорость) [рад/с]:

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}.$$

Номинальная угловая скорость вращения вала [рад/с]:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}.$$

Номинальный момент [Н·м]:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}.$$

Максимальный момент [Н·м]:

$$M_{\max} = m_{\max} \cdot M_n.$$

Пусковой момент [Н·м]:

$$M_{II} = m_{II} \cdot M_n.$$

Механические потери [Вт]:

$$P_{\text{мех}} = (0,01 \div 0,05) \cdot P_n.$$

Коэффициент приведения (меньшее значение для машин большей мощности):

$$C = (1,01 \div 1,05).$$

Приведенное активное сопротивление ротора [Ом]:

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_H + \Pi_{Mex}}{I_H^2 \cdot \frac{1-s_H}{s_H}}.$$

Активное сопротивление статора [Ом]:

$$R_s = \frac{U \cdot \cos \varphi (1 - \eta)}{I_H} - C^2 R_r - \frac{\Pi_{Mex}}{3 I_H^2}.$$

Приведенная индуктивность рассеяния статора и ротора [Гн]:

$$L_{sp} = L_{sr} = \frac{U}{4\pi \cdot f_1 \cdot (1 + C^2) \cdot k_I \cdot I_H}.$$

Индуктивность статора [Гн]:

$$L_s = \frac{U}{2\pi \cdot f_1 \cdot I_H \cdot \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2\pi \cdot f_1 \cdot M_{max}}{p \cdot U} \cdot \frac{s_H}{s_{кр}}}.$$

Индуктивность цепи намагничивания [Гн]:

$$L_m = L - L_{sp}.$$

После того как расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя произведен по представленной методике, необходимо определить расчетный коэффициент C_1 . Определение расчетного коэффициента необходимо выполнить по следующей формуле:

$$C_1 = 1 + \frac{L_{sp}}{L_m}.$$

Полученное значение расчетного коэффициента необходимо сравнить с ранее принятым значением коэффициента приведения C . Если различие между ранее принятым значением коэффициента C и полученного значения коэффициента C_1 различны, то расчет параметров схемы замещения необходимо повторить, добиваясь при этом наименьшего расхождения между коэффициентом C и C_1 .

Для снятия параметров АД использован стандартный блок измерений для электрических двигателей из библиотеки SimPowerSystems, пакета Matlab/Simulink.

В результате компьютерного моделирования исследуемой модели получены зависимости, позволяющие оценить работу АД при снижении напряжения на питающих шинах напряжением 6 кВ. Полученные зависимости представлены на рисунках 14, 15, 16.

