

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО**  
**«Сибирский федеральный университет»**  
институт

**«Электроэнергетика»**  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
подпись \_\_\_\_\_ Г.Н. Чистяков  
ициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

## **БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Анализ качества электроэнергии потребителей ПС Майрыхская  
ПАО «Россети - Сибирь» - «Хакасэнерго»  
Тема

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_  
должность, ученая степень \_\_\_\_\_  
Е. В. Платонова  
ициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
В. А. Метелев  
ициалы, фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
И. А. Кычакова  
ициалы, фамилия

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Хакасский технический институт –  
филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
институт

«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_Г.Н. Чистяков  
подпись инициалы, фамилия  
«\_\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2021 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме бакалаврской работы**

Студенту \_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

Группа 17-1

Специальность 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код) (наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Анализ качества электроэнергии потребителей ПС «Майрыхская» ПАО «Россети - Сибирь» - «Хакасэнерго»  
Утверждена приказом по институту № 234 от 25.04.2021

Руководитель ВКР Платонова Е. В., доцент кафедры «электроэнергетика»  
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для дипломного ВКР: отчет о проведенном энергетическом обследовании потребителя.

Перечень разделов дипломного проекта:

#### ВВЕДЕНИЕ

1. Характеристика ПС «Майрыхский»
2. Анализ инструментальных замеров
3. Разработка модели ПС «Майрыхский» в программе RastrWin3
4. Анализ характерных режимов работы подстанции в программе RastrWin3
5. Анализ несинусоидальности напряжения на шинах 10 кВ ПС «Майрыхский»
- 6 Мероприятия по улучшению качества напряжения

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

#### Список использованных источников

Перечень обязательных листов графической части:

1. Замеры проведенные на подстанции
2. Режимы полученные в RastrWin3
3. Частотные характеристики

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_ / Е. В. Платонова

(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ / В. А. Метелев

(подпись, инициалы и фамилия студента)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

## **Содержание**

Реферат .....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Характеристика ПС «Майрыхский» .....	8
1.2 Система электроснабжения ПС “Майрыхский” .....	9
2 Анализ инструментальных замеров. ....	16
3. Разработка модели ПС «Майрыхский» в программе RastrWin3.....	22
4. Анализ характерных режимов работы подстанции в программе RastrWin3. ....	23
4.1 Максимальный режим, отключены все БСК.....	23
4.2 Максимальный режим, включены БСК на первую ступень, $Q1 = 175$ кВар и $Q2 = 300$ кВар.....	25
4.3 Максимальный режим, включена вторая ступень БСК, $Q1 = 350$ кВар и $Q2 = 600$ кВар .....	27
4.4 Минимальный режим, все БСК отключены.....	31
4.5 Минимальный режим, включены БСК на первую ступень, $Q1 = 175$ кВар и $Q2 = 300$ кВар.....	32
4.4 Минимальный режим, включена вторая ступень БСК, $Q1 = 350$ кВар и $Q2 = 600$ кВар .....	33
5 Анализ несинусоидальности напряжения на шинах 10 кВ ПС «Майрыхский».....	37
5.1 Частотная характеристика входного сопротивления при установке КБ на шинах 10 кВ .....	38
5.2 Частотная характеристика при установке ФКУ на шинах 10 кВ.....	43
6 Мероприятия по улучшению качества напряжения.....	47
6.1 Моделирование линии в RastrWin3.....	48
6.1.1 Установка напряжений системы при помощи БСК .....	49
6.1.2 БСК включена на вторую ступень .....	51
6.2 Альтернативный способ выравнивания напряжения.....	52
Заключение .....	55
Список использованных источников .....	56

## **РЕФЕРАТ**

Тема данной выпускной квалификационной работы – Анализ качества электроэнергии потребителей ПС «Майрыхский» ПАО «МРСК Сибири» – «Хакасэнерго».

Цель выпускной квалификационной работы – исследование качества напряжения на ПС «Майрыхский».

Объект исследования – ПС «Майрыхский».

Предмет исследования – поиск оптимальных вариантов решения проблем связанных с ухудшением качества электроэнергии.

Результатом настоящей выпускной квалификационной работы являются технически-обоснованные предложения по разработке решений, что смогут помочь улучшить качество электроэнергии, а также возможные варианты предотвращения возникновения новых неполадок в системе.

## **THE ABSTRACT**

The topic of this final qualification work is the Analysis of the quality of electricity of consumers at Substation Mayrykhsky, PJSC IDGC of Siberia - Khakasenergo.

The purpose of the final qualifying work is to study the voltage quality at the Mayrykhsky substation.

The object of the research is the SS "Mayrykhsky".

The subject of the research is the search for optimal solutions to problems associated with the deterioration of the quality of electricity.

The result of this final qualification work is technically sound proposals for developing solutions that can help improve power quality, as well as options for preventing new problems in the system.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Вопросы улучшения качества электроэнергии на данный момент стоят довольно обширно. В связи с внедрением новых технологий, развитием производств и многим другим, происходит постоянный рост потребления энергии различными машинами. Вместе с этим происходит усиление требований, предъявляемых к энергетической эффективности, экологичности, безопасности и пригодности оборудования к ремонту.

Электрическая энергия используется во всех сферах жизнедеятельности человека, а соответственно она влияет на качество других видов продукции, влияя на качество их изготовления и не только.

Определение качества электрической энергии несколько отличается от понятия качества других видов товаров. Каждый электроприемник работает при определенных параметрах электрической энергии:

- номинальной частоте;
- номинальном напряжении;
- номинальном токе;

Поэтому для нормального режима его работы должно быть обеспечено требуемое качество электроэнергии.

Таким образом, качество электрической энергии определяется совокупностью ее характеристик, при которых электроприемники могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции.

Одни из наиболее частых факторов ухудшения электроэнергии могут быть следующими:

1. Колебания напряжения. Это может вызвать сбои, снижая срок службы оборудования.
2. Провалы напряжения в сети. Может вызывать нестабильность работы оборудования, а также их отключение.
3. Напряжение несинусоидального типа. При выявлении этого фактора чаще всего повышаются потери энергии. Это чревато замыканиями, пробоями, сбоями защиты сети.

Исходя из поставленной цели, необходимо решить следующие задачи,

1. провести анализ инструментальных измерений показателей качества электроэнергии;
2. разработать модель для расчета и анализа режимов работы подстанции.
3. С использованием модели провести анализ характерных режимов объекта;
4. Разработать мероприятия по регулированию показателей качества напряжения на подстанции;

## **1 Характеристика ПС «Майрыхский»**

ООО «КОУЛСТАР», созданное в октябре 2017 года, имеет лицензию на разведку и добычу каменного угля в границах участков «Майрыхский» и «Бейский-Западный» Бейского каменноугольного месторождения.

ООО «УК «Разрез Майрыхский» создано 12 ноября 2013 года.

В 2014 году получена лицензия на разведку и добычу угля на участке «Майрыхский».

В 2015 году сформирован парк основного горнотранспортного оборудования на основании договоров с подрядными организациями (собственного транспорта у организации не имеется). В 2015 году строятся объекты инфраструктуры: здания промплощадки; 2 линии электропередачи и трансформаторная подстанция; очистные сооружения карьерных вод; углепогрузочный пункт с дробильно-сортировочным комплексом; подъездные ж.д. пути и станция. 28 августа 2015 года отгружены первые кубы породы.

В 2016 году завершено строительство основных объектов инфраструктуры и начата массовая добыча и переработка угля. Годовой объем производства составил 450 тыс. тонн.

19 мая 2017 года добыт первый миллион тонн угля. Введены в эксплуатацию БелАЗы грузоподъемностью 130 тн и электрогидравлические экскаваторы Liebherr с объемом ковша 12 м<sup>3</sup>, задействованные на горных работах. Построена инфраструктура горнотранспортного участка: ремонтный бокс; топливозаправочный пункт. Годовой объем производства составил 1,8 млн тонн. Показатели предыдущего 2016 года увеличены в 4 раза.

В 2018 году введены в эксплуатацию БелАЗы грузоподъемностью 220 тн подрядных организаций в качестве технологического транспорта. Получена лицензия на разведку и добычу угля на участке «Бейский-Западный». Построена установка обогащения угля FGX-12 мощностью до 120 тонн в час. Годовой объем производства составил 3,1 млн тонн.

## **1.2 Система электроснабжения ПС «Майрыхский»**

Однолинейные схемы распределительной сети электроснабжения предприятия приведены на рисунках 1.1-1.2.

Электроснабжение ООО «УК «Разрез Майрыхский» осуществляется от подстанции ПС-110/35 кВ «Райково» по линии ВЛ-35 кВ Т-58 до пункта коммерческого учета электроэнергии, установленного на стороне 35 кВ ПС 35/10 кВ «Майрыхская».

Электроснабжение трансформаторных подстанций различной мощности осуществляется от ячеек отходящих линий от распределительного устройства 10 кВ, питающегося от трансформатора 1Т типа ТМН-6300/35/10 и от трансформатора 2Т типа ТМН-4000/35/10. КРУНН 10 кВ питает все подстанции разреза от двух систем шин (с секционированием): КРУНН-1 10 кВ и КРУНН-2 10 кВ.

По надежности электроснабжения различные потребители предприятия относятся ко II-III категории. Сведения об электропотребителях основного производства приведены в таблице 1.1. К вспомогательному производству относится комплекс АБК (административно-бытовых корпусов), общей мощностью порядка 0,27 МВт.

Таблица 1.1 – Сведения об электропотребителях основного производства по состоянию на 2018 год

Направление оборудования/установки	Тип/марка	Эксплуатационный номер	Количество часов работы оборудования	Установленная мощность, МВт	Потребленная электроэнергия, тыс.кВт.ч
1	2	3	4	5	6
Установка сухого обогащения	FGX48A	1	4320	1,301	5600
Зумпф№1 насос	1д-630-90	1	8760	0,206	46,87
Зумпф№1 насос	1д-630-90	2	8760	0,206	46,87
Зумпф№2 насос	1д-630-90	3	8760	0,206	46,87
Зумпф№2 насос	1д-630-90	4	8760	0,206	46,87
Очистные сооружения насос 1	1д-630-90	5	8760	0,206	46,87
Очистные сооружения насос 2	1д-630-90	6	8760	0,206	46,87
Установка сухого обогащения	FGX12	1	6350	0,41	2047,87
Установка Дробильно Сортировочная	Дробмаш	1	7782	0,11	172,325
АБК	-	-	-	0,27	102,4
ИТОГО				3,327	8209,815

Сведения о мощности ТП 10/0,4 кВ представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Сведения о трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ

Производство , цех, номер подстанции	Год ввода в эксплуатацию	Тип трансформатора	Количество трансформаторов	Суммарная мощность подстанции, кВА	Напряжение, кВ высшее/низшее
1	2	3	4	5	6
КТП «АБК»	2016	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «Очистные»	2016	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «Карьер1»	2016	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «Карьер2»	2016	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «ДСК1»	2017	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «ДСК2»	2017	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «ДСК3»	2017	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «ДСК4»	2017	ТМГ	1	1000	10/0,4
КТП «Сушка»	2018	ТМГ	2	3200	10/0,4
КТП «FGX48»	2018	ТМГ	1	1000	10/0,4
КТП «Рембокс»	2017	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «КПП2»	2017	ТМГ	1	25	10/0,4
КТП «КПП3»	2017	ТМГ	1	25	10/0,4
КТП «АБК Горный»	2016	ТМГ	1	400	10/0,4
ИТОГО				10690	
ПС 35кВ Майрыхская	2016	ТМН	1	6300	35/11
ВСЕГО				16990	

С целью компенсации реактивной мощности на ПС 35/10 кВ «Майрыхский» установлена комплектная конденсаторная установка на напряжение 10 кВ со ступенчатым автоматическим включением конденсаторных батарей. Она используется в целях компенсации реактивной мощности на шинах ККУ-10 кВ, в КРУНН-2. Сведения о конденсаторных установках приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Сведения об устройствах компенсации реактивной мощности

№ п/п	Место установки	Тип	Кол-во	Общая мощность, кVar
1	2	3	4	5
1	КРУНН-1 10 кВ	УКРМФ-10,5-350- 100 УХЛ4	1	350
2	КРУНН-2 10 кВ	УКРМФ-10,5-600- 100 УХЛ4	1	600
ИТОГО			2	950