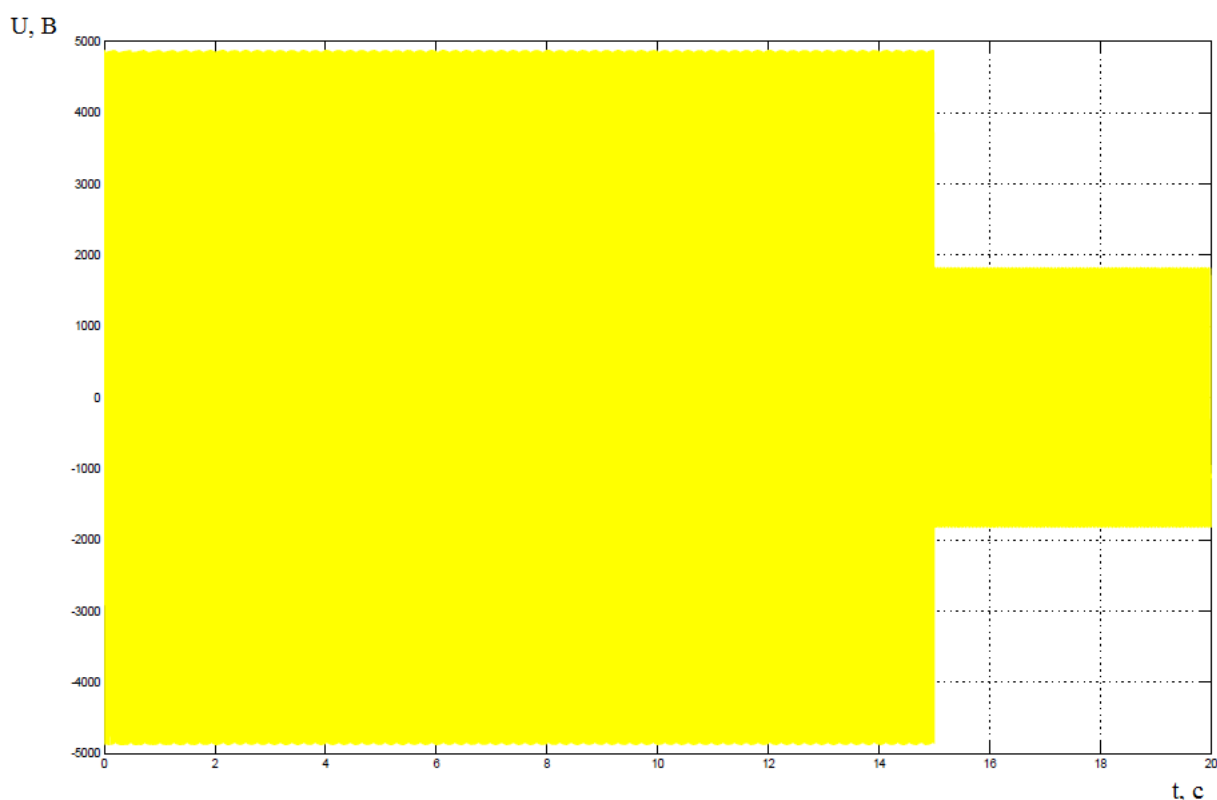


Рисунок 14 – Напряжение на шинах питания АД

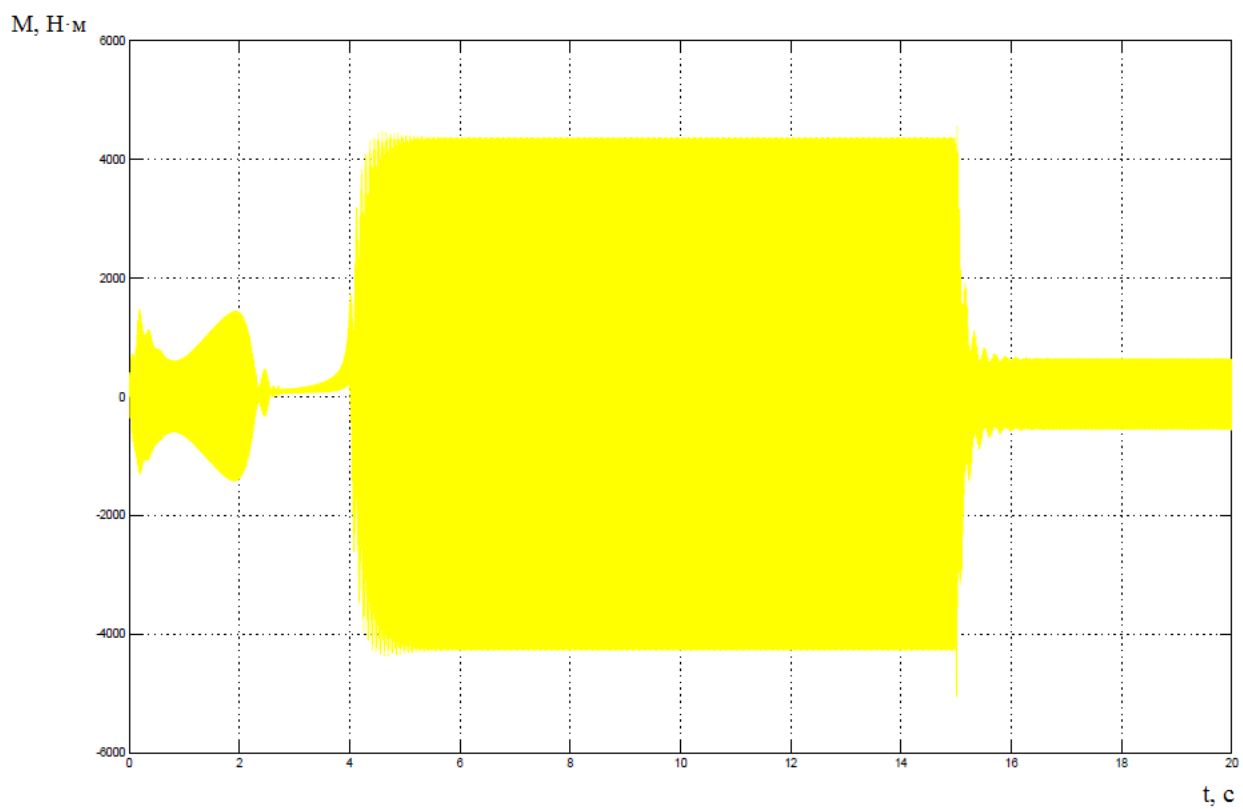


Рисунок 15 – Момент на валу АД

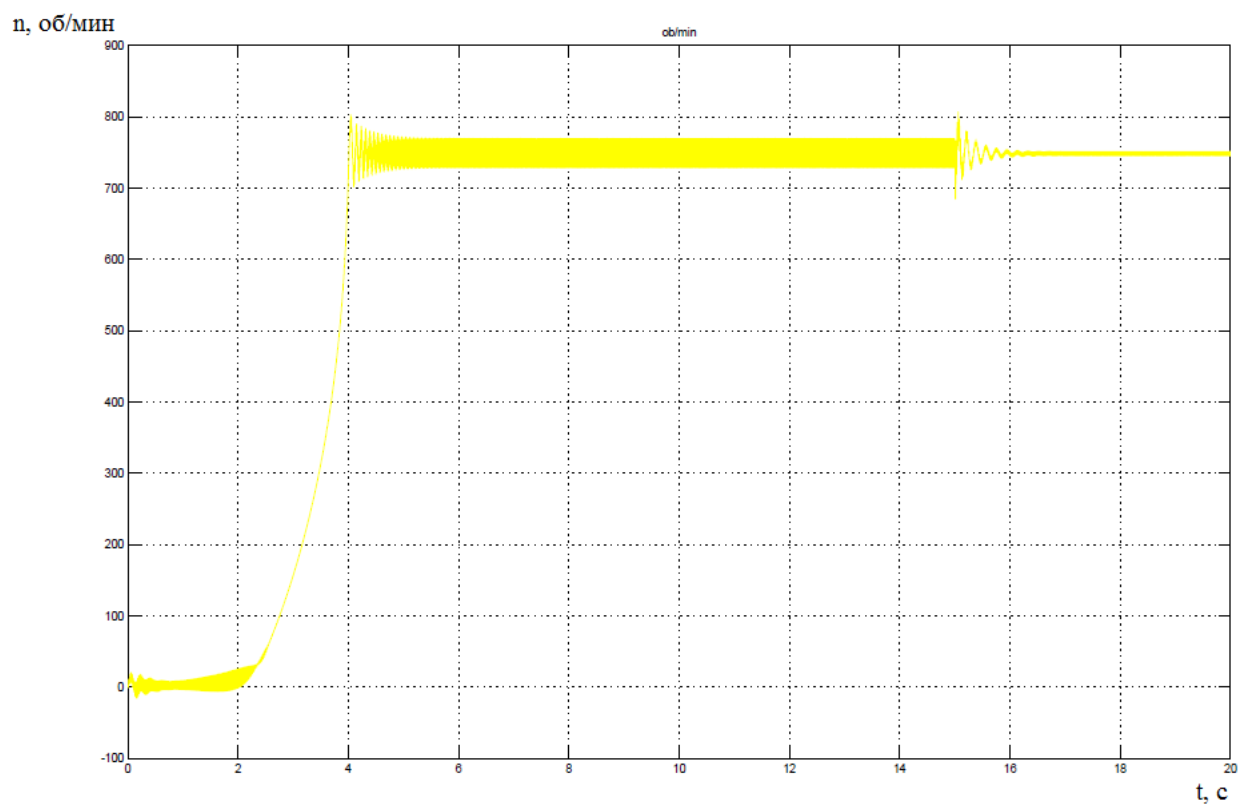


Рисунок 16 – Скорость вращения АД

Из рисунка 16 видно, что скорость вращения двигателя после наброса механической нагрузки остается постоянной и равной номинальной скорости вращения АД - 750 об/мин. Номинальная скорость вращения сохраняется до момента начала снижения напряжения в 15 секунд от начал расчета. Снижение напряжения на питающих шинах вызывает небольшой (кратковременный) переходный процесс, однако АД остается в работе с сохранением номинально скорости (750 об/мин). При этом момент на валу двигателя снижается. По графику напряжения на двигателе видно, что напряжение снизилось практически в два раза. Из рисунков 14, 15, 16 видно, что сохранение устойчивости АД при снижении напряжения на питающих шинах напряжением 6 кВ, возможно только в случае если механический момент на валу двигателя не будет превышать момент вращения двигателя при снижении напряжения.

Для оценки возможности опрокидывания АД при снижении напряжения выполнено моделирование с различными значениями механической мощности на АД. Для этого взяты уставки срабатывания БАВР, напряжение срабатывания $0,6U_{ном}$, а время восстановления напряжения $t=2,5$ с.

На рисунках 17-19 представлены графики, полученные при компьютерном моделировании схемы представленной на рисунке 19. При этом на АД подается механический момент равный 1500 Н·м. Из рисунка 19 видно, что напряжение в 17 секунд от начала расчета снижается, до величины 3,6 кВ. При этом АД теряет устойчивость.

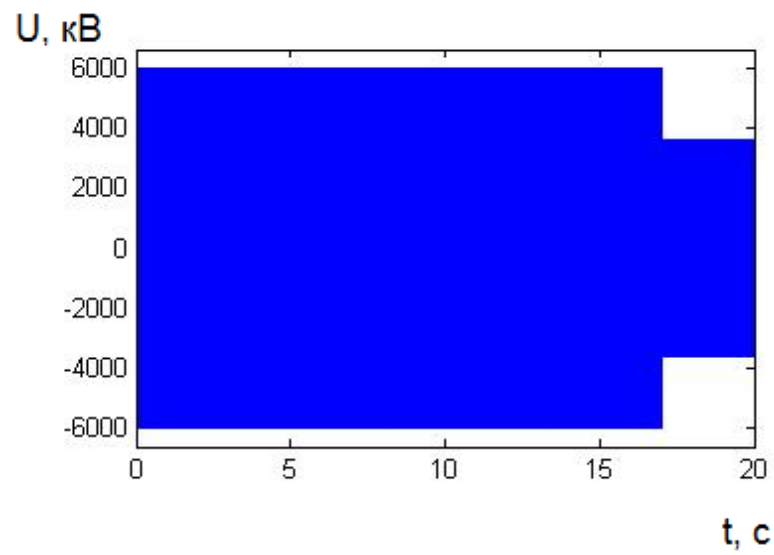


Рисунок 17 – Напряжение на двигателе

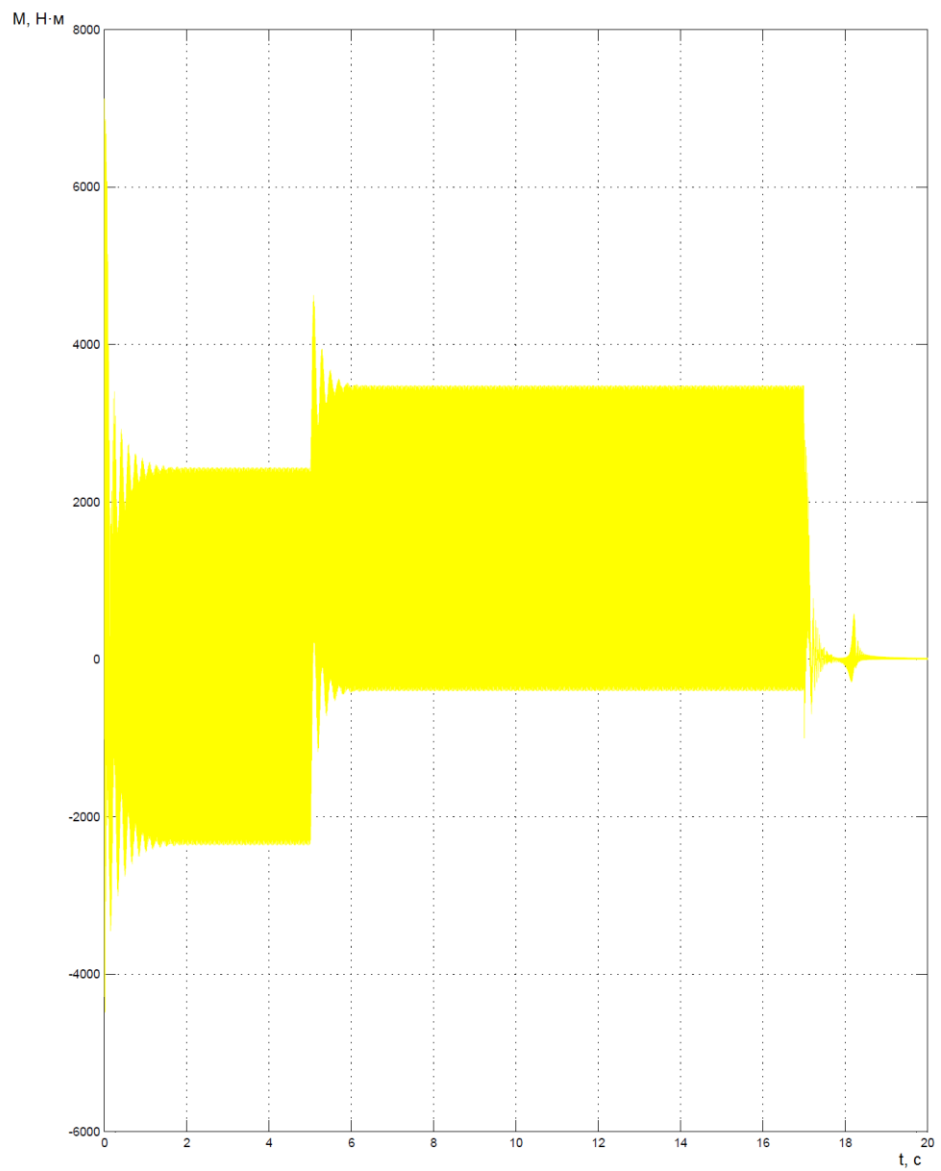


Рисунок 18 – Момент на валу АД

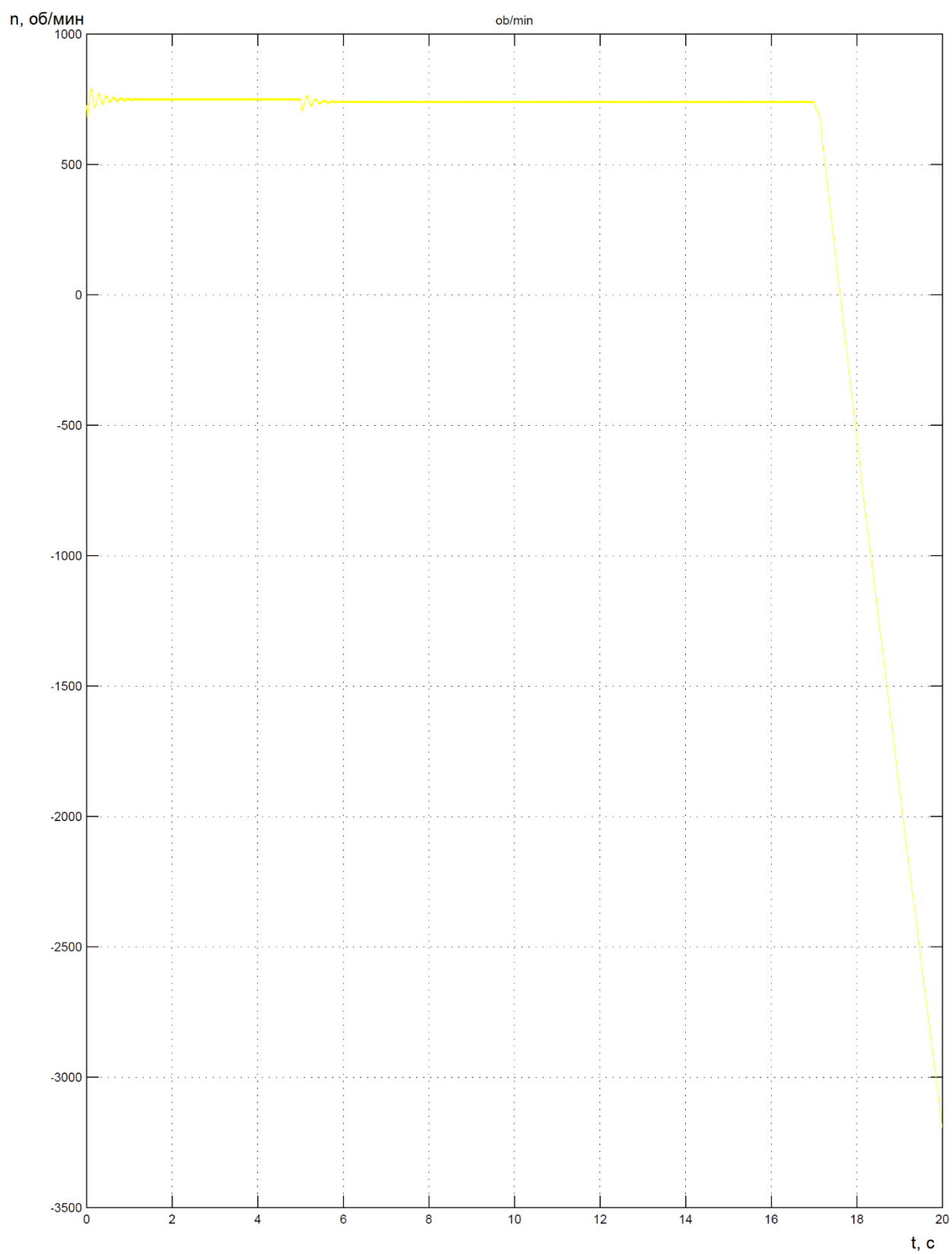


Рисунок 19 – Скорость вращения АД

2.4 Выводы по разделу 2

1. Разработаны компьютерные модели для расчета установившегося режима ПК EnergyCS. Модель расчета установившегося режима необходима для определения значений напряжения в узлах нагрузки при различных режимах внешнего электроснабжения. Подробный расчет установившихся режимов позволит передать значения напряжений в узлах в модель для расчета электромеханических переходных процессов в системе электроснабжения.

2. Разработана компьютерная модель узла двигательной нагрузки в среде MATLAB/Simulink с использованием библиотеки SimPowerSystems. Для формирования моделей для анализа электромеханических переходных процессов, использовались следующие исходные данные: паспортные данные электродвигателей химического предприятия; данные по оборудованию понизительных подстанций, от которых запитано химическое предприятие. В цифровой модели для расчётов электромеханических переходных процессов подробно представлены все синхронные и асинхронные двигатели на напряжение 6 кВ.

3. Установлено, что применение устройств БАВР на химическом предприятии позволяет осуществить синхронный самозапуск СД. При этом также возможно сохранение устойчивости узла нагрузки с СД после потери питания и его восстановления в течение времени, соответствующего действию БАВР (около 0,1 с), а в некоторых случаях и АВР (около 0,5 с).

4. Установлено, что сохранение устойчивости АД при снижении напряжения на питающих шинах напряжением 6 кВ, возможно только в случае если механический момент на валу двигателя не будет превышать момент вращения двигателя при снижении напряжения. Для оценки возможности опрокидывания АД при снижении напряжения выполнено моделирование с различными значениями механической мощности на АД. Для этого взяты уставки срабатывания БАВР, напряжение срабатывания

$0,6U_{\text{ном}}$, а время восстановления напряжения $t=2,5$ с. При таких значениях опрокидывание АД не происходит.

3 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

3.1 Мероприятия по предотвращению внутренних посадок напряжения

На предприятии установлен ряд потребителей, имеющих «вентиляторную» характеристику нагрузки в сочетании с большой мощностью на единицу оборудования и высоким значением кратности пускового тока – 7.

Таблица 20 – Перечень потребителей с большой мощностью и высоким значением кратности пускового тока

Т/К-107/1	AR630-S4-Д4KB	200	1 000	492	1
Т/К 107/2	BAO2-630S-4	250	1 000	490	1
Т/К-300/1	4V-226-04HW1	300	3 000	490	1
Т/К-300/2	1E BOE-155-75-4	300	4 000	500	1
Т/К-300/3	1E BOE-155-75-4	300	4 000	500	1
Т/К-300/4	4V-226-04HW1	300	3 000	490	1
Т/К-317/1	1E BOE-136-74-4	900	2 000	500	1
Т/К-317/2	1E BOE-136-74-4	900	2 000	500	1
Т/К 317/3	4V-208-04HW1	400	2 000	490	1
Т/К-317/4	4V-208-04HW1	400	2 000	492	1

В частности, это турбокомпрессор Т/К-300/4 с двигателем 4V-226-04HW1. Так 14.04.2017 в 8:45:00 запуск этого агрегата привел к следующему: при пуске ТК-300/4 мощностью 3,3МВт установки БК-8 произошло снижение напряжения на 4СШ ГПП-3, что привело к отключению технологических агрегатов на установках Е-1; Д-3-5; Д-4; Д-6. Отработала автоматика БАПР на ПС44, ПС16, ПС9. Сработали защиты ЗМН на электродвигателях 0,4кВ, остановившихся технологических позициях. Аналогичная ситуация возможна и на установке БК-3.