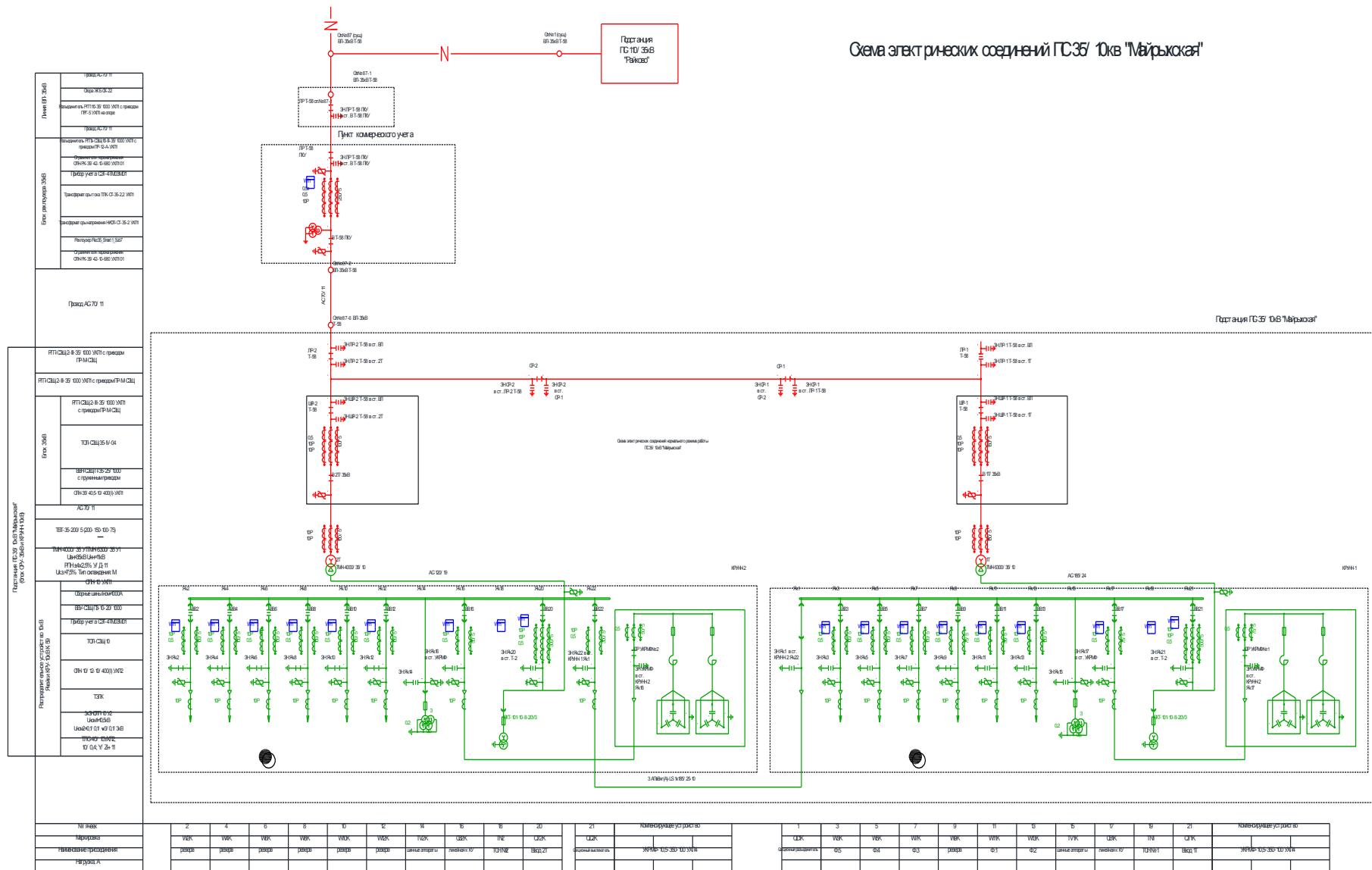
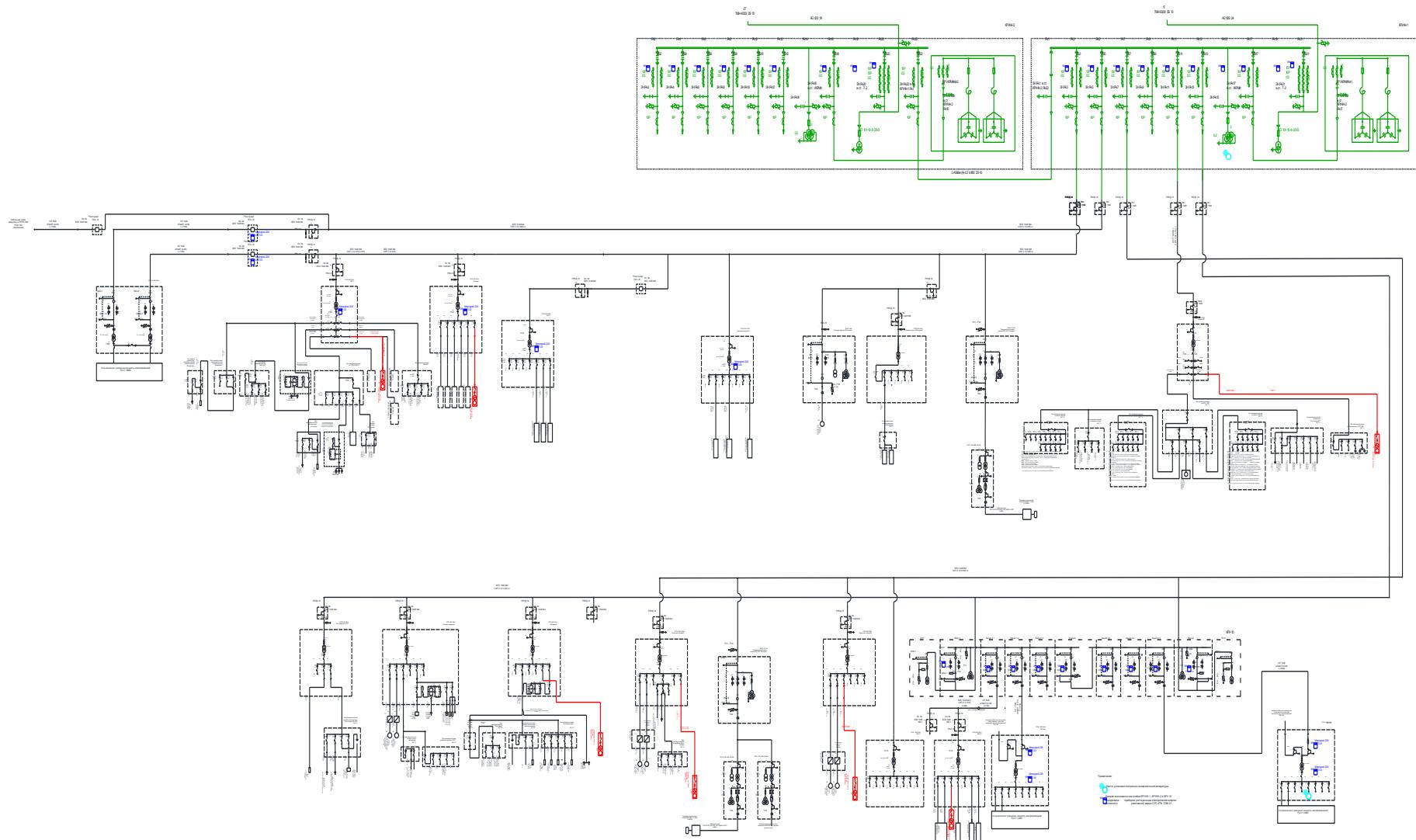


Рисунок 1.2 – Однолинейная схема сети 10/0,4 кВ



Сведения о главной понизительной подстанции приведены в таблице 1.4, сведения о питающих линиях – в таблице 1.5. Используются провода марки АС (неизолированные) на питающей подстанцию ПС 35/10 кВ «Майрыхский» (линии ВЛ-35 кВ), а также провода СИП для питания трансформаторных подстанций от РУ 10 кВ. Во внутренней электропроводке используются кабели типов ВВГ, КГ.

Таблица 1.4 – Главные понизительные подстанции разреза

Подстанции	Тип трансформатора	Количество трансформаторов	Суммарная мощность подстанции, кВА	Напряжение, кВ высшее/низшее
1	2	3	4	5
ПС 35/10 «Майрыхский»	ТМН- 6300/35/10, ТМН- 4000/35/10	2	10300	35/11 кВ

Таблица 1.5 – Сведения о протяженности воздушных и кабельных линий

№ п/п	Класс напряжения	Динамика изменения показателей по годам				
		предшествующие годы				отчетный (базовый) год
		2014	2015	2016	2017	
<b>1 Воздушные линии</b>						
1.1	35 кВ	—	0,4	0,4	0,4	0,4
1.2	10 кВ	—	1,24	3,76	11,2	38,2
	Итого от 6 кВ и выше	—	1,64	4,16	11,6	38,6
1.3	500 В и ниже	—	0,1	0,2	1,3	2,9
	Итого ниже 6 кВ	—	0,1	0,2	1,3	2,9
	Всего по воздушным линиям	—	1,74	4,36	12,9	41,5
<b>2 Кабельные линии</b>						
2.1	10 кВ	—	—	—	—	3,6
	Итого от 6 кВ и выше	—	—	—	—	3,6
2.2	500 В и ниже	—	—	0,32	0,87	3,4
	Итого ниже 6 кВ	—	—	0,32	0,87	3,4
	Всего по кабельным линиям	—	—	0,32	0,87	7,0
	Всего по воздушным и кабельным линиям	—	1,74	4,68	13,77	48,5

Все электродвигатели до 1 кВ мощностью от 30 кВт и выше оборудованы преобразователями частоты; выше 1 кВ — устройствами плавного пуска.

Для резервирования питания установлено 7 дизельных электростанций.

## **2 Анализ инструментальных замеров.**

В результате инструментальных замеров, произведенных на объектах ООО «Угольная компания «Разрез Майрыхский», было выявлено несоответствие качества электрической энергии установленным нормам по установившемуся отклонению напряжения. В точке, где выполнялись замеры, напряжение превышало нормально допустимые значения.

Повышенное напряжение на зажимах электроприемников не только приводит к изменению показателей их работы, но также существенно влияет и на величину потребляемой ими мощности. Так, например, при напряжении, превышающем номинальное на 5% мощность, потребляемая ртутными лампами ДРИ возрастает на 12,2%, а срок их службы сокращается. Повышение напряжения на выводах двигателя приводит к увеличению потребляемой ими реактивной мощности. При этом удельное потребление реактивной мощности растет с уменьшением коэффициента загрузки двигателя. В среднем на каждый процент повышения напряжения потребляемая реактивная мощность увеличивается на 3% и более (в основном за счет увеличения тока холостого хода двигателя), что в свою очередь приводит к увеличению потерь активной мощности в элементах электрической сети.

Используемая аппаратура:

1. Тепловизор инфракрасный TESTO 875-1, заводской номер №01893977.  
Диапазон измерений: температура (-20 ... 280) °C.
2. Термометр цифровой TESTO-925, заводской номер №33784061/005.
3. Прибор для измерений показателей качества электрической энергии и электроэнергетических величин «РЕСУРС UF 2М0», заводской номер №2020.

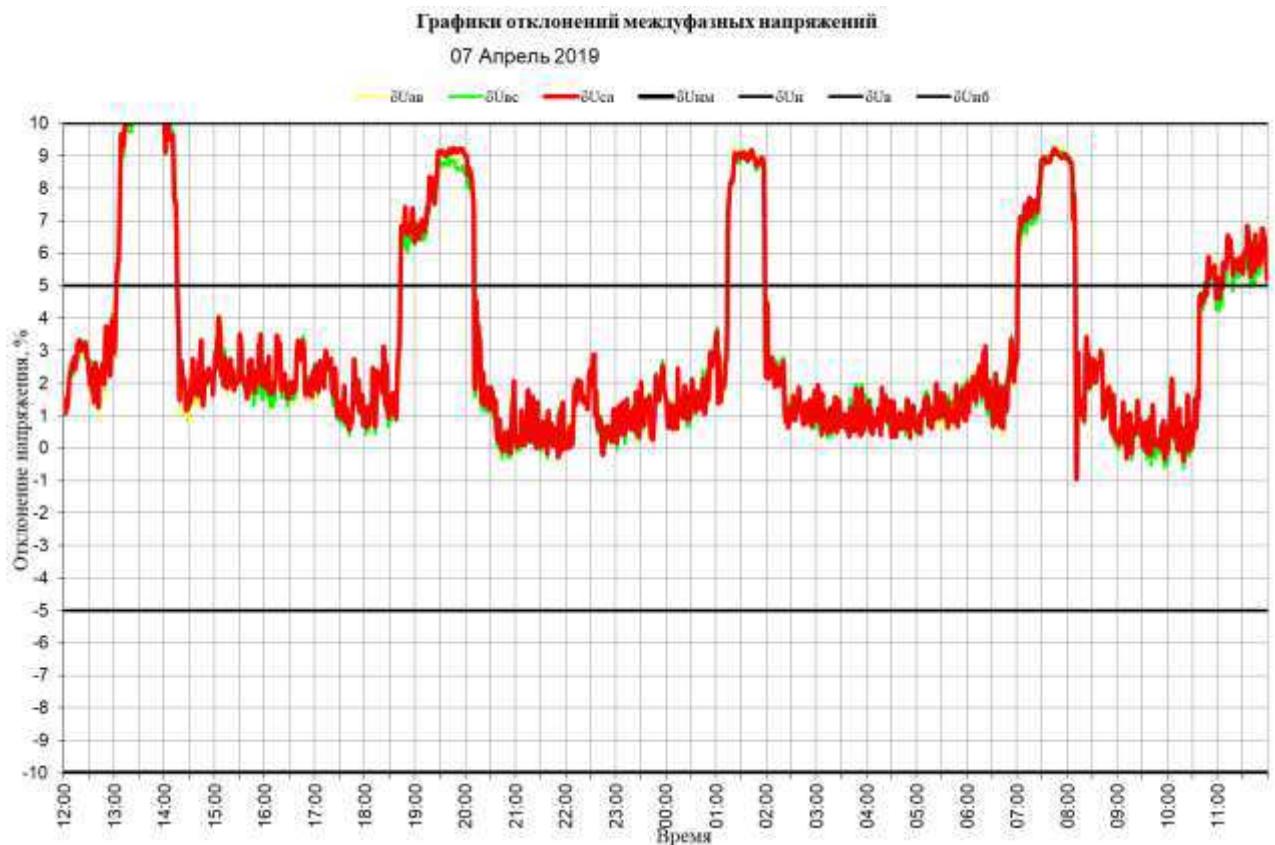


График 2.1 – отклонение междуфазных напряжений

Из данного графика явно видно, что в 90% времени происходит отклонение напряжение на величину превышающую 1%. Как было сказано ранее отклонение напряжение на 1%, может привести к сбою работы аппаратуры, а также увеличению потребляемой реактивной мощности двигателями. Что в свою очередь приводит к увеличению потерь активной мощности.

Графики активной и реактивной трехфазной мощности

07 Апрель 2019

— P — Q

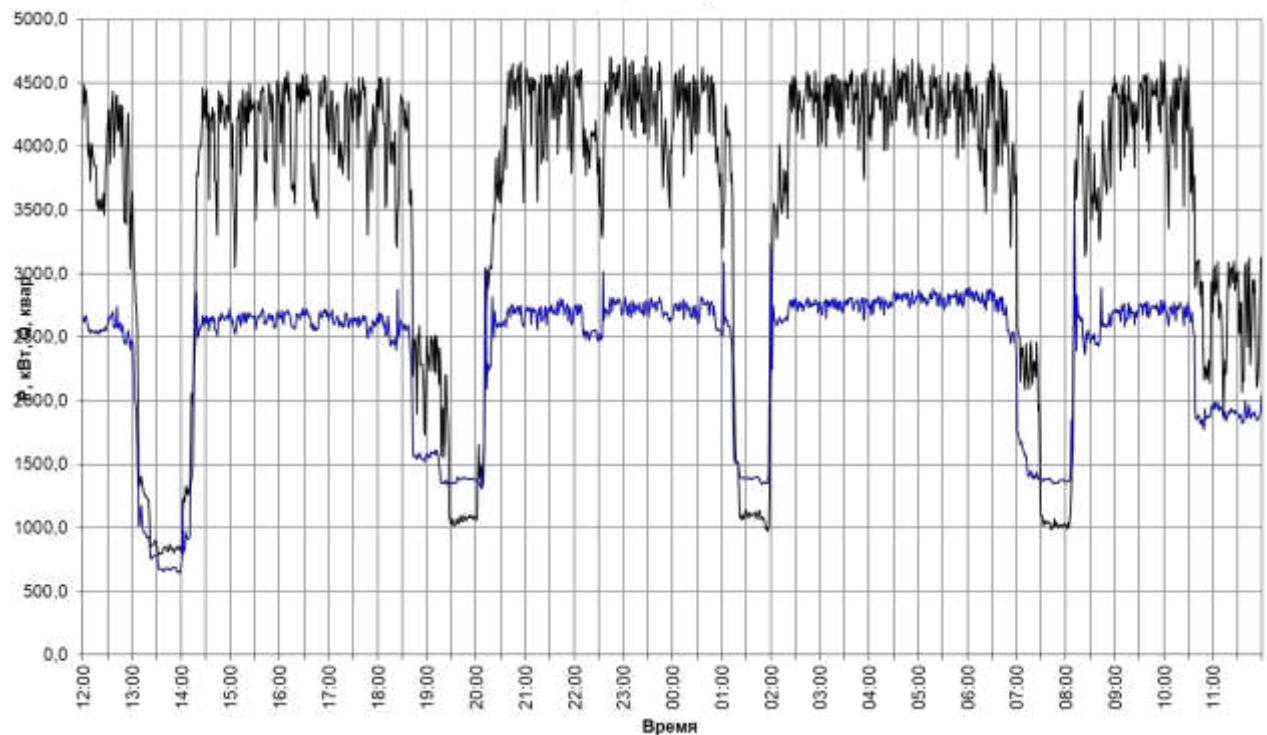


График 2.2 – активная и реактивная трехфазные мощности

Из данного графика, можно точно проследить время, когда значение реактивной мощности превышает значение активной, что плохо влияет на качество электроэнергии. По графику видно, что реактивная мощность превышает активную в следующие значения времени: с 15:17 до 15:23, с 19:31 до 19:56, с 1:26 до 1:35, с 7:24 до 8:06.