Для исключения повторения подобных аварий рекомендуется оснастить турбокомпрессоры Т/К-300/1 и Т/К-300/4 устройствами плавного пуска. Возможные варианты модернизации предлагаются ниже.

Преобразователи частоты серии ABS-DRIVE-A и ABS-DRIVE-S, производства ОАО "Всероссийский научно-исследовательский институт релестроения с опытным производством" представляют собой современный автономный инвертор напряжения по многоуровневой схеме с интегрированным многообмоточным силовым трансформатором. В ABS-DRIVE силовое преобразовательное устройство состоит из низковольтных частотно-преобразовательных модулей, соединенных последовательно. Серия ABS-DRIVE-A предназначена для регулирования скорости **асинхронных** электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Они используются в качестве приводов механизмов с «вентиляторной» нагрузочной характеристикой (насосы, дымососы, вентиляторы, компрессоры и т.д.)

Преимущества ПЧ:

- лучшее соотношение цена/качество;
- многоуровневая схема формирования выходного напряжения обеспечивает синусоидальную форму выходного тока при минимальном уровне высших гармоник, потому отсутствует необходимость установки

выходных фильтров электродвигателя для улучшения формы выходного тока;

- интегрированный силовой многообмоточный трансформатор в составе единого щита и новейшая схема построения преобразовательной части обеспечивают синусоидальность потребляемого тока и минимальное влияние на питающую сеть высших гармоник;
- повышенная надежность работы, так как даже в случае отказа силовой ячейки продолжится регулирование электродвигателя со снижением выходной мощности до планового ремонта преобразователя;

Сниженные механические нагрузки продлевают срок эксплуатации компрессора, соединительных звеньев и двигателя. Ограниченные пусковые токи позволяют большим компрессорам запускаться даже при ограниченной мощности сети. Эффективная система защит и система самодиагностики неисправностей:

- от коротких замыканий внутри и на выходе преобразователя частоты;
- время-токовая защита;
- максимально-токовая защита;
- от перенапряжений;
- от перегрева преобразователя частоты, в том числе при исчезновении принудительной вентиляции;
- от перегрева двигателя (при наличии встроенного термодатчика);
- от исчезновения напряжения сети;
- от недопустимого повышения и понижения напряжения сети;
- от открытия дверей щита;
- защита при отказе силовой ячейки с одновременным ее шунтированием, понижением выходной мощности и сохранением регулирования электродвигателя;

Для двигателя турбокомпрессора ТК-300/4 мощностью 3,3МВт установки БК-8 применим преобразователь частоты **ABS-DRIVE-A 06/500**, с выходным током 500А (мощность нагрузки до 4 МВт)

Габаритные размеры модуля ПЧ (ШхГхВ) 9366х1500х3934. Масса модуля – не более 18 000 кг.

Применение преобразователя частоты позволит снизить кратность пускового двигателя до величины не более 1,5. Ином, что исключит перегрузку ГПП-3/6-4 и отключение ПС-9, ПС-16, ПС-44, процедура запуска турбокомпрессора ТК-300/4 не вызовет срабатывание БАПР.

Альтернативный вариант – Высоковольтные устройства плавного пуска типа SSM мощность от 150 кВт до 22 МВт напряжение от 2,3 кВ до 15 кВ для синхронных и асинхронных двигателей, поставляемых ООО «АББ Автоматизация», г. Чебоксары

Устройства плавного пуска (УПП) серии SSM разработаны для осуществления плавного безударного пуска высоковольтных асинхронных и синхронных электродвигателей практически для всех областей применения, где не требуется регулирования скорости вращения.

Высоковольтные УПП типа SSM позволяют:

- осуществлять плавное нарастание/снижение напряжения в течение заданного времени при пуске/останове двигателя с контролем тока и момента;
- значительно уменьшить пусковые токи двигателей;
- в сетях с ограниченной мощностью КЗ резко уменьшить провалы напряжения сети при пуске двигателей;
- существенно снижать при пуске электродинамические усилия на обмотки двигателя и ударные механические воздействия на механизмы.

Для электродвигателя мощностью 3,3МВт установки БК-8 привода турбокомпрессора применимо устройство плавного пуска SSM-60400 с ячейкой ввода, либо без неё.

3.2 Мероприятия по повышению внутрисистемной надежности системы электроснабжения химического предприятия

Для повышения внутрисистемной надежности системы электроснабжения химического предприятия необходимы следующие мероприятия:

1. Установка систем самозапуска и автоматического повторного пускав системах управления электродвигателей ответственных технологических позиций;

2. Произвести расширение функциональных возможностей существующих систем АСУТП для организации повторного пуска технологических позиций через автоматизированную систему управления, по заданным алгоритмам с учетом информации (сигнала) о посадке напряжения на питающих секциях;

3. Оснащение устройствами дистанционного управления приводами РПН и внедрение блоков автоматического регулирования (АРН).

В ходе обследования оборудования главных понизительных подстанций было установлено, что регулирование под напряжением силовых трансформаторов напряжением 110/6 кВ до оптимальных параметров производится оперативным персоналом вручную.

Для автоматического управления электроприводом РПН нижеследующих силовых трансформаторов (кроме Т-2 ГПП-2) под нагрузкой, контроля его положения и исправности предлагаем оснастить устройствами дистанционного управления приводом и внедрить блоки автоматического управления РПН на трансформаторах, приведенных в таблица 21.

Предлагается оснастить два трансформатора из перечня, представленного в таблице 21.

Таблица 21 – Перечень оборудования

№ п/п	Наименование п/ст	Тип трансформатора	Кол-во
----------	----------------------	--------------------	--------

1	ГПП-1	ТДН-31500/110/6	2
2		ТРДН-32000/110/6	1
3	ГПП-2 (Т-1)	ТДН-31500/110/6	1
4	ГПП-3	ТРДН-40000/110/6	2
5	ГПП-4	ТРДН-40000/110/6	2
6	ПС 3	ТРДН-10000/110/6	1
7		ТМ-10000/35/6	2
	Итого		11

Благодаря применению автоматики отпадет необходимость ручного управления - автоматика следит за изменениями напряжения и при необходимости менять коэффициент трансформации, поэтому при любой нагрузке трансформатора на выходе вторичной обмотки (6 и 10 кВ) будет обеспечено необходимое напряжение.

При необходимости произвести замену переключающие устройства работающих трансформаторов типа РС-4, в настоящее время не выпускающихся на РС-9.

Переключающие устройства RS9 / RS9.3 предназначены для изменения коэффициента трансформации в силовых трансформаторах под нагрузкой. Благодаря их высокой надежности, переключающие устройства этой серии могут использоваться и в печных трансформаторах, в трансформаторах для электролиза и др.

Переключающие устройства RS9.3 исполняются с круглым несущим фланцем, а переключающие устройства RS9 – с овальным несущим фланцем. Все остальные технические данные для них одинаковы.

Переключающее устройство РС-9.3 имеет компактную конструкцию, которая позволяет уменьшить габаритные размеры трансформатора и облегчает доступ для присоединения ответвлений регуляционной обмотки. Они могут встраиваться в трансформаторы колокольного типа без разъединения основных узлов (масляного сосуда и избирателя).

Состав переключающего устройства RS9.3 / 9

- масляный сосуд для контактора
- высокоскоростной контактор резисторного типа
- избиратель
- предизбиратель

Переключающие устройства РС9 производятся в различном исполнении в зависимости от номинального тока, номинального напряжения числа фаз, числа ступеней регулирования, вида предизбирателя. Варианты исполнения:

- Стандартная конструкция для работы в странах с умеренным климатом.
- Специальные конструкции для работы в странах с тропическим или холодным климатом.
- Специальные исполнения по требованиям клиентов.

Комплект переключающего устройства РС9.3 с моторным приводом МЗ4.1 отвечает требованиям стандарта IEC 60214 1- 2003.