График трехфазного коэффициента мощности по первой гармонике

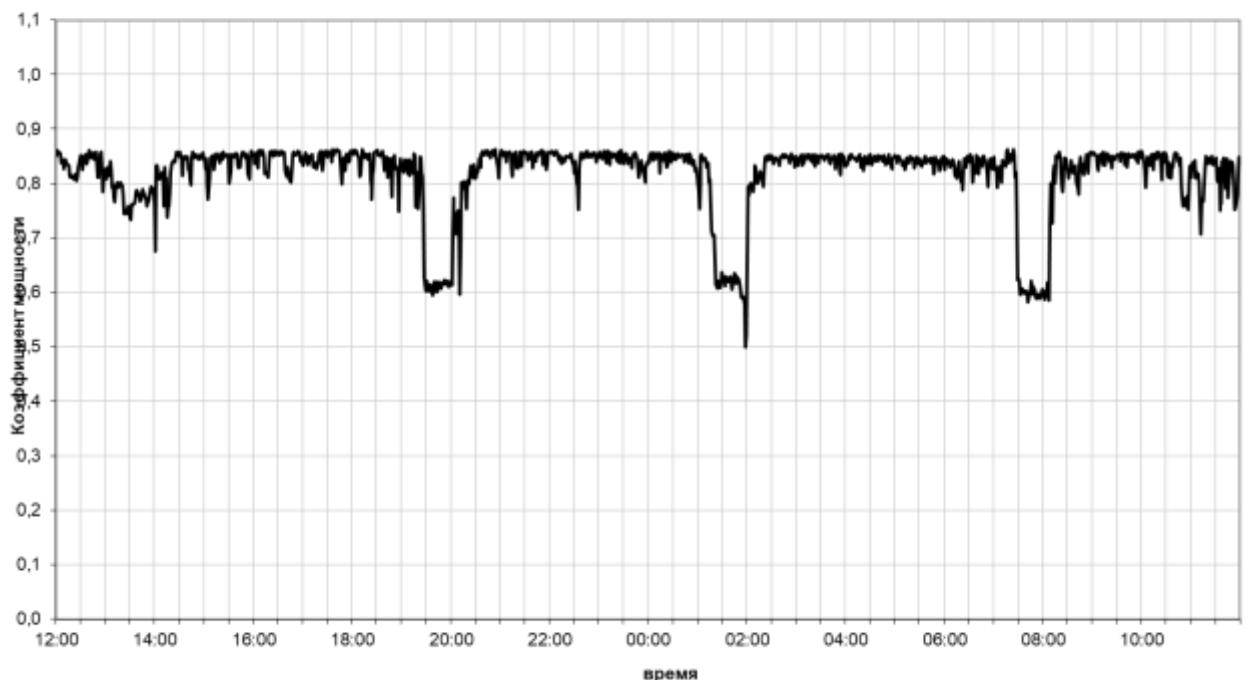


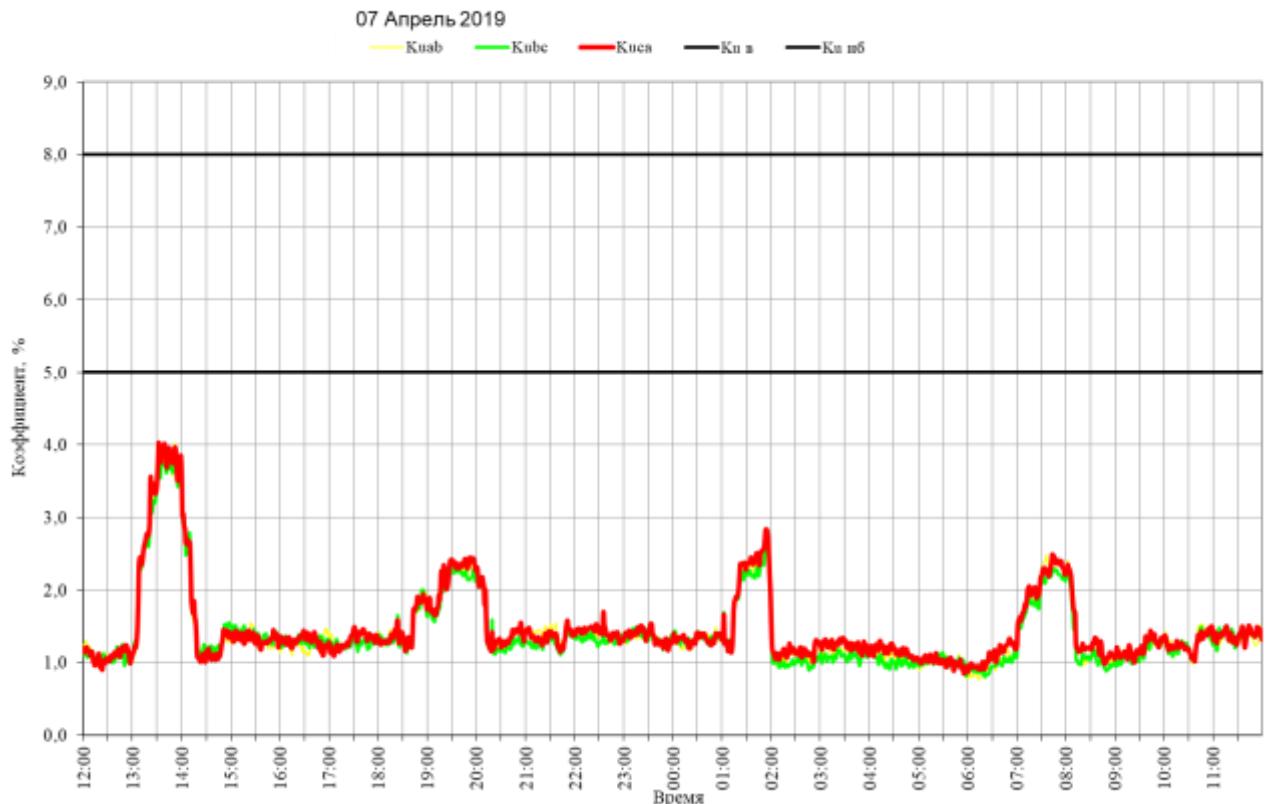
График 2.3 – активная и реактивная трехфазные мощности

Данный график показывает значение коэффициента мощности в определенные промежутки времени. В таблице 2.1 представлены нормативные значения коэффициента мощности. Из таблицы 2.1 видно, что значения коэффициента находятся в промежутке от 0,4 до 0,84, те значения что находятся ниже предела 0,8 весьма плохо влияют на качество электроэнергии, путем того, что из-за этого увеличивается потребление реактивной мощности.

Таблица 2.1 – нормативные значения коэффициента мощности

нормативные значения коэффициента мощности					
Значение коэффициента мощности	Высокое	Хорошее	Удовлетворительное	Низкое	Неудовлетворительное
$\cos \phi$	0,95...1	0,8...0,95	0,65...0,8	0,5...0,65	0...0,5

#### Графики коэффициентов искажения синусоидальности междуфазных напряжений



Искажения вызываются работой ЭП с нелинейной вольт-амперной характеристикой и регулируемых преобразователей переменного тока в постоянный. Высшие гармоники в системе электроснабжения промышленных предприятий, нежелательны по ряду причин: появляются дополнительные потери в электрических машинах, трансформаторах и сетях; затрудняется компенсация реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов; сокращается срок службы изоляции электрических машин и аппаратов; ухудшается качество работы систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи. В таблице 2.2 представлены нормальные и предельно допустимые значения коэффициента. При работе асинхронного электродвигателя в условиях несинусоидального напряжения несколько снижаются его коэффициент мощности и врачающий момент на валу.

Таким образом, наличие высших гармоник в кривой напряжения, даже в допустимых пределах, приводит к значительной интенсификации процесса старения диэлектрика конденсаторов и как следствие сокращению срока службы их.

Из таблицы 2.2 видно, что в нашей сети 35кВ, нормально допустимое значение 4%, предельно допустимое 6%. По самому графику же, можно проследить за тем, что значение коэффициента не превышает значение 3,4%.

Таблица 2.2 – Значение коэффициента искажения синусоидальности напряжения, %

Нормально допустимые				Предельно допустимые			
Uном, кВ				Uном, кВ			
0,38	6–20	35	110–330	0,38	6–20	35	110–330
8	5	4	2	12	8	6	3

Исходя из данных полученных при помощи графиков, было выявлено, что на ПС присутствует отклонение напряжения, снижение коэффициента мощности и превышение активной мощности, реактивной.

В результате инструментальных замеров, произведенных на объектах ООО «Угольная компания «Разрез Майрыхский», было выявлено несоответствие качества электрической энергии установленным нормам по установившемуся отклонению напряжения. В точке, где выполнялись замеры, напряжение превышало нормально допустимые значения.

Повышенное напряжение на зажимах электроприемников не только приводит к изменению показателей их работы, но так же существенно влияет и на величину потребляемой ими мощности. Так, например, при напряжении, превышающем номинальное на 5% мощность, потребляемая ртутными лампами ДРИ возрастает на 12,2%, а срок их службы сокращается. Повышение напряжения на выводах двигателя приводит к увеличению потребляемой ими реактивной мощности. При этом удельное потребление реактивной мощности растет с уменьшением коэффициента загрузки двигателя. В среднем на каждый процент повышения напряжения потребляемая реактивная мощность увеличивается на 3% и более, что в свою очередь приводит к увеличению потерь активной мощности в элементах электрической сети.

На объектах ООО «Угольная компания «Разрез Майрыхский» предлагается, с помощью устройства РПН, понизить питающее напряжение до нормально допустимого уровня. Это мероприятие не только обеспечит требуемое качество электроэнергии по установившемуся отклонению напряжения, но и позволит снизить потребление электроэнергии.

На подстанции ПС 35/10 кВ «Майрыхская» в работе находится один трансформатор типа ТМН-6300/35 У1 с пределами регулирования РПН  $\pm 4 \times 2,5\%$ .

Также можно предположить, что компенсирующие устройства на подстанции не выдают требуемой генерируемой мощности, что сказывается на потребление реактивной мощности, а также влияет на отклонение напряжения. Также КУ повлияют на изменение коэффициента мощности в лучшую сторону. Предлагается замена КУ на более новые.

### **3. Разработка модели ПС «Майрыхский» в программе RastrWin3.**

RastrWin3 это программа, позволяющая производить расчет, анализ и оптимизацию режимов электрических систем. Можно производить расчет в сетях напряжением от 0,4 до 1150 кВ. Расчет всех электрических параметров режима, таких как:

1. токи;
2. напряжения;
3. потоки и потери активной, реактивной мощности;

Также она показывает однолинейную схему, улучшающую восприятие информации о расчетах режима.

Для работы в программе необходимо подготовить исходные данные:

1. обозначить узлы электрической сети;
2. указать номинальное напряжение узлов;
3. определить активную и реактивную мощность для узлов, обозначающих нагрузки;
4. при присутствии БСК, обозначить проводимость;
5. в таблице «Ветви», указать соединение узлов и их сопротивления;
6. для трансформаторов определить коэффициент трансформации;
7. нарисовать на графике однолинейную схему;

## 4. Анализ характерных режимов работы подстанции в программе RastrWin3.

Для того чтобы наглядно увидеть проблемы ПС «Майрыхский» сделаем модель в программе RastrWin3. Данная программа используется для анализа и оптимизации режимов работы. Например уровни напряжений в системе.

В данной работе, она использовалась для моделирования схемы подстанции, а также регулирования и установки необходимых значений напряжений в системе.

В программе имеется возможность самому задавать уровни напряжений, что помогает использовать минимальный и максимальный режимы для расчетов, это помогает более наглядно увидеть работу системы в определенных ситуациях.

### 4.1 Максимальный режим, отключены все БСК

В данном случае рассматривается максимальный режим. Значит напряжения принимаются на 5% больше чем при номинальных значениях.

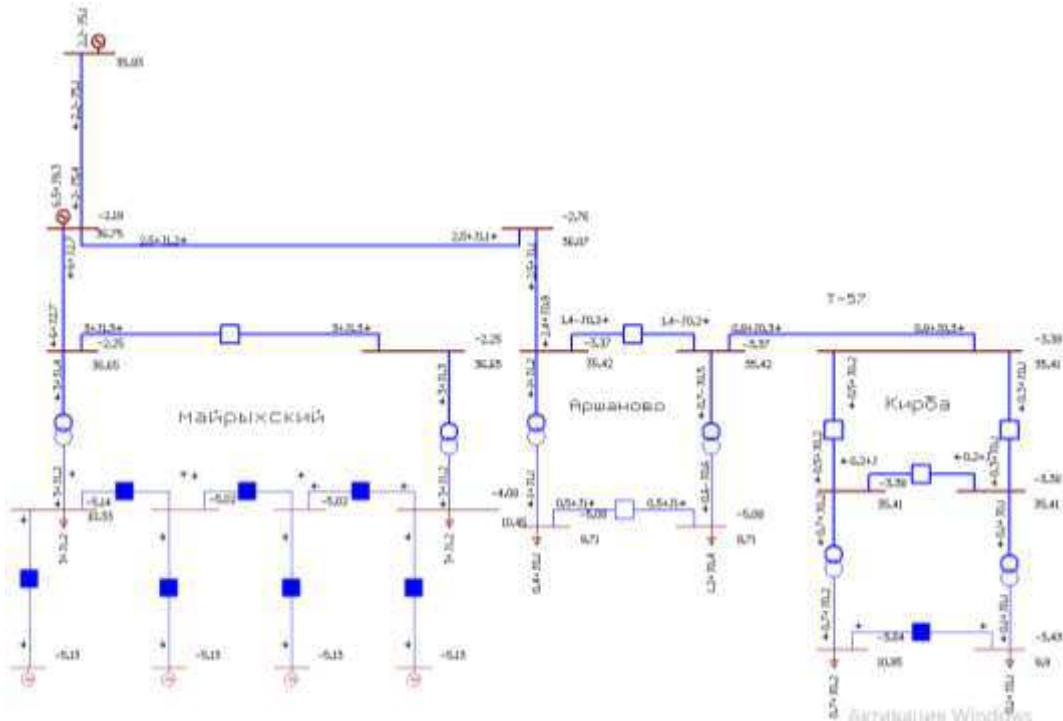


Рисунок 4.1 – Модель ПС «Майрыхский»

Таблица 4.1 – Узлы

	D	S	Тип	Номер	Название	U <sub>ном</sub>	N <sub>св</sub>	Район	P <sub>н</sub>	Q <sub>н</sub>	P <sub>т</sub>	Q <sub>т</sub>	V <sub>уд</sub>	Q <sub>min</sub>	Q <sub>max</sub>	B <sub>ш</sub>	V	Delta
1			База	1		37	0				6,5	9,3					36,75	-2,19
2			Нагр	2		35	0										36,65	-2,25
3			Нагр	3		11	0	3,0		1,2							10,33	-5,14
4			Нагр	4		35	0										36,65	-2,25
5			Нагр	5		11	0	3,0		1,2							10,45	-4,08
6			Нагр	6		11	0									-3 000,0	-5,13	
7			Нагр														-26,16	
8			Нагр	8		11	0										-5,02	
9			Нагр	9		11	0									-3 000,0	-5,13	
10			Нагр	10		11	0										-5,02	
11			Нагр	11		11	0									-6 000,0	-5,13	
12			Нагр														-26,15	
13			Нагр														-26,14	
14			Нагр	14		11	0									-6 000,0	-5,13	
15			Нагр														-26,15	
16			Нагр	16		35	0										36,87	-2,76
17			Нагр	17		35	0										25,42	-3,37
18			Нагр	18		35	0										25,42	-3,37
19			Нагр	19		11	0		1,2	0,4							9,71	-5,08
20			Нагр	20		11	0		0,4	0,1							9,71	-5,08
21			Нагр	21		35	0										35,41	-3,38
22			Нагр	22		35	0										35,41	-3,38
23			Нагр	23		35	0										35,41	-3,38
24			Нагр	24		11	0		0,7	0,2							10,95	-3,84
25			Нагр	25		11	0		0,1	0,1							9,90	-3,43
26			база	26		36	0				2,2	-5,1						35,93

При анализе данного режима, из таблицы 4.1, можно увидеть, что происходит отклонение напряжения в меньшую сторону на подстанции  $U_1 = 10.33$  В и  $U_2 = 10.45$  В. Схема работает без установленных на ней КУ.