Таблица 22 – Технические параметры переключающих устройств типа РС

Переключающее устройство-стандартное исполнение ¹		RS 9.3 III 20 0	RS9.3 III 400	RS 9.3 III 63 0	RS 9.3 I 20 0	RS9.3 I 400	RS 9.3 I 63 0	RS 9.3 I 80 0	RS9.3 I 1200	RS 9.3 I 16 00
Число фаз и предназначение		3 (нейтраль)				1 фаз				
Максимальный номинальный ток нагрузки (А)		20 0	400	63 0	20 0	400	63 0	80 0	1200	16 00
Устойчивость к короткому замыканию (кА)	Термическая (для эффективной величины	4	8	12.6	4	8	12.6	16	24	24

	Динамическая (пиковая)	10	20	31.5	10	20	31.5	40	60	60
Номинальное ступенчатое напряжение на фазе (V)		4000	3500	3000	4000	3500	3000	3000	2500	2000
Номинальная переключающая способность (kVA)		800	1400	1890	800	1400	1890	2000	3000	3200
Номинальная частота (Hz)		50...60								
Изоляция к земле	Наивысшее напряжение сооружения U_{rn} (kV. r.m.s)	41.5	72.5	123	170	245	300			
	Номинальное выдержанное напряжение промышленной частоты (kV. 50Hz. 1 min)	110	140	230	325	460	460			
	Коммутационный импульс (kV,	—	—	—	—	850	850			

		250/2500)															
		Номинальное импульсное выдержанное напряжение (kV,1.2/50)	250	350	550	750	1050	1050									
Число рабочих положений			Без предызбирателя макс. 18 С предызбирателем макс, of 35														
Избиратель			5 изоляционных уровней (К. L, М. N. Р) в зависимости от требовании к напряжению, определяющихся регуляционной обмоткой. Изоляционный уровень избирателя может быть выбран независимо от класса напряжения														
Давление масла в сосуде контактора			Рабочее давление до 0.3 bar (испытательное давление 0.6 bar). Выдерживает сушку в вакууме.														
Сифон для слива масла из контактора			Стандартное исполнение														
Технология сушки			В вакууме — макс. 110°С В парах керосина — макс. 125°С														
ПУ — типовые исполнения			RS 9.3 III 200/400/630					RS 9.3 I 200/400/630					RS 9.3 I 800/1200/1600				
Изоляционный ряд избирателя			К	L	м	N	Р	К	L	М	N	Р	К	L	м	N	Р
Вес в кг (приблизительно)	без предизбирателя	240	243	248	255	280	203	208	212	217	230	223	228	243	248	255	270
	с	25	26	26	27	31	21	22	22	24	24	23	24	28	28	29	29

	предизби рателем	0	5 4	0	6 8	0	0	1 6	1	2 7	5	0	5 4	0	0 0	0
Объем масла, вымещен ный ПУ в dm ³ (приблиз ительно)	41.5	14 0	1 4 2	14 9	1 5 2	15 6	13 6	1 3 7	14 3	1 4 6	15 0	13 5	1 3 7	14 4	1 4 7	15 2
	72.5 kV	15 0	1 5 2	15 9	1 6 2	16 6	14 4	1 4 7	15 3	1 5 6	16 0	14 5	1 4 7	15 4	1 5 7	16 2
	123 kV	15 9	1 6 1	16 8	1 7 2	17 6	15 5	1 5 6	16 2	1 6 4	16 8	15 4	1 5 6	16 3	1 6 7	17 2
	170 kV	—	1 8 3	19 0	1 9 3	19 7	—	1 7 8	18 2	1 8 5	18 9	—	1 7 8	18 5	1 8 9	19 3
	245 kV	—	—	20 6	2 0 9	21 3	—	—	20 0	2 0 3	20 7	—	—	20 1	2 0 3	20 9
	300 kV	—	—	—	—	—	—	—	20 8	2 1 1	21 5	—	—	21 7	2 1 9	22 5
Количес тво масла в сосудах контакто ра Vs (dm ³) (приблиз ительно)	41.5 kV	100					80					100				
	72.5 kV	110					90					110				
	123 kV	120					100					120				
	170 kV	140					120					140				
	245 kV	155					135					155				
	300 kV	—					150					170				

Блоки микропроцессорные релейной защиты БМРЗ-ЦРН предназначены для выполнения функции управления электроприводами устройств регулирования напряжения трансформатора под нагрузкой (РПН) при автоматическом и ручном регулировании напряжения трансформатора (РНТ) путем изменения коэффициентов трансформации трансформатора.

Блок имеет возможность управлять электроприводами нескольких параллельно работающих РПН. Предусмотрено регулирование трехфазного трансформатора с однофазными РПН или группы однофазных трансформаторов. Блок является общесекционным устройством контроля напряжения, автоматики и сигнализации в составе шкафов защиты трансформаторов (автотрансформаторов) с высшим напряжением до 330 кВ.

Блоки могут включаться в АСУ и информационно-управляющие системы в качестве подсистемы нижнего уровня. Подключение блока к АСУ осуществляется либо через штатный интерфейс RS-485, либо через волоконно-оптическую линию связи (ВОЛС).

Условия эксплуатации БМРЗ-ЦРН.

- рабочий диапазон температур от минус 40 до плюс 55 °С;
- относительная влажность воздуха до 98% при плюс 25 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- атмосферное давление - от 73,3 до 106,7 кПа (от 550 до 800 мм рт. ст.);
- высота установки над уровнем моря не более 2000 м;
- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных паров и газов, разрушающих изоляцию и металлы.

Место установки должно быть защищено от попадания брызг воды, масел, эмульсий, а также от прямого воздействия солнечной радиации.

Блок соответствует группе механического исполнения М7 по ГОСТ 17516.1-90. Блок соответствует II категории сейсмостойкости по НП-031-01 - землетрясения интенсивностью 9 баллов по MSK-64 при уровне установки над нулевой отметкой до 10 м по ГОСТ 17516.1-90.

Эксплуатационные возможности блоков БМРЗ-ЦРН. Функции управления и автоматики БМРЗ-ЦРН:

- контроль трехфазных напряжений и напряжения нулевой последовательности, что обеспечивает контроль исправности трансформатора напряжения (ТН);

- контроль тока вводного выключателя, секционного выключателя и двух отходящих линий, что позволяет реализовать встречное регулирование напряжения либо по нагрузке секции, либо по нагрузке одной из отходящих линий

- управление как трехфазными, так и однофазными приводами РПН с дифференцированным контролем работы привода (приводов) РПН в процессе отработки команд управления;

- управление приводами РПН однотипных параллельно работающих трансформаторов в режиме синхронизации переключений без дополнительного оборудования;

- регулирование в соответствии с уставкой напряжения поддержания или по суточному почасовому графику нагрузки, имеющему 24 уровня напряжения поддержания;

- два варианта задержки выдачи сигналов переключения: постоянная и интегральная, что позволяет учитывать динамические характеристики нагрузки сети и обеспечивать высокое качество регулирования напряжения при небольшом количестве операций переключений;

- обнаружение перенапряжения с автоматическим формированием команд ускоренного снижения напряжения;

- блокировку по максимальному току, минимальному напряжению, максимальному напряжению нулевой последовательности, неисправности цепей напряжения.

4. Для повышения быстродействия, точности и селективности электрических защит на подстанциях 110-6кВ предприятия, проработать возможность замены существующих систем РЗА, реализованных на базе устаревших электромеханических реле, на современные микропроцессорные системы

5. Замена баковых масляных выключателей 110 кВ на элегазовые

По материалам энергообследования выяснилось, что на ГПП-1,2,3,4 в работе находятся отработавшие свой ресурс баковые многомасляные выключатели, согласно таблицы 23.

Таблица 23 – Перечень оборудования

Наименование оборудования	Тип оборудован ия	Год выпус ка	К ол-во, шт
ГПП-1			
Выключатель	У-110-8	1972	1
Выключатель	У-110-2000	1980	1
Выключатель	У-110-2000	1983	1
ГПП-2			
Выключатель Т-1	У-110-2000	1982	1
ГПП-3			
Выключатель	МКП-110	1980	2
ГПП-4			
Выключатель	МКП-110- 2000	1980	2
Итого			8

Баковые многомасленные выключатели типов У-110-2000 и МКП-110-2000, эксплуатируемые на ТПП морально и физически устарели, требуют наличия запасов трансформаторного масла и замены его в баках после 5-6 отключений К.З., достаточно трудоемки в ремонте, имеют пониженную надежность по сравнению с современными элегазовыми выключателями. С учетом прекращения их выпуска промышленностью, возможны трудности с запасными частями к выключателям. Данная замена проводится на большинстве энергоемких и электросетевых предприятий.

Предлагается заменить баковые масляные выключатели на современные элегазовые выключатели типа ВГТ-110-4-2500У1.

Выключатели предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах, в том числе в циклах АПВ, в сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением 110 кВ. Предназначен для эксплуатации на открытом воздухе в районах с умеренным климатом.

Находящиеся в эксплуатации морально и физически устаревшие выключатели создают много проблем.

Устаревшие выключатели и системы их обеспечения требуют больших эксплуатационных расходов. Через каждые 6-7 отключений к.з. требуется замена масла в выключателях.

Элегазовые выключатели при коммутациях создают меньшие перенапряжения и, соответственно, облегчают работу изоляции другого энергетического оборудования.

Элегазовые выключатели являются одним из самых современных типов высоковольтных выключателей и получают все более широкое применение, в основном в КРУ 110–220 кВ. Эти выключатели являются достаточно надежными в работе и долговечными; они позволяют осуществлять не менее 10 тысяч операций включения и отключения номинального тока и 40 отключений номинального тока КЗ.

В качестве дугогасительной, изолирующей и теплоотводящей среды в них применяется электротермический газ (элегаз) — шестифтористая сера SF₆.

Элегаз обладает следующими достоинствами: он безвреден, химически не активен, не горит и не поддерживает горение, обладает повышенной теплопроводностью, удачно сочетает в себе изоляционные и дугогасящие свойства и легкодоступен. Электрическая прочность элегаза в 2,5 раза больше прочности воздуха. Его электрические характеристики обладают высокой стабильностью. При нормальной эксплуатации элегаз не действует на материалы и конструкции, не стареет и не требует такого ухода, как, например, масло.

В процессе обслуживания элегазовых выключателей персонал обязан следить за давлением элегаза в резервуарах выключателей, с тем чтобы предотвратить чрезмерные утечки элегаза и снижение по этой причине электрической прочности изоляционных промежутков.

Отказами выключателей высокого напряжения являются К.З. в ячейке выключателя из-за его повреждения как при отключении, так и без отключения К.З. на присоединении, а также другие повреждения и неисправности, требующие немедленного вывода выключателя в ремонт (разрушение фарфора, отказы во включении и отключении и т. п.)

Элегазовый аппарат способен отключить ток до 25 кА, при этом количество допустимых коммутаций составляет 20 раз. В то же время масляный выключатель способен отключить ток до 20 кА до 7 раз. После этого необходимо произвести ремонт выключателя, в частности замену масла.

Таблица 3.5 - Сравнительная характеристика масляного и элегазового выключателей

Вид выключателя	Безопасность при эксплуатации	Безопасность по отношению к окружающей среде	Обслуживание	Чувствительность к воздействию окружающей среды	Износостойкость	Размеры
Масляный	Риск возникновения пожара или взрыва	Экологически не безопасен	Периодическая замена масла (необратимая деградация масла при каждом отключении)	Свойства среды отключения могут ухудшаться под воздействием факторов окружающей среды (влажность, пыль и т.д.)	Посредственная	Относительно большие размеры устройства
Элегазовый	Нет риска возникновения взрыва или внешних проявлений	При утилизации или утечке экологически не безопасен	Смазка механизмов управления в минимальном объеме	Нечувствительны: полностью запаянная герметичная камера	Высокая	Небольшие

6. Замена КРУ-2-6Э с горшковыми маломасляными выключателями подстанций на современные КРУ с вакуумными выключателями

На подстанциях предприятия находятся в работе морально и физически устаревшие КРУ-2-6Э с горшковыми маломасляными выключателями типа ВМГНОЭ-Зв.

Недостатками маломасляных выключателей являются:

- взрыво- и пожароопасность, хотя и значительно меньшая, чем у баковых выключателей;
 - невозможность осуществления быстродействующего АПВ;
 - необходимость периодического контроля, доливки, относительно частой замены масла в дугогасительных бачках;
 - трудность установки встроенных трансформаторов тока;
- относительно малая отключающая способность.

Предлагаем существующие КРУ-2-6Э с горшковыми маломасляными выключателями на современные КРУ с вакуумными выключателями серии КУ-10Ц.

Таблица 24 – Сравнительная характеристика масляного и элегазового выключателей

Вид выключателя	Безопасность при эксплуатации	Безопасность по отношению к окружающей среде	Обслуживание	Чувствительность к воздействию окружающей среды	Износостойкость	Размеры
Масляный	Риск возникновения пожара или взрыва	Экологически не безопасен	Периодическая замена масла (необратимая деградация масла при каждом отключении)	Свойства среды отключения могут ухудшаться под воздействием факторов окружающей среды (влажность, пыль и т.д.)	Посредственная	Относительно большие размеры устройства
Вакуумный	Нет риска возникновения взрыва или внешних проявлений	Отсутствие загрязнения окружающей среды	Смазка механизмов управления в минимальном объеме	Нечувствительны: полностью запаиваемая герметичная камера	Высокая	Негабаритные

7. Построение системы Диспетчеризации и автоматизации системы управлением энергохозяйством

Энергетическое хозяйство предприятия требует централизованной координации работы, управления и контроля за состоянием всех энергетических объектов и сетей. От ритмичности и бесперебойности энергоснабжения в значительной степени зависит в целом выполнение предприятием производственного плана, от себестоимости получения и распределения различных видов энергии зависит себестоимость выпускаемой предприятием продукции. Кроме того, перерыв в снабжении потребителей различными видами энергии может повлечь за собой аварии, последствия которых чреваты значительным материальным ущербом и могут вызвать человеческие жертвы. На ТПП это достигается организацией диспетчерского управления. Диспетчерское управление электроснабжением предприятия основано на организации ведения оперативной работы дежурным персоналом ЦЭАИ, с применением средств телемеханики, отдельных автоматических устройств - релейной защиты, различных блокировок, комплектов измерительных приборов.

Вследствие применения оборудования, построенного на устаревшей элементной базе существующая система диспетчеризации имеет ряд существенных недостатков:

- Отсутствие развернутой системы телеизмерения (на диспетчерский пульт выведены не все параметры электрической энергии потребителей).
- Все измерения производятся с задержкой.
- Состояние не всех объектов энергосистемы отображается на диспетчерском пульте.
- Система телеуправления не реализована. Нет возможности дистанционно производить переключения на подстанциях, требуется выезд на подстанцию оперативного персонала. Время реагирования оперативного персонала в случаях аварийных ситуаций играет решающее значение.

- Система аварийной и предупредительной сигнализации не отвечает современным требованиям по информированию дежурного персонала.
- Трудности при проведении расследования инцидентов в энергосистеме. Не все события приходят на пульт, нет возможности восстановить последовательность аварийных событий.
- Не реализована функция автоматического поддержания режимов электроснабжения.

- Система релейной защиты и автоматики построена на устаревшей элементной базе (электрохимические реле) и не отвечает современным требованиям к построению защит.

Спроектировать и ввести в эксплуатацию автоматизированную систему диспетчерского управления электроснабжением предприятия, на базе микропроцессорных терминалов релейной защиты и программируемых контроллеров с выводом информации на диспетчерский пульт начальника смены ЦЭАИ. Такая система позволит осуществить:

1. Централизацию контроля и управления работой системы;
2. Повышение оперативности управления и контроля за работой сооружений и сетей;
3. Возможность установления оптимального режима работы оборудования и сетей;
4. Повышение надежности снабжения потребителей;
5. Высвобождение времени оперативного персонала;
6. Более квалифицированное управление системой;
7. Сокращение количества аварий и быструю ликвидацию их последствий, а также расследование происшествий;
8. Экономии энергетических ресурсов.
9. Регистрацию событий и процессов в аварийных режимах, обработку, накопление, архивирование информации;
10. Ведение базы данных реального времени;

- 11.Отображение графической информации в виде схем, графиков и др.;
- 12.Функции управления, в том числе управление коммутационными аппаратами, регулирование и др.;
- 13.Диагностику работы оборудования, определение ресурса работы;
- 14.Выполнение более эффективной функции релейной защиты и автоматики (повышении быстродействия, точности, селективности, надежности).
- 15.Снижение числа ремонтных воздействий на оборудование подстанций за счет увеличения периода межремонтного обслуживания микропроцессорных блоков релейной защиты.