## 4.2 Максимальный режим, включены БСК на первую ступень, $Q_1 = 175$ кВар и $Q_2 = 300$ кВар

В данной схеме была подключена 1 ступень БСК. Для этого были подключены 2 узла обозначающих КУ и имеющих мощность равную половине от мощности установленных на подстанции устройств.

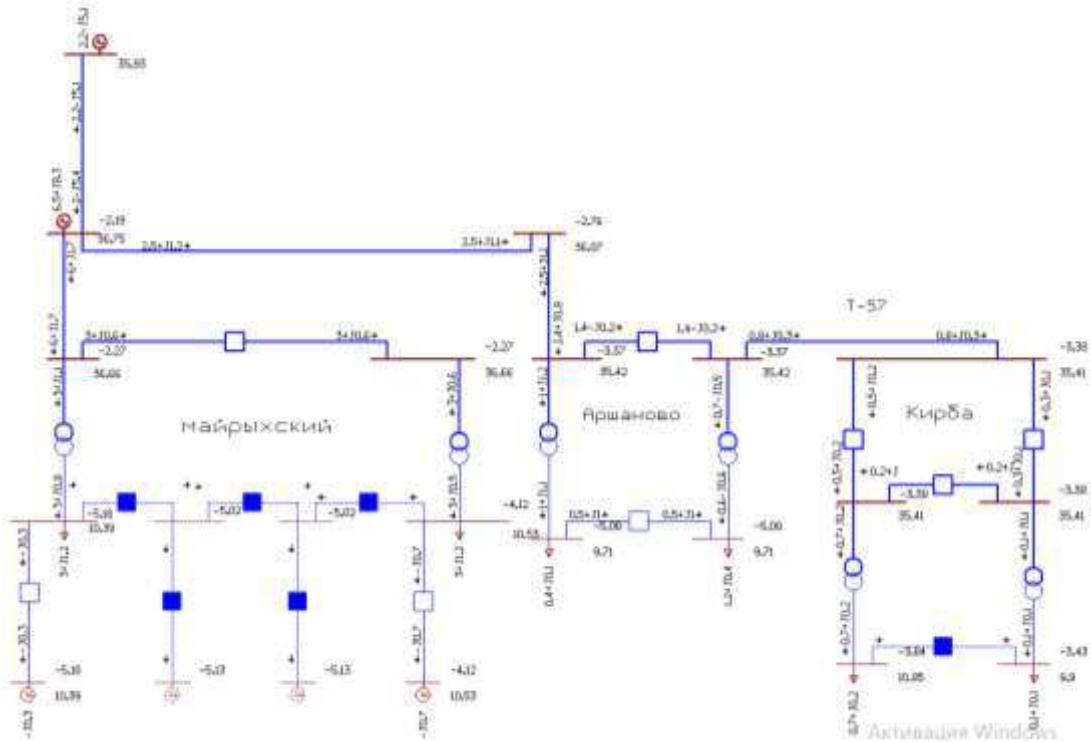


Рисунок 4.2 – Модель ПС «Майрыхский»

Таблица 4.2 – Узлы

O	S	Type	Номер	Название	U_min	N...	Работа	P_N	Q_N	P_F	Q_F	V_M	Q_min	Q_max	B_M	V	Delta
1			База	1	37	0			6,3		8,3					26,75	-2,19
2			Harp	2	35	0										26,66	-2,27
3			Harp	3	11	0		3,0		1,2						10,39	-5,18
4			Harp	4	35	0										36,56	-2,27
5			Harp	5	11	0		3,0		1,2						10,53	-4,12
6			Harp	6	11	0									-3 000,0	10,39	-5,18
7			Harp			0											-26,18
8			Harp	8	11	0											-8,02
9			Harp	9	11	0									-3 000,0		-5,13
10			Harp	10	11	0											-8,02
11			Harp	11	11	0									-6 000,0		-5,13
12			Harp			0											-26,15
13			Harp			0											-26,14
14			Harp	14	11	0									-6 000,0	10,53	-4,12
15			Harp			0											-26,15
16			Harp	16	35	0										26,07	-2,76
17			Harp	17	35	0										35,42	-3,37
18			Harp	18	35	0										35,42	-3,37
19			Harp	19	11	0		1,2		0,4						9,71	-6,08
20			Harp	20	11	0		0,4		0,1						9,71	-5,08
21			Harp	21	35	0										35,41	-3,38
22			Harp	22	35	0										35,41	-3,38
23			Harp	23	35	0										35,41	-3,38
24			Harp	24	11	0		0,7		0,2						10,95	-3,84
25			Harp	25	11	0		0,1		0,1						9,90	-5,43
26			База	26	36	0					2,2		-5,1				25,93

Если мы проанализируем данный режим, то можно увидеть, что напряжение на узлах нагрузки снова выровнялось в лучшую сторону, на данный момент оно составляет  $U_1 = 10.39$  В и  $U_2 = 10.53$  В.

### 4.3 Максимальный режим, включена вторая ступень БСК, $Q_1 = 350$ кВар и $Q_2 = 600$ кВар

В данном варианте режима, была включена полная мощность БСК установленной на подстанции.

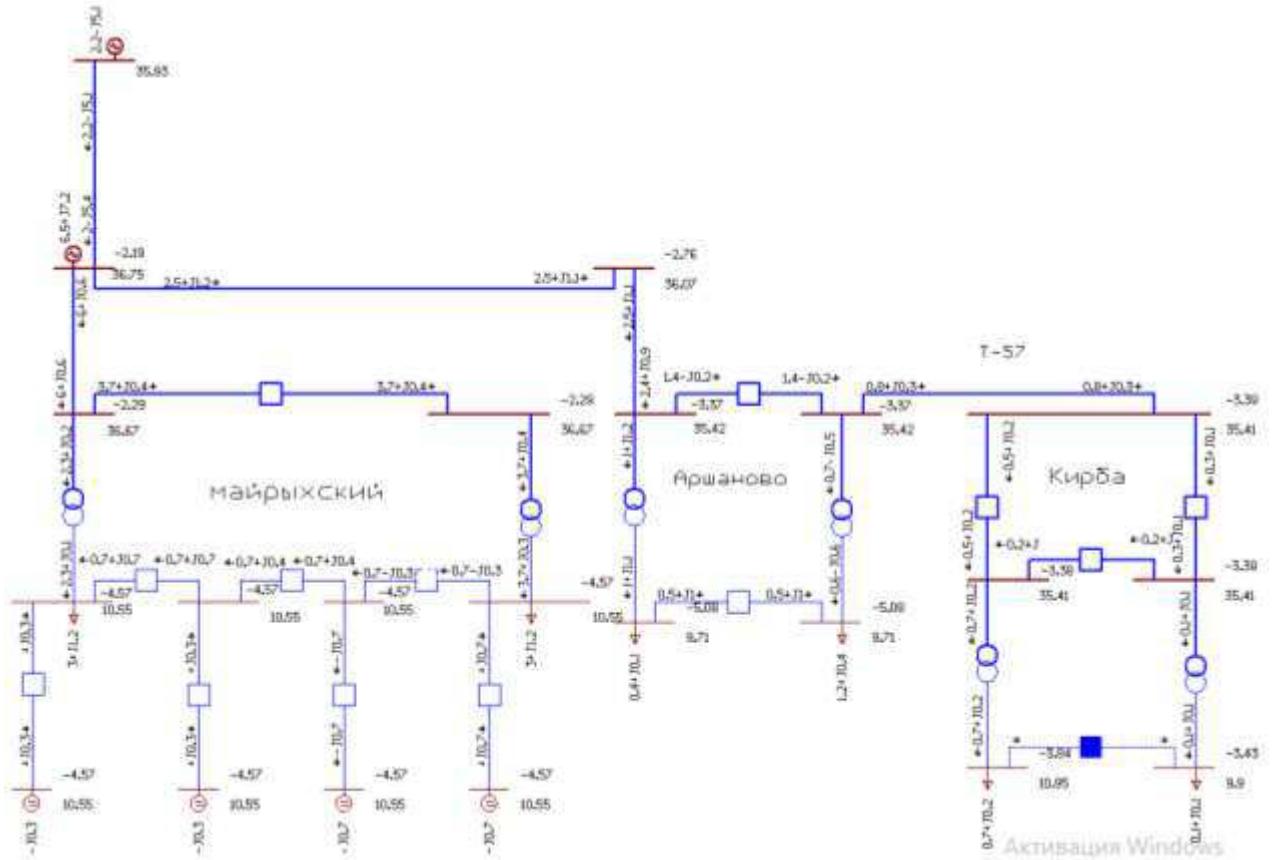


Рисунок 4.3 – Модель ПС «Майрыхский»

Таблица 4.3 – Узлы

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_эд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta
1			База	1		37	0			6,5	7,2						36,75	-2,19
2			Harp	2		35	0										36,67	-2,29
3			Harp	3		11	0		3,0	1,2							10,55	-4,57
4			Harp	4		35	0										36,67	-2,29
5			Harp	5		11	0		3,0	1,2						10,55	-4,57	
6			Harp	6		11	0									-3 000,0	10,55	-4,57
7			Harp			0												-26,16
8			Harp	8		11	0									10,55	-4,57	
9			Harp	9		11	0									-3 000,0	10,55	-4,57
10			Harp	10		11	0									10,55	-4,57	
11			Harp	11		11	0									-6 000,0	10,55	-4,57
12			Harp			0												-26,15
13			Harp			0												-26,14
14			Harp	14		11	0									-6 000,0	10,55	-4,57
15			Harp			0												-26,15
16			Harp	16		35	0										36,07	-2,76
17			Harp	17		35	0										35,42	-3,37
18			Harp	18		35	0										35,42	-3,37
19			Harp	19		11	0		1,2	0,4							9,71	-5,08
20			Harp	20		11	0		0,4	0,1							9,71	-5,08
21			Harp	21		35	0										35,41	-3,38
22			Harp	22		35	0										35,41	-3,38
23			Harp	23		35	0										35,41	-3,38
24			Harp	24		11	0		0,7	0,2							10,95	-3,84
25			Harp	25		11	0		0,1	0,1							9,90	-3,43
26			База	26		36	0				2,2	-5,1						35,93

При анализе данного режима, из таблицы 4.3, можно увидеть, что напряжение на узлах нагрузки выровнялось до допустимых значений  $U_1 = 10.55$  В и  $U_2 = 10.55$  В, необходимых для качественной работы системы. Схема работает с 2 включенными КУ, на 2 ступени, на ПС “Майрыхский”, типа УКРМФ-10,5-350-100 УХЛ4 и УКРМФ-10,5-600-100 УХЛ4.

После включение КУ на ПС “Майрыхский”, ситуация изменяется, только при условии, что включены, все 4 БСК, при 2 включенных, как видно из рисунка 4.4, не производится достаточной компенсации реактивной мощности.

Из этого можно сделать вывод, что КУ работают эффективно, только при условии включения на полную мощность.

Также на подстанции установлены трансформатор с РПН, которые мы можем отрегулировать, для примера возьмем худшую ситуацию, когда отключены все 4 БСК.

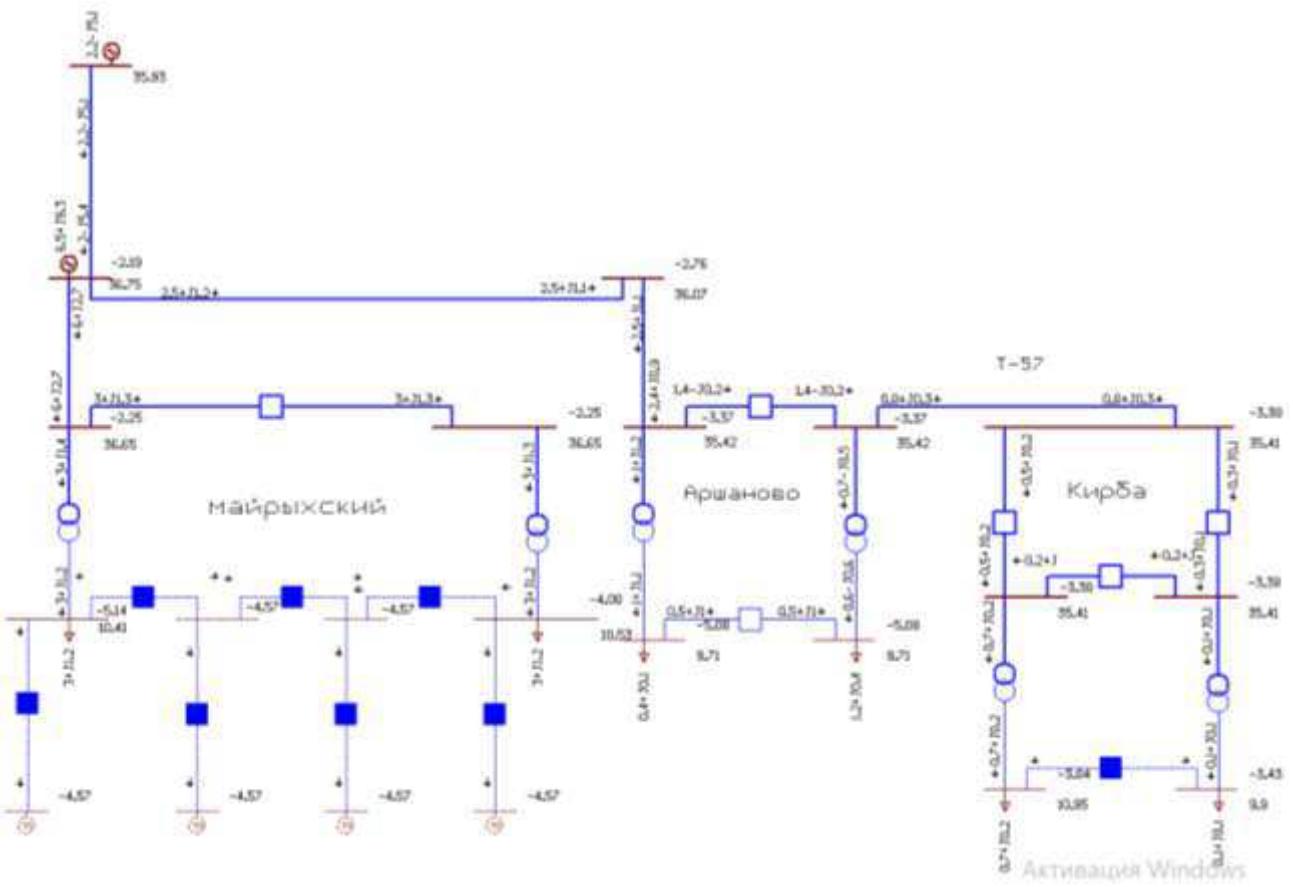


Рисунок 4.4 – Модель ПС «Майрыхский»