Для повышения надежности электроснабжения предприятия проработать вопрос замены силовых маслонаполненных трансформаторов, установленных на подстанциях предприятия и имеющих значительное превышение срока эксплуатации.

Таблица 25 – Перечень трансформаторов превысивших эксплуатационный ресурс

Наименование	ТИП	Введен в эксплуатацию
ГПП-1 Т-1	ТДН-31500/	1969г.
ПС-57 Т-1, Т-2, Т-3	ТМП-2500/10	1986г.
ПС48 Т-1, Т-2	ТМЗ-1000/10	1978г.
ПС-16 Т-1	ТМ-1000/10	1967г.
ПС-9 Т-2	ТМ-1000/10	1965г.
ПС-29 Т-3, Т-4	ТМЗ-630/10	1978г.
ПС-58 Т-1, Т-2	ТМ-250/10	1962г.
ПС-21 Т-3	ТАМ-750/10	1965г.
ПС-39 Т-1	ТМЗ-1000/10	1967г,

Таким образом, перечисленные в данном разделе мероприятия позволят повысить внутрисистемную надежность системы электроснабжения

химического предприятия, что в свою очередь приведет к значительному снижению аварийных ситуаций (остановов оборудования) из-за внутренних и внешних возмущений.

3.3 Выводы по разделу 3

1. Для повышения надежности электроснабжения предприятия предлагается выполнить замену трансформаторов распределительной сети предприятия, которые исчерпали эксплуатационный ресурс. Перечень трансформаторов, предлагаемых для замены указан в разделе 3 выпускной квалификационной работы.

2. Для повышения эффективности управления системой распределения электрической энергии химического предприятия предлагается спроектировать и ввести в эксплуатацию автоматизированную систему диспетчерского управления электроснабжением предприятия, на базе микропроцессорных терминалов релейной защиты и программируемых контроллеров с выводом информации на диспетчерский пульт начальника смены ЦЭАИ.

3. Для повышения скорости отключения и на предприятии предлагается выполнить замену устаревших баковых масляных выключателей на современные элегазовые выключатели типа ВГТ-110. Данный тип выключателей имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с морально устаревшими баковыми масляными выключателями. Данное мероприятие позволит повысить эффективность переключений в системе электроснабжения химического предприятия.

4. Предлагается выполнить замену устройств регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) на устройства автоматического управления электроприводом РПН, которые также обеспечивают возможность контроля его положения РПН и его работоспособности. Также предлагается оснастить РПН устройствами дистанционного управления приводом и внедрить блоки автоматического управления РПН на трансформаторах ГПП.

5. Для синхронных и асинхронных двигателей предлагается использовать устройства плавного пуска, либо устройства частотного регулирования. Применение устройств регулирования частоты позволит снизить кратность пускового двигателя до величины не более $1,5I_{ном}$, что исключит перегрузку ГПП-3/6-4 и отключение ПС-9, ПС-16, ПС-44, процедура запуска турбокомпрессора ТК-300/4 не вызовет срабатывание БАВР. В качестве альтернативного варианта предлагается использовать высоковольтные устройства плавного пуска типа SSM мощность от 150 кВт до 22 МВт напряжение от 2,3 кВ до 15 кВ для синхронных и асинхронных двигателей, поставляемых ООО «АББ Автоматизация», г. Чебоксары. Устройства плавного пуска (УПП) серии SSM разработаны для осуществления плавного безударного пуска высоковольтных асинхронных и синхронных электродвигателей практически для всех областей применения, где не требуется регулирования скорости вращения.

6. Предложенные мероприятия позволят повысить устойчивость двигательной нагрузки химического предприятия при возмущениях во внешней системе, а также при внутренних возмущениях. При этом использование современных цифровых контроллеров совместно с системой диспетчеризации позволит качественно быстро реагировать на аварийные ситуации и управлять режимом работы системы электроснабжения промышленного предприятия.

Заключение

1. Анализ схемных решений системы электроснабжения химического предприятия, проведенный в разделе 1 выпускной квалификационной работы, позволяет сделать вывод о соответствии ее степени надежности требованиям ПУЭ, т.е. схемные решения не могут повлиять на устойчивость работы высоковольтной двигательной нагрузки, участвующей в непрерывном технологическом процессе химического предприятия.

2. Выполненный анализ системы распределение электрической энергии по территории химического предприятия показал, что основная часть распределительной сети выполнена кабелями. Напряжение кабельной распределительной сети химического предприятия составляет 6 кВ. Это связано с большим числом высоковольтных электродвигателей, участвующих в технологическом процессе химического предприятия.

3. Определено, что в общей структуре энергозатрат химического предприятия электроэнергия составляет существенно низкую часть в сравнении с тепловой энергией и водоснабжением, что обуславливается особенностями производства продукции.

4. Определено, что число электродвигателей, относящихся к высоковольтным на предприятии 177 шт., а их установленная мощность составляет 164 МВт, из них большая часть – 114 шт. являются асинхронными, а меньшая часть – 63 шт. являются синхронными. Поэтому при разработке мероприятий и анализе возмущений, необходимо учесть, как синхронные, так и асинхронные высоковольтные электродвигатели, при этом учесть их возможное взаимное влияние друг на друга.

5. Разработаны компьютерные модели для расчета установившегося режима ПК EnergyCS. Модель расчета установившегося режима необходима для определения значений напряжения в узлах нагрузки при различных режимах внешнего электроснабжения. Подробный расчет установившихся режимов позволит передать значения напряжений в узлах в модель для

расчета электромеханических переходных процессов в системе электроснабжения.

6. Разработана компьютерная модель узла двигательной нагрузки в среде MATLAB/Simulink с использованием библиотеки SimPowerSystems. Для формирования моделей для анализа электромеханических переходных процессов, использовались следующие исходные данные: паспортные данные электродвигателей химического предприятия; данные по оборудованию понизительных подстанций, от которых запитано химическое предприятие. В цифровой модели для расчётов электромеханических переходных процессов подробно представлены все синхронные и асинхронные двигатели на напряжение 6 кВ.

7. Установлено, что применение устройств БАВР на химическом предприятии позволяет осуществить синхронный самозапуск СД. При этом также возможно сохранение устойчивости узла нагрузки с СД после потери питания и его восстановления в течение времени, соответствующего действию БАВР (около 0,1 с), а в некоторых случаях и АВР (около 0,5 с).

8. Установлено, что сохранение устойчивости АД при снижении напряжения на питающих шинах напряжением 6 кВ, возможно только в случае если механический момент на валу двигателя не будет превышать момент вращения двигателя при снижении напряжения. Для оценки возможности опрокидывания АД при снижении напряжения выполнено моделирование с различными значениями механической мощности на АД. Для этого взяты уставки срабатывания БАВР, напряжение срабатывания $0,6U_{ном}$, а время восстановления напряжения $t=2,5$ с. При таких значениях опрокидывание АД не происходит.

9. Для повышения надежности электроснабжения предприятия предлагается выполнить замену трансформаторов распределительной сети предприятия, которые исчерпали эксплуатационный ресурс. Перечень трансформаторов, предлагаемых для замены указан в разделе 3 выпускной квалификационной работы.

10. Для повышения эффективности управления системой распределения электрической энергии химического предприятия предлагается спроектировать и ввести в эксплуатацию автоматизированную систему диспетчерского управления электроснабжением предприятия, на базе микропроцессорных терминалов релейной защиты и программируемых контроллеров с выводом информации на диспетчерский пульт начальника смены ЦЭАИ.

11. Для повышения скорости отключения и на предприятии предлагается выполнить замену устаревших баковых масляных выключателей на современные элегазовые выключатели типа ВГТ-110. Данный тип выключателей имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с морально устаревшими баковыми масляными выключателями. Данное мероприятие позволит повысить эффективность переключений в системе электроснабжения химического предприятия.

12. Предлагается выполнить замену устройств регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) на устройства автоматического управления электроприводом РПН, которые также обеспечивают возможность контроля его положения РПН и его работоспособности. Также предлагается оснастить РПН устройствами дистанционного управления приводом и внедрить блоки автоматического управления РПН на трансформаторах ГПП.