Таблица 4.4 – Узлы

№	Тип	Номер	Название	U_нен	N...	Район	P_n	Q_n	P_f	Q_f	V_3d	Q_min	Q_max	B_ш	Y	Delta	
1	база	1		37	0				6,5	9,3					36,75	-2,19	
2	Harp	2		35	0										36,65	-2,25	
3	Harp	3		11	0				3,0	1,2					30,41	-5,14	
4	Harp	4		35	0										36,65	-2,25	
5	Harp	5		11	0				3,0	1,2					30,53	-4,08	
6	Harp	6		11	0										-3 000,0	-4,57	
7	Harp															-26,16	
8	Harp	8		11	0											-4,57	
9	Harp	9		11	0										-3 000,0	-4,57	
10	Harp	10		11	0											-4,57	
11	Harp	11		11	0										-6 000,0	-4,57	
12	Harp															-26,15	
13	Harp															-26,14	
14	Harp	14		11	0										-6 000,0	-4,57	
15	Harp															-26,15	
16	Harp	16		35	0											36,07	-2,76
17	Harp	17		35	0											35,42	-3,37
18	Harp	18		35	0											35,42	-3,37
19	Harp	19		11	0				1,2	0,4					9,71	-5,08	
20	Harp	20		11	0				0,4	0,1					9,71	-5,08	
21	Harp	21		35	0											35,41	-3,38
22	Harp	22		35	0											35,41	-3,38
23	Harp	23		35	0											35,41	-3,38
24	Harp	24		11	0				0,7	0,2					10,95	-3,84	
25	Harp	25		11	0				0,1	0,1					9,90	-3,43	
26	база	26		36	0						3,2	-5,1				35,93	

Таблица 4.5 – Ветви

O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_н-1...	Название	R	X	B	Kт,f	N_анн	Бд...	P_неч	Q_неч	Na	Imax
1		ЛЭП	1	2	-		0,43	0,41	2,8		0	6	-3	0	104	
2		Тр-р	2	3	-		2,60	23,00		0,292	2	1	-3	-1	0	52
3		Выкл	2	4	-						0	-3	-1	0	52	
4		Тр-р	4	5	-		1,40	14,60		0,292	2	2	-3	-1	0	52
5		Выкл	3	6	-						0			0		
6		Выкл	0	0	-						0			0		
7		Выкл	3	8	-						0			0		
8		Выкл	8	9	-						0			0		
9		Выкл	8	10	-						0			0		
10		Выкл	10	11	-						0			0		
11		Выкл	0	0	-						0			0		
12		Выкл	0	0	-						0			0		
13		Выкл	5	10	-						0			0		
14		Выкл	5	14	-						0			0		
15		Выкл	0	0	-						0			0		
16		ЛЭП	16	17	-		6,20	8,00	58,0		0	-2	-1	0	43	
17		Выкл	17	18	-						0	-1		0	24	
18		Тр-р	18	19	-		11,20	49,20		0,270	0	-1	1	0	14	
19		Тр-р	17	20	-		11,20	49,20		0,290	0	-1	-1	0	25	
20		Выкл	20	19	-						0	-1	-1	0	65	
21		ЛЭП	18	21	-		0,31	0,40	2,9		0	-1		0	14	
22		Выкл	21	22	-						0	-1		0	9	
23		Выкл	21	23	-						0			0	5	
24		Выкл	22	23	-						0			0	3	
25		Тр-р	22	24	-		1,40	14,60		0,310	0	-1		0	12	
26		Тр-р	23	25	-		1,40	14,60		0,280	0			0	2	
27		Выкл	24	25	-						0			0		
28		ЛЭП	26	1	-		6,32	8,16	59,2		0	-2	5	0	91	
29		ЛЭП	1	16	-		6,32	8,16	59,2		0	-3	-1	0	44	

Из таблицы 4.5 видно, что были установлен РПН на 2 и 2 отпайки соответственно на 1 и 2 трансформаторе. В таблице 4.4 можно увидеть, что при установке этих отпаек напряжение на нагрузке выравнивается до  $U_1 = 10.41$  В и  $U_2 = 10.53$  В, при увеличение номера отпайки на каком либо трансформаторе, будет происходить значительное увеличение уровня напряжения, выходящее за нормы допустимых значений.

Из этого можно сделать вывод, что регулировку напряжения на подстанции можно осуществлять с помощью РПН, но недостаточно эффективно, как при помощи БСК.

## 4.4 Минимальный режим, все БСК отключены

В данном режиме, значение задается равное номинальному.

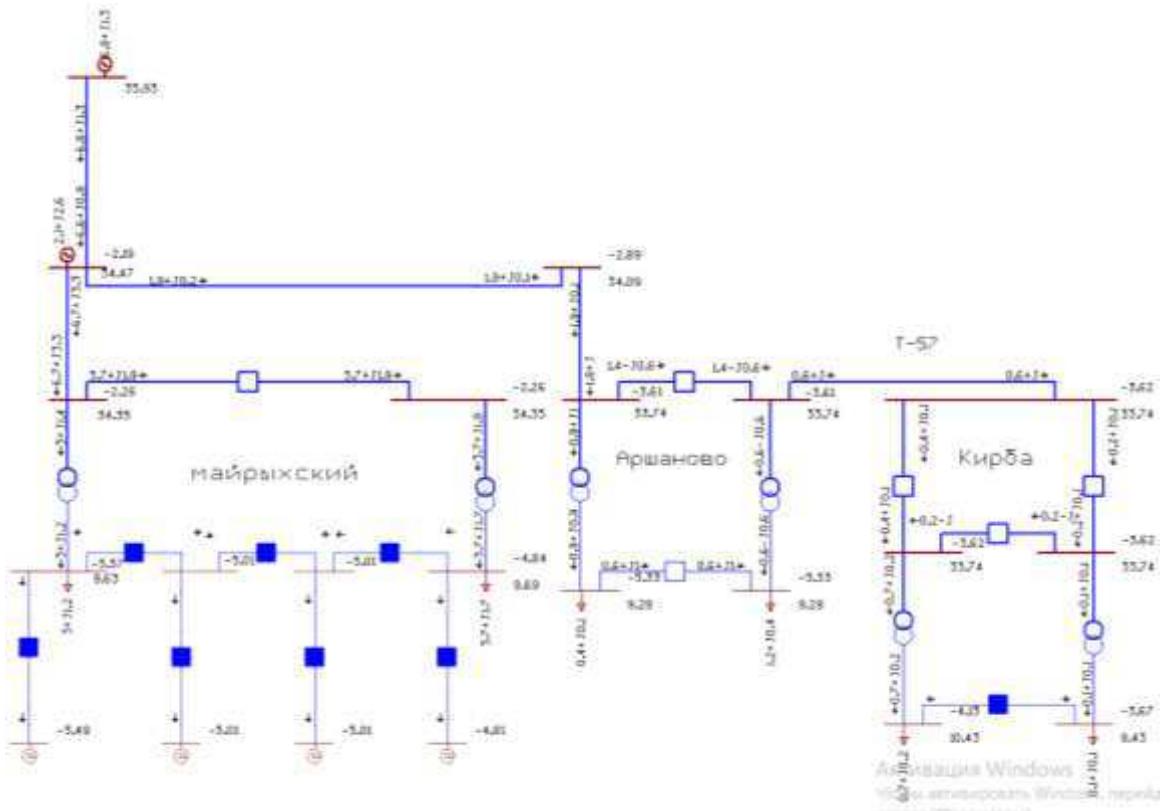


Рисунок 4.5 – Модель ПС «Майрыхский»

Таблица 4.6 – Узлы

№	Б	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_f	Q_f	У_зд	Q_min	Q_max	V_ш	V	Delta		
1			Base	1	34,47	0				2,1	2,6				24,47	-2,19			
2			Harp	2	34,47	0										34,35	-2,26		
3			Harp	3	30,00	0				1,0	1,2					9,63	-5,57		
4			Harp	4	34,47	0										34,35	-2,26		
5			Harp	5	30,00	0				3,7	1,7					9,69	-4,84		
6			Harp	6	30,00	0										-3 000,0	-5,49		
7			Harp		0											-26,16			
8			Harp	8	30,00	0										-5,01			
9			Harp	9	30,00	0										-3 000,0	-5,01		
10			Harp	10	30,00	0										-5,01			
11			Harp	11	30,00	0										-6 000,0	-5,01		
12			Harp		0											-26,15			
13			Harp		0											-26,14			
14			Harp	14	30,00	0										-6 000,0	-4,83		
15			Harp		0											-26,15			
16			Harp	16	35,00	0										34,09	-2,89		
17			Harp	17	34,19	0										33,74	-3,61		
18			Harp	18	34,19	0										33,74	-3,61		
19			Harp	19	30,00	0				1,2	0,4					9,28	-5,33		
20			Harp	20	30,00	0				0,4	0,1					9,28	-5,33		
21			Harp	21	33,45	0										33,74	-3,62		
22			Harp	22	33,45	0										33,74	-3,62		
23			Harp	23	33,45	0										33,74	-3,62		
24			Harp	24	30,00	0				0,7	0,2					10,43	-4,13		
25			Harp	25	30,00	0				0,1	0,1					9,43	-3,67		
26			Base	26	35,93	0						0,8	1,3				35,93		

Проанализировав таблиц 4.6, мы можем увидеть, что напряжение, также не соответствует допустимому. Поэтому используем такие же способы увеличения напряжения, как и в максимальном режиме.

#### 4.5 Минимальный режим, включены БСК на первую ступень, $Q_1 = 175$ кВар и $Q_2 = 300$ кВар

В данной ситуации батареи были подключены на 1 ступень мощности. Ниже представлены результаты данного подключения.

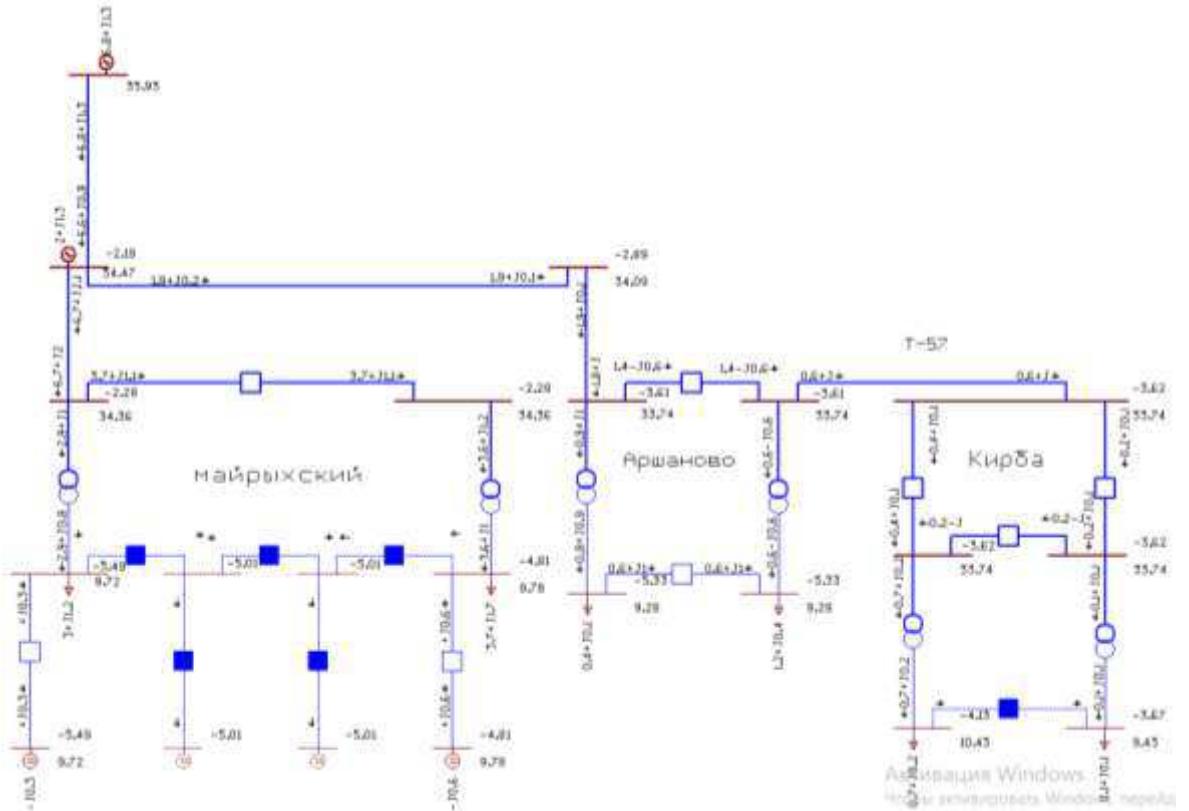


Рисунок 4.6 – Модель ПС «Майрыхский»

Таблица 4.7 — Узлы

№	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_на	Q_min	Q_max	R_н	V	Delta	
1		1	база	34,47	0				2,0	1,3					34,47	-2,19	
2		2		34,47	0										34,36	-2,28	
3		3		10,00	0			1,0							9,72	-1,49	
4		4		34,47	0										34,36	-2,28	
5		5		10,00	0			1,0							9,78	-4,81	
6		6		10,00	0										-3 000,0	9,72	-5,49
7		7														-38,38	
8		8														-5,01	
9		9													-3 000,0		-5,01
10		10														-5,01	
11		11													-6 000,0		-5,01
12		12														-26,15	
13		13														-26,14	
14		14													-6 000,0	9,78	-4,81
15		15														-26,15	
16		16														34,09	-2,89
17		17														33,74	-2,61
18		18														33,74	-2,61
19		19						1,0								9,29	-5,33
20		20														9,28	-5,33
21		21														33,74	-2,62
22		22														33,74	-2,62
23		23														33,74	-2,62
24		24														20,43	-4,13
25		25														9,43	-3,67
26		26	база	35,93	0											35,93	

Как можно увидеть напряжение в узлах нагрузки  $U_1 = 9.72$  В и  $U_2 = 9.78$  В, что не соответствует необходимым значениям.

#### 4.4 Минимальный режим, включена вторая ступень БСК, $Q_1 = 350$ кВар и $Q_2 = 600$ кВар

Данный вариант рассматривает подключение полной мощности батарей.

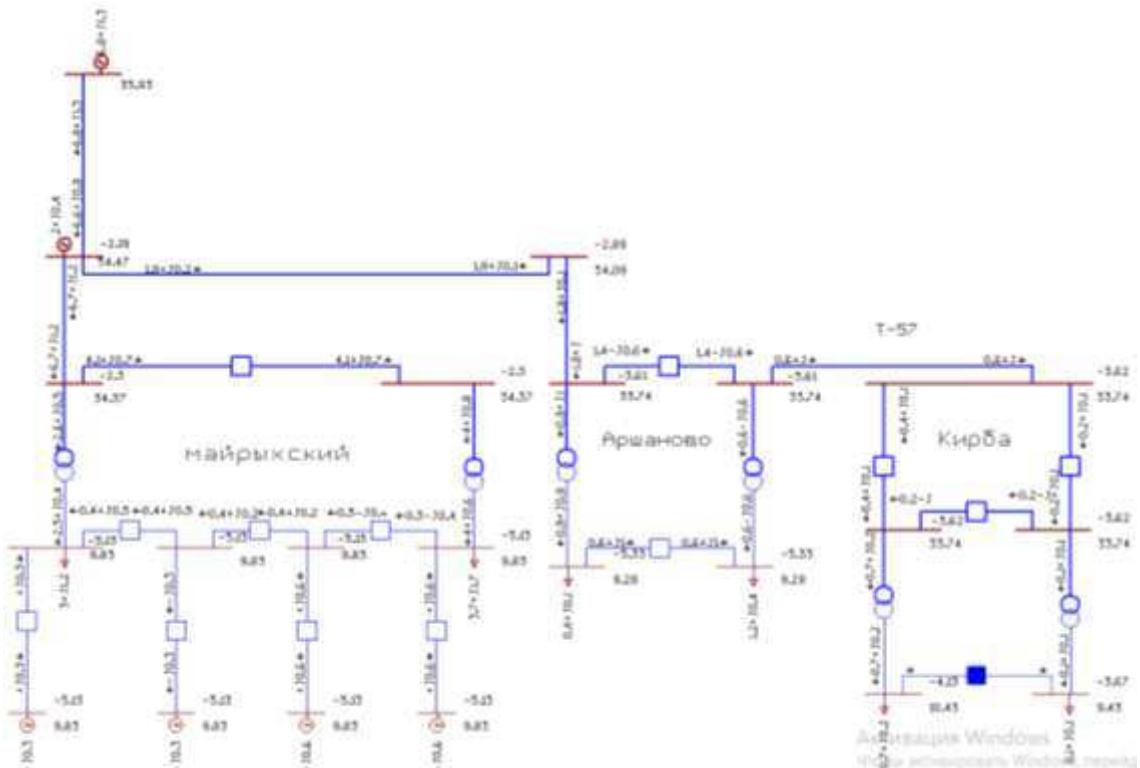


Рисунок 4.7 — Модель ПС «Майрыхский»

Таблица 4.8 – Узлы

O	S	Тип	Номер	Название	U_min	N...	Район	P_n	Q_n	P_f	Q_f	V_M	Q_min	Q_max	B_M	V	Delta
1		База	1		34,47	0				2,0	0,4					34,47	-2,19
2		Нагр	2		34,47	0										34,37	-2,20
3		Нагр	3		30,00	0		3,0		1,2						9,83	-5,13
4		Нагр	4		34,47	0										34,37	-2,30
5		Нагр	5		30,00	0		3,7		1,7						9,83	-5,13
6		Нагр	6		30,00	0							-3 000,0	9,83	-5,13		
7		Нагр	7		0											-26,16	
8		Нагр	8		30,00	0										9,83	-5,13
9		Нагр	9		30,00	0							-3 000,0	9,83	-5,13		
10		Нагр	10		30,00	0										9,83	-5,13
11		Нагр	11		30,00	0							-6 000,0	9,83	-5,13		
12		Нагр	12		0											-26,15	
13		Нагр	13		0											-26,14	
14		Нагр	14		30,00	0							-6 000,0	9,83	-5,13		
15		Нагр	15		0											-26,15	
16		Нагр	16		35,00	0										34,09	-2,69
17		Нагр	17		34,19	0										33,74	-3,61
18		Нагр	18		34,19	0										33,74	-3,61
19		Нагр	19		30,00	0		1,2		0,4						9,28	-5,23
20		Нагр	20		30,00	0		0,4		0,1						9,28	-5,23
21		Нагр	21		33,45	0										33,74	-3,62
22		Нагр	22		33,45	0										33,74	-3,62
23		Нагр	23		33,45	0										33,74	-3,62
24		Нагр	24		30,00	0		0,7		0,2						10,43	-4,13
25		Нагр	25		30,00	0		0,1		0,1						9,43	-3,67
26		База	26		35,93	0				6,8	1,3					35,93	

При минимальном режиме ситуация немного меняется по сравнению с максимальным, если обратить внимание на напряжение в узлах нагрузки, то можно увидеть, что не соответствует необходимым для нас значениям  $U_1 = 9,83$  В и  $U_2 = 9,83$  В. В таблице 4.8 можно проследить, что при увеличении количества включенных БСК, также увеличивается и напряжение в узлах.

Также как и в минимальном режиме, мы можем изменять напряжение при помощи РПН, что прослеживается в таблицах 4.9 и 4.10, в отличие от минимального режима, в этом режиме отпайки на обоих трансформаторах стоят №3.

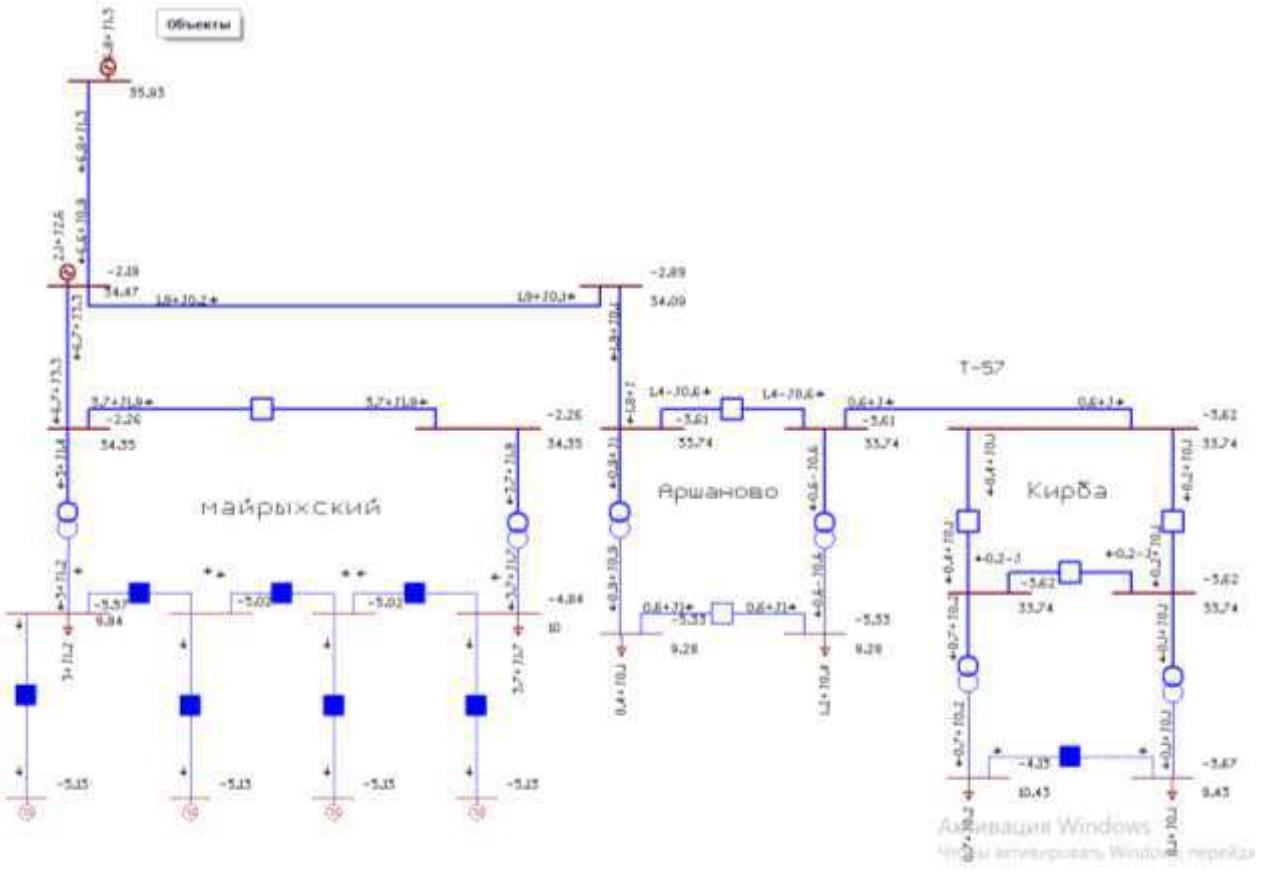


Рисунок 4.8 – Модель ПС “Майрыхский”

Таблица 4.9 – Узлы

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	В_ш	V	Delta
1	□		База	1		34,47	0										34,47	-2,19
2	□		Нагр	2		34,47	0										34,35	-2,26
3	□		Нагр	3		10,00	0										9,94	-5,57
4	□		Нагр	4		34,47	0										34,35	-2,26
5	□		Нагр	5		10,00	0										10,00	-4,84
6	□	✗	Нагр	6		10,00	0										-3 000,0	-5,13
7	□	✗	Нагр			0												-26,16
8	□	✗	Нагр	8		10,00	0											-5,02
9	□	✗	Нагр	9		10,00	0										-3 000,0	-5,13
10	□	✗	Нагр	10		10,00	0											-5,02
11	□	✗	Нагр	11		10,00	0										-6 000,0	-5,13
12	□	✗	Нагр			0												-26,15
13	□	✗	Нагр			0												-26,14
14	□	✗	Нагр	14		10,00	0										-6 000,0	-5,13
15	□	✗	Нагр			0												-26,15
16	□		Нагр	16		35,00	0										34,09	-2,89
17	□		Нагр	17		34,19	0										33,74	-3,61
18	□		Нагр	18		34,19	0										33,74	-3,61
19	□		Нагр	19		10,00	0		1,2	0,4							9,28	-5,33
20	□		Нагр	20		10,00	0		0,4	0,1							9,28	-5,33
21	□		Нагр	21		33,45	0										33,74	-3,62
22	□		Нагр	22		33,45	0										33,74	-3,62
23	□		Нагр	23		33,45	0										33,74	-3,62
24	□		Нагр	24		10,00	0		0,7	0,2							10,43	-4,13
25	□		Нагр	25		10,00	0		0,1	0,1							9,43	-3,67
26	□		База	26		35,93	0				6,8	1,3						35,93

Таблица 4.10 – Ветви

	$\sigma$	$S$	Тип	$N_{\text{ нач}}$	$N_{\text{ кон}}$	$N_{\text{Д}}$	$I_{\text{...}}$	Название	$R$	$X$	$B$	$Kt/k$	$N_{\text{ нач}}$	$BD_{\text{...}}$	$P_{\text{ нач}}$	$Q_{\text{ нач}}$	$N_a$	$I_{\text{ max}}$
1	□		ЛЭП	1	2	-	-		0,45	0,41	2,8	-	0	-7	-3	0	326	
2	□		Тр-р	2	3	-	-		2,60	23,00	-	0,299	3	1	-3	-1	0	56
3	□		Выкл	2	4	-	-		-	-	-	-	0	-4	-2	0	70	
4	□		Тр-р	4	5	-	-		1,40	14,60	-	0,299	3	2	-4	-2	0	70
5	□	✖	Выкл	3	6	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
6	□	✖	Выкл	0	0	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
7	□	✖	Выкл	3	8	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
8	□	✖	Выкл	8	9	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
9	□	✖	Выкл	8	10	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
10	□	✖	Выкл	10	11	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
11	□	✖	Выкл	0	0	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
12	□	✖	Выкл	0	0	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
13	□	✖	Выкл	5	10	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
14	□	✖	Выкл	5	14	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
15	□	✖	Выкл	0	0	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
16	□		ЛЭП	16	17	-	-		6,20	8,00	59,0	-	0	-2	-	0	31	
17	□		Выкл	17	18	-	-		-	-	-	-	0	-1	1	0	26	
18	□		Тр-р	18	19	-	-		11,20	49,20	-	0,270	0	-1	1	0	14	
19	□		Тр-р	17	20	-	-		11,20	49,20	-	0,290	0	-1	-1	0	23	
20	□		Выкл	20	19	-	-		-	-	-	-	0	-1	-1	0	73	
21	□		ЛЭП	18	21	-	-		0,31	0,40	2,9	-	0	-4	-	0	10	
22	□		Выкл	21	22	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	7	
23	□		Выкл	21	23	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	5	
24	□		Выкл	22	23	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	3	
25	□	✖	Тр-р	22	24	-	-		1,40	14,60	-	0,310	0	-1	-	0	13	
26	□	✖	Тр-р	23	25	-	-		1,40	14,60	-	0,280	0	-	-	0	2	
27	□	✖	Выкл	24	25	-	-		-	-	-	-	0	-	-	0	0	
28	□		ЛЭП	26	1	-	-		6,32	8,16	59,2	-	0	-7	-1	0	111	
29	□		ЛЭП	1	16	-	-		6,32	8,16	59,2	-	0	-2	-	0	31	

Если сравнивать способ регулировки с помощью РПН и с помощью БСК в минимальном режиме, то можно сделать вывод, что в данном случае напряжение изменилось в лучшую сторону по сравнению с БСК  $U_1 = 9.94$  В и  $U_2 = 10.00$  В, когда при использовании БСК мы получили  $U_1 = 9.83$  В и  $U_2 = 9.83$  В.

Исходя из тех результатов, что получились выше, рекомендуется использовать определенный способ регулировки, для определённых ситуаций.

## 5 Анализ несинусоидальности напряжения на шинах 10 кВ ПС «Майрыхский»

Так как на ПС «Майрыхский» присутствуют гармоники, необходимо рассчитать, на какие из них необходимо установить фильтры. Проанализировав инструментальные замеры, указанные ранее, можно сказать, что в сети присутствует несинусоидальность напряжений, которая появляется, из-за присутствия в сети высших гармоник. При их появлении они накладываются на основную частоту, вызывая искажение кривой напряжения.

Наиболее большую опасность гармоники представляют для конденсаторных батарей. Из-за присутствия в этом устройстве ёмкостного сопротивления, которое уменьшается при увеличении частоты приходящей в батарею, вызывая в этом повышение тока, что в последствии вызывает нагрев изоляции и резкое снижение срока службы оборудования.

Из рисунка 5.1 видно, что гармоники 5 и 7 наиболее большие из них.

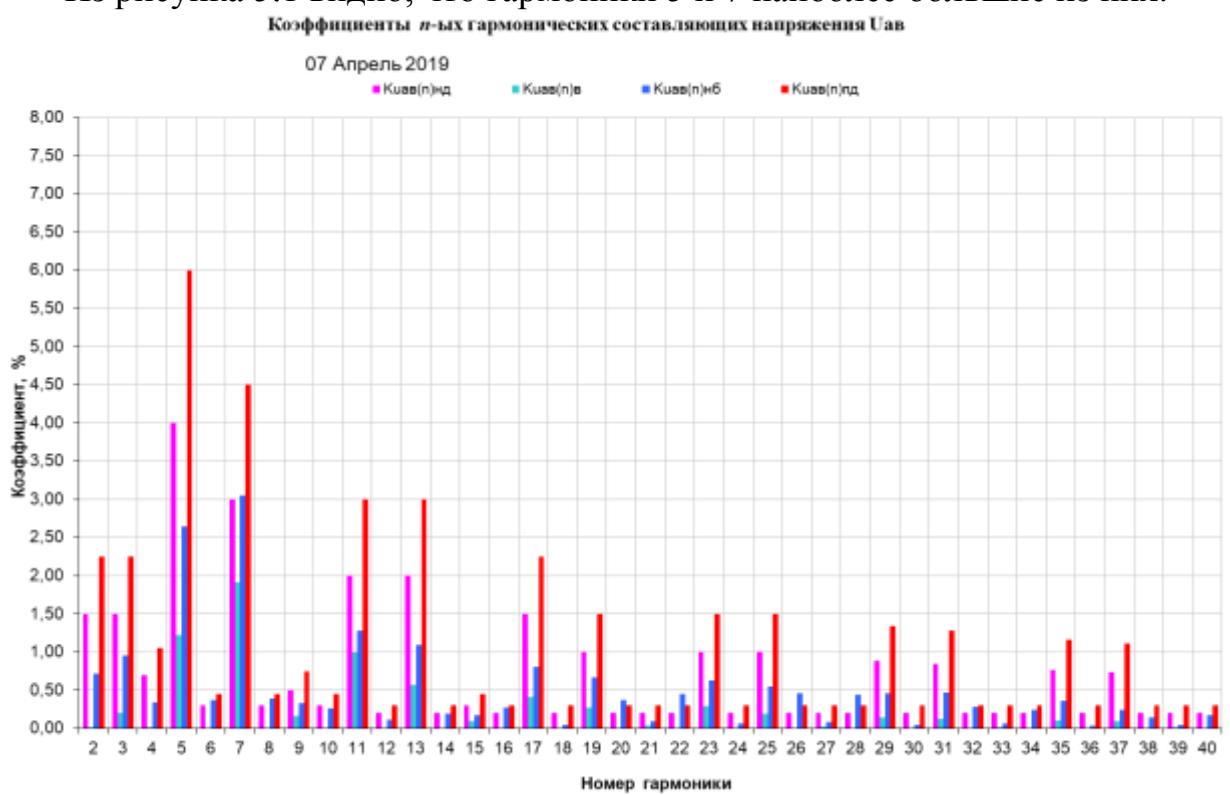


Рисунок 5.1 – Гармоники на ПС «Майрыхский»