13. Для синхронных и асинхронных двигателей предлагается использовать устройства плавного пуска, либо устройства частотного регулирования. Применение устройств регулирования частоты позволит снизить кратность пускового двигателя до величины не более $1,5I_{ном}$, что исключит перегрузку ГПП-3/6-4 и отключение ПС-9, ПС-16, ПС-44, процедура запуска турбокомпрессора ТК-300/4 не вызовет срабатывание БАВР. В качестве альтернативного варианта предлагается использовать высоковольтные устройства плавного пуска типа SSM мощность от 150 кВт до 22 МВт напряжение от 2,3 кВ до 15 кВ для синхронных и асинхронных двигателей, поставляемых ООО «АББ Автоматизация», г. Чебоксары

Устройства плавного пуска (УПП) серии SSM разработаны для осуществления плавного безударного пуска высоковольтных асинхронных и синхронных электродвигателей практически для всех областей применения, где не требуется регулирования скорости вращения.

14. Предложенные мероприятия позволят повысить устойчивость двигательной нагрузки химического предприятия при возмущениях во внешней системе, а также при внутренних возмущениях. При этом использование современных цифровых контроллеров совместно с системой диспетчеризации позволит качественно быстро реагировать на аварийные ситуации и управлять режимом работы системы электроснабжения промышленного предприятия.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы цель, поставленная в работе достигнута, задачи, поставленные в работе выполнены в полном объеме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Арсеньев, Г.Н. Электропреобразовательные устройства РЭС : учебник / Г. Н. Арсеньев. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2018. 544 с. - ISBN 978-5-8199-0698-9. Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/917935> (дата обращения: 25.06.2020).

2 Москаленко, В. В. Электрический привод : учебник / В.В. Москаленко. Москва : ИНФРА-М, 2020. 364 с. www.dx.doi.org/10.12737/4557. - ISBN 978-5-16-100607-8. Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1044427> (дата обращения: 25.06.2020).

3 Пилипенко, В. Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие / В. Т. Пилипенко. Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с. ISBN 2227-8397. URL: <http://www.iprbookshop.ru/33671.html> (дата обращения: 25.06.2020).

4 Хрущев, Ю. В. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах : учебное пособие / Ю. В. Хрущев, К. И. Заподовников, А. Ю. Юшков. Томск : Томский политехнический университет, 2012. 154 с. ISBN 978-5-4387-0125-5. URL: <http://www.iprbookshop.ru/34740.html> (дата обращения: 25.06.2020).

5 Переходные процессы в электрических системах : сборник задач / Д. В. Армеев, Е. П. Гусев, А. П. Долгов [и др.]. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. 331 с. ISBN 978-5-7782-2498-8. URL: <http://www.iprbookshop.ru/45133.html> (дата обращения: 25.06.2020).

6 Переходные процессы в электрических системах : сборник задач / Д. В. Армеев, Е. П. Гусев, А. П. Долгов [и др.]. Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. 331 с. ISBN 978-5-7782-

2498-8. URL: <http://www.iprbookshop.ru/45133.html> (дата обращения: 25.06.2020).

7 Регулируемый электропривод. Моделирование переходных процессов : методические указания к практическим занятиям и курсовому проекту / составители А. М. Башлыков, В. Н. Мещеряков. Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. 25 с. ISBN 2227-8397. URL: <http://www.iprbookshop.ru/55150.html> (дата обращения: 25.06.2020).

8 Котова, Е. Н. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах : учебно-методическое пособие / Е. Н. Котова, Т. Ю. Паниковская. Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014. 216 с. ISBN 978-5-7996-1254-2. URL: <http://www.iprbookshop.ru/68522.html> (дата обращения: 25.06.2020).

9 Кудряков, А. Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник / А. Г. Кудряков, В. Г. Сазыкин. Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. 263 с. ISBN 978-5-4486-0027-2. URL: <http://www.iprbookshop.ru/70289.html> (дата обращения: 25.06.2020).

10 Кувшинов, А. А. Теория электропривода. Часть 3. Переходные процессы в электроприводе : учебное пособие / А. А. Кувшинов, Э. Л. Греков. Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017. 114 с. ISBN 978-5-7410-1731-9. URL: <http://www.iprbookshop.ru/71338.html> (дата обращения: 25.06.2020).

11 Ким, К. К. Переходные процессы в асинхронной машине : монография / К. К. Ким, К. И. Ким. Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2019. 82 с. ISBN 978-5-4486-0644-1. URL: <http://www.iprbookshop.ru/85848.html> (дата обращения: 25.06.2020).

12 Сенько, В. В. Несимметричные электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебное пособие / В. В. Сенько. Самара : Самарский государственный технический университет,

ЭБС АСВ, 2015. 54 с. ISBN 2227-8397. URL: <http://www.iprbookshop.ru/90647.html> (дата обращения: 25.06.2020).

13 Матвеев, Б. В. Переходные процессы и спектры : учебное пособие / Б. В. Матвеев. Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2019. 193 с. ISBN 978-5-7731-0742-2. URL: <http://www.iprbookshop.ru/93281.html> (дата обращения: 25.06.2020).

14 Митрофанов, С. В. Моделирование в электроэнергетике : учебное пособие / С. В. Митрофанов, Л. А. Семенова. Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2015. 144 с. ISBN 978-5-7410-1346-5. URL: <http://www.iprbookshop.ru/61379.html> (дата обращения: 25.06.2020).

15 Моделирование в электроэнергетике : учебное пособие / М. А. Мастепаненко, И. Н. Воротников, И. К. Шарипов, С. В. Аникуев. Ставрополь : АГРУС, 2018. 128 с. ISBN 978-5-9596-1419-5. URL: <http://www.iprbookshop.ru/92966.html> (дата обращения: 25.06.2020).

16 Любченко, В. Я. Применение математического моделирования в задачах электроэнергетики : учебное пособие / В. Я. Любченко, С. В. Родыгина. Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. 72 с. ISBN 978-5-7782-3627-1. URL: <http://www.iprbookshop.ru/91677.html> (дата обращения: 25.06.2020).

17 Аверченков, В. И. Основы математического моделирования технических систем : учебное пособие / В. И. Аверченков, В. П. Федоров, М. Л. Хейфец. Брянск : Брянский государственный технический университет, 2012. 271 с. ISBN 5-89838-126-0. URL: <http://www.iprbookshop.ru/7003.html> (дата обращения: 25.06.2020).

18 Лизалек, Н. Н. Динамические свойства энергосистем при электромеханических колебаниях. Структурная организация движений и устойчивость : учебное пособие / Н. Н. Лизалек, В. Ф. Тонышев. Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет,

2013. 212 с. ISBN 978-5-7782-2296-0. URL: <http://www.iprbookshop.ru/45086.html> (дата обращения: 25.06.2020).

19 Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink/ И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс; Санкт-Петербург: Питер, 2008. – 288 с.

20 Схемы и программы развития Самарской энергосистемы на 2017-2023 гг. URL: <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/8170/72659> (дата обращения: 20.10.2019).

21 Слодарж, М.И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных двигателей/ М.И. Слодарж. – М.: «Энергия», 1977. 215 с.

22 Кретов Д.А., Лисин Н.В. Анализ динамической устойчивости высоковольтной асинхронной нагрузки химического предприятия // Наука. Технология. Производство - 2019: моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий Материалы всероссийской научно-методической конференции, посвященной 100-летию образования Республики Башкортостан. 2019. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2019. С. 17-21.

23 Лисин Н.В., Кретов Д.А. Моделирование установившегося режима системы электроснабжения промышленного предприятия для анализа устойчивости работы высоковольтной асинхронной нагрузки // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019). Сборник трудов. Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2019. С. 189-193.

24 Симанчев Д.А., Лисин Н.В. Расчет параметров схемы замещения асинхронной высоковольтной нагрузки для создания компьютерной модели. // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019) сборник трудов. Тольятти: ТГУ. 2019. С. 226-229.

25 Хамроев Х., Лисин Н.В. Автоматизированная система контроля и учета электрической энергии промышленного предприятия // «Студенческие

Дни науки в ТГУ» : научно-практическая конференция (Тольятти, 1–30 апреля 2019 года). Тольятти: Изд-во ТГУ, 2018. С. 203-205.

26 Haarla L., Koskinen M., Hirvonen R., Labeau P.-E. Transmission Grid Security. London: Springer-Verlag London, 2011. 166 с.

27 ZhuY. Power System Loads and Power System Stability. London: Springer International Publishing, 2020. 164 с.

28 Conejo A.J., Baringo L. Power System Operations. London: Springer International Publishing, 20218. 296 с.

29 Seifi H.S., Sadegh M. Electric Power System Planning. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 374 с.

30 Pesaran H.M., Mohammadi-Ivatloo B. Optimization of Power System Problems. Zurich: Springer International Publishing, 2020. 382 с.