Из-за влияния гармоник на КБ, необходимо провести расчет для 3 вариантов ее установки:

1. При установке только КБ;
2. При установке КБ и ФКУ;
3. При установке КБ и ФКУ на 5 и 7 гармоники;

## 5.1 Частотная характеристика входного сопротивления при установке КБ на шинах 10 кВ

Так как КБ подключается в сеть параллельно, то формула примет следующий вид:

$$X_{\text{вх}}(\nu) = \frac{X_{\text{сети}} * X_{\text{КБ}} * \nu}{X_{\text{сети}} * \nu^2 - X_{\text{КБ}}} \quad (5.1)$$

Где:

$X_{\text{сети}}$  – сопротивление сети;

$X_{\text{КБ}}$  – сопротивление конденсаторной батареи;

$\nu$  – номер гармоники;

$$X_{\text{сети}} = \sum X_{\text{тр-ов}} + X_{\text{линии}} + X_{\text{системы}} * K_T \quad (5.2)$$

Где:

$\sum X_{\text{тр-ов}}$  – сопротивление трансформаторов;

$X_{\text{линии}}$  – сопротивление линии;

$X_{\text{системы}}$  – сопротивление системы;

$K_T$  – коэффициент трансформации;

$$X_{\text{КБ}} = \frac{U_{\text{н}}^2}{Q} * 1000 \quad (5.3)$$

Где:

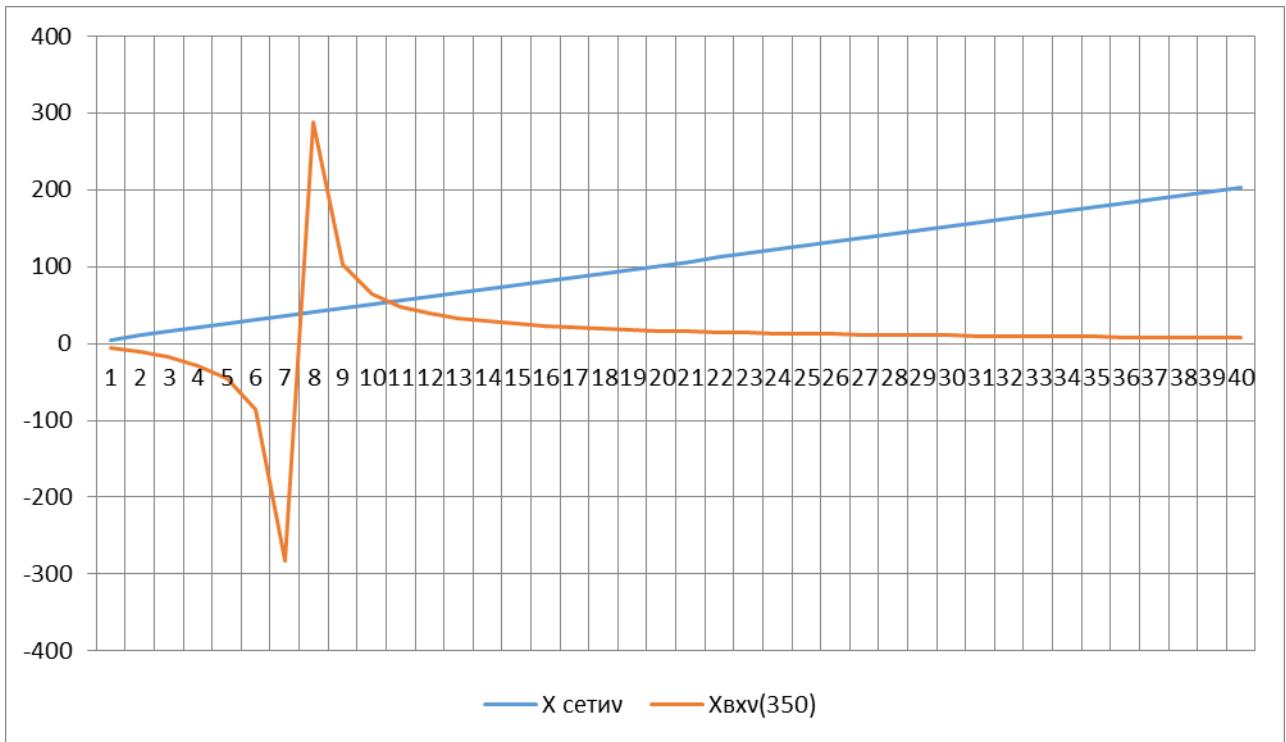
$U_{\text{н}}^2$  – номинальное напряжение КБ;

$Q$  – мощность КБ;

На подстанции установлены 2 КУ типа УКРМФ-10,5-350-100 УХЛ4 и УКРМФ-10,5-600-100 УХЛ4, с двух ступенчатым режимом работы. Расчет будет произведен для нескольких вариантов подключения:

1. При подключение одной КБ, при  $Q = 350$  кВар;
2. При подключение одной КБ, при  $Q = 600$  кВар;
3. При подключение двух КБ, при  $Q = 950$  кВар;

Расчет и построение графиков производился в программе Excel.



Если мы посмотрим на ЧХ при включении КБ на  $Q = 350$  кВар, то мы видим следующую ситуацию, на 5 гармонике происходит усиление, рассчитаем коэффициент усиления :

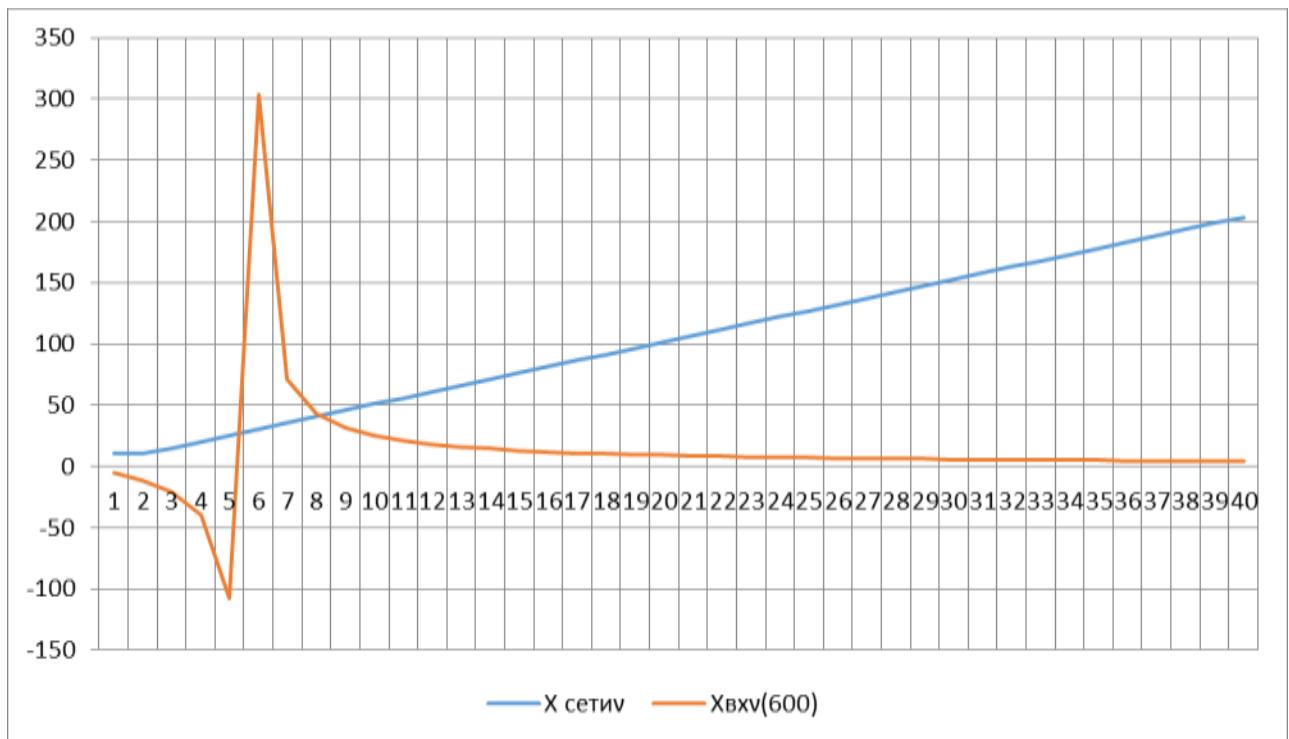
$$K_{\text{усил}}(7) = \frac{X_{\text{вх}\nu}}{X_{\text{вх}\nu 0}} \quad (5.4)$$

$$K_{\text{усил}}(5) = \frac{45,98}{25,45} = 1,8$$

Из формулы видно, что 5 гармоника усиливается в 1,8 раза, проведем такой же расчет для 7 гармоники:

$$K_{\text{усил}}(7) = \frac{283,04}{35,63} = 7,94$$

В данном случае 7 гармоника усиливается почти в 8 раз, что весьма сильно будет влиять на режим работы.



Рассмотрим ситуацию, когда мы подключаем КБ  $Q = 600$  кВар:

$$K_{\text{усил}(5)} = \frac{108,15}{25,45} = 4,25$$

$$K_{\text{усил}(7)} = \frac{71,59}{35,63} = 2$$

Из данных формул видно, что в данном случае 5 гармоника имеет большее усиление чем 7.

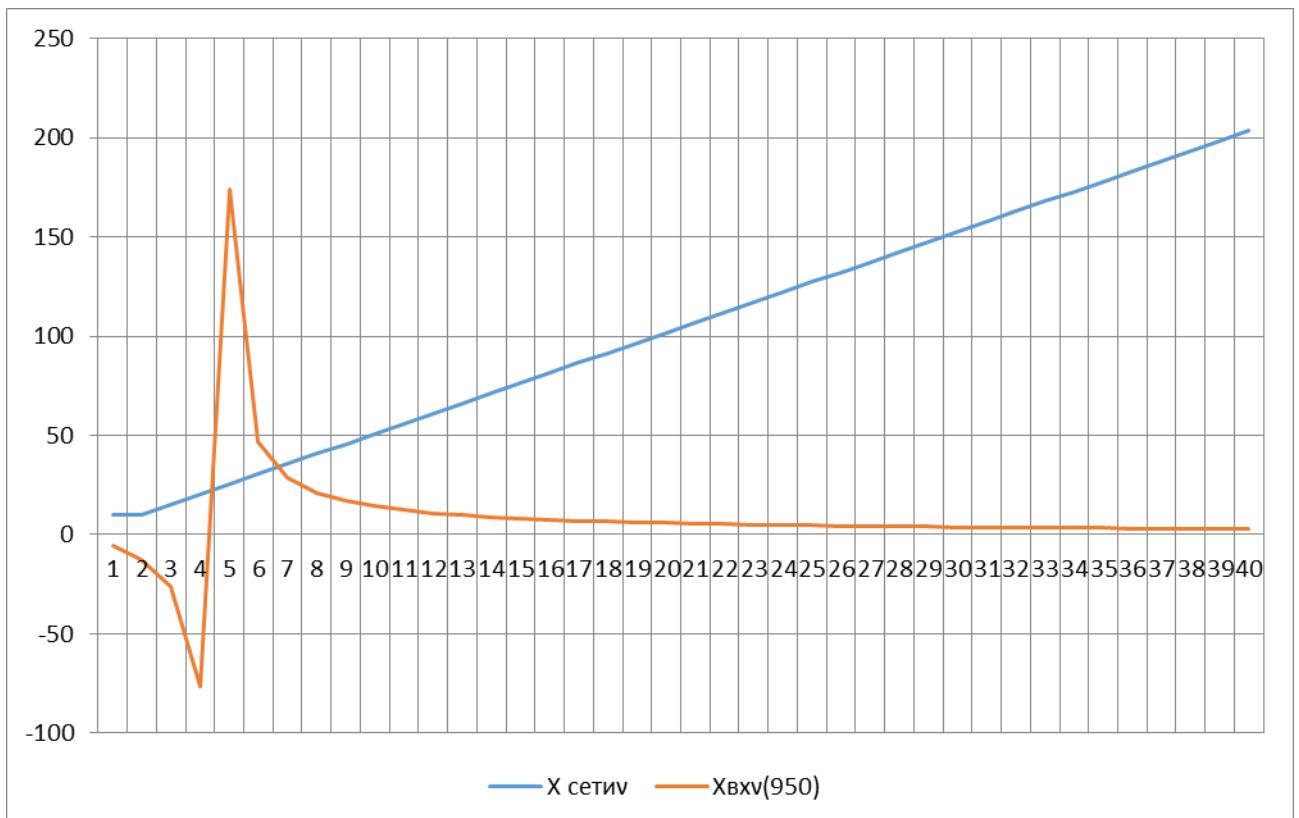


График 5.3 – Частотная характеристика при  $Q = 950$  кВар

При подключении КБ на полную мощность мы получаем следующее:

$$K_{\text{усил}(5)} = \frac{173,8}{25,45} = 6,83$$

$$K_{\text{усил}(7)} = \frac{28,59}{35,63} = 0,8$$

При включении КБ на полную мощность видно, что 5 гармоника усиливается почти в 7 раз, в то время как 7 гармоника, практически не имеет усиления.

Таблица 5.1 – данные на основании которых построены частотные характеристики

$v$	$X_{\text{сетив}}$	$X_{\text{bxv}}(350)$	$X_{\text{сетив}}$	$X_{\text{bxv}}(600)$	$X_{\text{сетив}}$	$X_{\text{bxv}}(900)$
1	2	3	4	5	6	7
1	5,09	-5,18	10,18	-5,25	10,18	-5,34
2	10,18	-10,97	10,18	-11,61	10,18	-12,48
3	15,27	-18,21	15,27	-21,09	15,27	-26,03
4	20,36	-28,52	20,36	-39,90	20,36	-76,58
5	25,45	-45,98	25,45	-108,15	25,45	173,80
6	30,54	-85,43	30,54	303,51	30,54	46,95
7	35,63	-283,03	35,63	71,59	35,63	28,59
8	40,72	288,09	40,72	42,60	40,72	21,06
9	45,81	103,13	45,81	31,05	45,81	16,89
10	50,9	65,03	50,9	24,76	50,9	14,20
11	55,99	48,40	55,99	20,76	55,99	12,32

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7
12	61,08	38,99	61,08	17,97	61,08	10,91
13	66,17	32,88	66,17	15,89	66,17	9,81
14	71,26	28,58	71,26	14,28	71,26	8,92
15	76,35	25,36	76,35	13,00	76,35	8,20
16	81,44	22,86	81,44	11,94	81,44	7,59
17	86,53	20,85	86,53	11,05	86,53	7,06
18	91,62	19,19	91,62	10,29	91,62	6,61
19	96,71	17,80	96,71	9,64	96,71	6,22
20	101,8	16,61	101,8	9,07	101,8	5,87
21	106,89	15,58	106,89	8,57	106,89	5,56
22	111,98	14,68	111,98	8,12	111,98	5,28
23	117,07	13,89	117,07	7,72	117,07	5,03
24	122,16	13,18	122,16	7,36	122,16	4,81
25	127,25	12,55	127,25	7,03	127,25	4,60
26	132,34	11,98	132,34	6,73	132,34	4,41
27	137,43	11,46	137,43	6,46	137,43	4,24
28	142,52	10,99	142,52	6,21	142,52	4,08
29	147,61	10,55	147,61	5,97	147,61	3,93
30	152,7	10,15	152,7	5,76	152,7	3,79
31	157,79	9,78	157,79	5,56	157,79	3,66
32	162,88	9,44	162,88	5,38	162,88	3,54
33	167,97	9,12	167,97	5,20	167,97	3,43
34	173,06	8,83	173,06	5,04	173,06	3,33
35	178,15	8,55	178,15	4,89	178,15	3,23
36	183,24	8,29	183,24	4,74	183,24	3,13
37	188,33	8,05	188,33	4,61	188,33	3,05
38	193,42	7,82	193,42	4,48	193,42	2,96
39	198,51	7,60	198,51	4,36	198,51	2,89
40	203,6	7,40	203,6	4,25	203,6	2,81

На графиках 5.1-5.3, приведены частотные характеристики, при установке на подстанции только КБ, без ФКУ. Из них видно, что происходит усиление на 5 и 7 гармониках, также это можно проследить в таблице 5.1. На графике 5.1 показана частотная характеристика при  $Q = 350$  кВар, график 5.2 при  $Q = 600$  кВар, график 5.3 при  $Q = 950$  кВар.

## 5.2 Частотная характеристика при установке ФКУ на шинах 10 кВ

Расчет будет произведен для нескольких вариантов подключения:

1. При подключение одной КБ, при  $Q = 600$  кВар, на 5 гармонику;
2. При подключение одной КБ, при  $Q = 950$  кВар, на 5 и 7 гармоники;

Расчет производился в программе Excel, по следующим формулам:

$$X_{\text{вх}(\nu)} = \frac{X_{\text{сети}} * \nu * (X_{\text{реакт}} * \nu^2 - X_{\text{КБ}})}{\nu^2 * (X_{\text{сети}} + X_{\text{реакт}}) - X_{\text{КБ}}} \quad (5.4)$$

Где:

$X_{\text{реакт}}$  – сопротивление реактора;

$X_{\text{КБ}}$  – сопротивление конденсаторной

Расчет производится по следующей формуле, в программе Excel:

$$X_{\text{вх}(\nu)} = \frac{X_{p5} * X_{p7} * \nu^2 + \left( \frac{X_{KB5} * X_{KB7}}{\nu^2} \right) - X_{KB5} * X_{p7} - X_{KB7} * X_{p5}}{X_{p5} * \nu - \left( \frac{X_{KB5}}{\nu} \right) + X_{p7} * \nu - \left( \frac{X_{KB7}}{\nu} \right)} \quad (5.5)$$

Где:

$X_{p5}$  – сопротивление реактора;

$X_{p7}$  – сопротивление реактора;

$X_{KB5}$  – сопротивление конденсаторной батареи;

$X_{KB7}$  – сопротивление конденсаторной батареи;

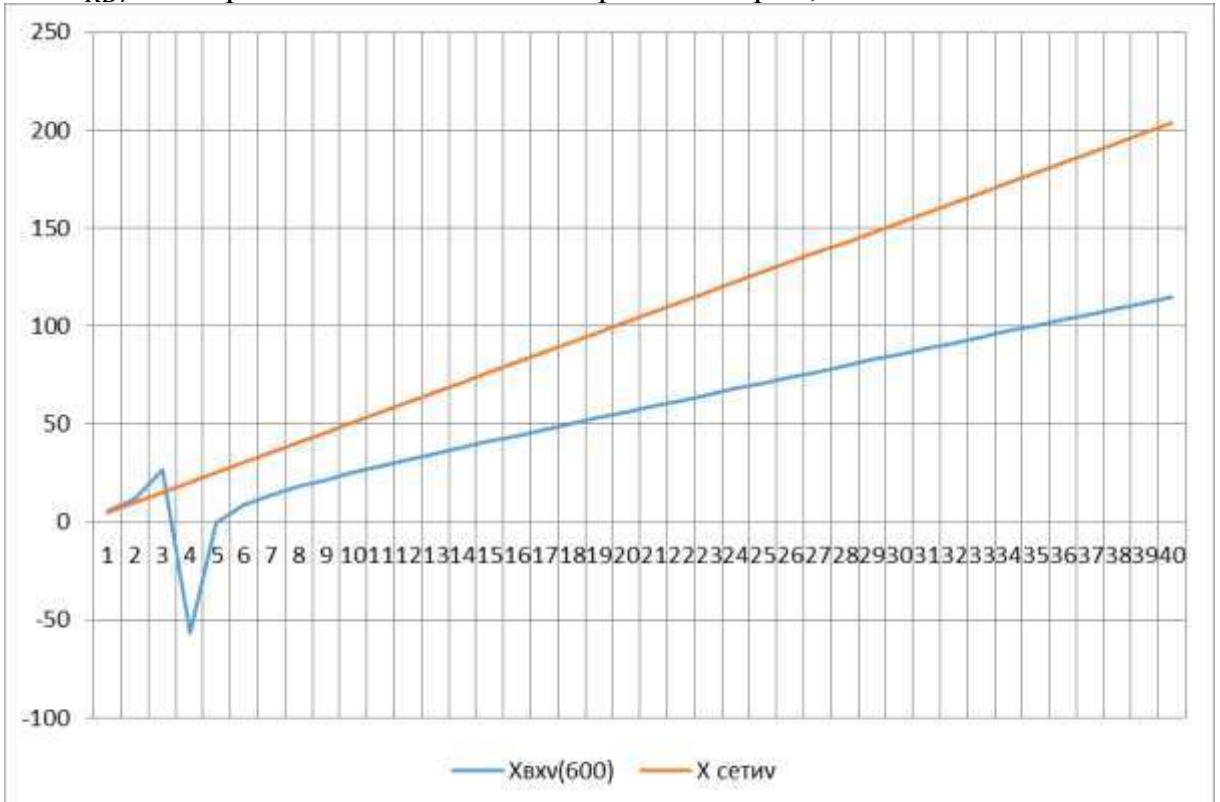


График 5.4 – Частотная характеристика при  $Q = 600$  кВар

На данном графике мы видим ЧХ при установке вместе с КБ и ФКУ. Также рассчитаем коэффициент усиления гармоник:

$$K_{\text{усил}(5)} = \frac{0,01}{25,48} = 0,0004$$

$$K_{\text{усил}(7)} = \frac{13,94}{35,67} = 0,37$$

Из рассчитанных формул видно, что в данном случае 5 гармоника была полностью скомпенсирована, а 7 практически не имеет усиления. Из этого можно сделать вывод, что установка даже ФКУ даже на 1 фильтр, в данном случае на 5, уже достаточно сильно влияет на гармоники в системе.

Таблица 5.2 – данные при добавлении ФКУ

v	X <sub>кКБ5v</sub>	X <sub>p5v</sub>	X <sub>bxv(600)</sub>
1	2	3	4
1,00	166,67	6,67	5,26
2,00	83,33	13,34	11,93
3,00	55,56	20,01	26,83
4,00	41,67	26,68	-56,60
5,00	33,33	33,35	0,02
6,00	27,78	40,02	8,74
7,00	23,81	46,69	13,94
8,00	20,83	53,36	18,09
9,00	18,52	60,03	21,79
10,00	16,67	66,70	25,25
11,00	15,15	73,37	28,56
12,00	13,89	80,04	31,78
13,00	12,82	86,71	34,93
14,00	11,90	93,38	38,04
15,00	11,11	100,05	41,11
16,00	10,42	106,72	44,15
17,00	9,80	113,39	47,18
18,00	9,26	120,06	50,18
19,00	8,77	126,73	53,18
20,00	8,33	133,40	56,16
21,00	7,94	140,07	59,13
22,00	7,58	146,74	62,09
23,00	7,25	153,41	65,05
24,00	6,94	160,08	68,00
25,00	6,67	166,75	70,94
26,00	6,41	173,42	73,88
27,00	6,17	180,09	76,82
28,00	5,95	186,76	79,75
29,00	5,75	193,43	82,68
30,00	5,56	200,10	85,61

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4
31,00	5,38	206,77	88,53
32,00	5,21	213,44	91,45
33,00	5,05	220,11	94,37
34,00	4,90	226,78	97,29
35,00	4,76	233,45	100,21
36,00	4,63	240,12	103,12
37,00	4,50	246,79	106,03
38,00	4,39	253,46	108,95
39,00	4,27	260,13	111,86
40,00	4,17	266,80	114,77

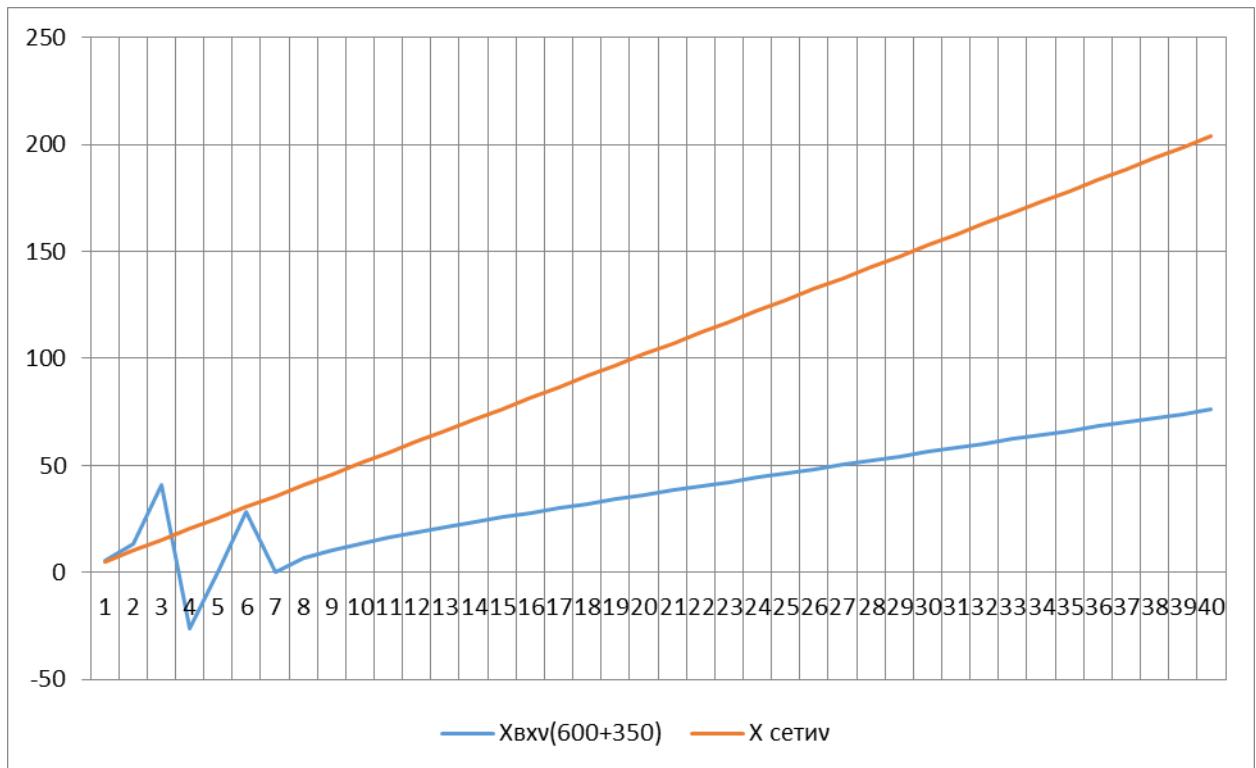


График 5.4 – Частотная характеристика при  $Q = 950$  кВар

Таблица 5.3 – данные при добавлении ФКУ включенных на полную мощность

$v$	$X_{\text{КБ5v}}$	$X_{\text{Р5v}}$	$X_{\text{КБ7v}}$	$X_{\text{Р7v}}$	$X_{\text{фсуммv}}$	$X_{\text{вхв}}(600+350)$
1	2	3	4	5	6	7
1,00	166,67	6,67	285,71	5,83	-101,80	5,36
2,00	83,33	13,34	142,86	11,66	-45,64	13,12
3,00	55,56	20,01	95,24	17,49	-24,39	40,96
4,00	41,67	26,68	71,43	23,32	-11,43	-26,00
5,00	33,33	33,35	57,14	29,15	0,02	0,02
6,00	27,78	40,02	47,62	34,98	390,60	28,36
7,00	23,81	46,69	40,82	40,81	-0,01	-0,01
8,00	20,83	53,36	35,71	46,64	8,18	6,81

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6	7
9,00	18,52	60,03	31,75	52,47	13,82	10,62
10,00	16,67	66,70	28,57	58,30	18,65	13,65
11,00	15,15	73,37	25,97	64,13	23,05	16,33
12,00	13,89	80,04	23,81	69,96	27,19	18,82
13,00	12,82	86,71	21,98	75,79	31,14	21,18
14,00	11,90	93,38	20,41	81,62	34,95	23,46
15,00	11,11	100,05	19,05	87,45	38,67	25,68
16,00	10,42	106,72	17,86	93,28	42,30	27,85
17,00	9,80	113,39	16,81	99,11	45,86	29,99
18,00	9,26	120,06	15,87	104,94	49,38	32,10
19,00	8,77	126,73	15,04	110,77	52,84	34,19
20,00	8,33	133,40	14,29	116,60	56,28	36,26
21,00	7,94	140,07	13,61	122,43	59,68	38,31
22,00	7,58	146,74	12,99	128,26	63,05	40,35
23,00	7,25	153,41	12,42	134,09	66,40	42,39
24,00	6,94	160,08	11,90	139,92	69,73	44,41
25,00	6,67	166,75	11,43	145,75	73,04	46,42
26,00	6,41	173,42	10,99	151,58	76,33	48,43
27,00	6,17	180,09	10,58	157,41	79,61	50,43
28,00	5,95	186,76	10,20	163,24	82,88	52,43
29,00	5,75	193,43	9,85	169,07	86,14	54,42
30,00	5,56	200,10	9,52	174,90	89,39	56,41
31,00	5,38	206,77	9,22	180,73	92,63	58,39
32,00	5,21	213,44	8,93	186,56	95,86	60,37
33,00	5,05	220,11	8,66	192,39	99,08	62,35
34,00	4,90	226,78	8,40	198,22	102,30	64,32
35,00	4,76	233,45	8,16	204,05	105,51	66,29
36,00	4,63	240,12	7,94	209,88	108,72	68,26
37,00	4,50	246,79	7,72	215,71	111,92	70,23
38,00	4,39	253,46	7,52	221,54	115,11	72,20
39,00	4,27	260,13	7,33	227,37	118,30	74,16
40,00	4,17	266,80	7,14	233,20	121,49	76,12

Проанализировав второй случай, при включении полной мощности ФКУ, ситуация остается практически такой же, за исключением того, что 7 гармоника тоже была практически полностью скомпенсирована. А 11 и 13 гармоники стали значительно меньше усиляться.

Из этого можно сделать вывод, что установленные на подстанции устройства, для максимальной эффективности, следует включать но полную мощность.

## **6 Мероприятия по улучшению качества напряжения.**

Особенность однолинейной схемы такова, что нагрузка 10/0,4 подключена двух цепной линией. На которой перед обогатительной фабрикой установлен экскаватор Liebherr 9200r, который является одной из причин возникновения гармоник.

Предлагается подключить его к отдельной линии, идущей от тех же шин трансформатора, это избавит систему от гармоник, из-за чего поднимется коэффициент мощности, а также значительно уменьшатся значения гармоник, благодаря чему можно будет отключить ФКУ.

Так как для выбора кабеля линии нам необходимо знать допустимый ток, рассчитаем его по следующей формуле:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} * U_h} \quad (6.1)$$

Где:

$I_p$  – расчетный ток;

$S$  – полная мощность экскаватора;

$U_h$  – номинальное напряжение экскаватора;

$$I_p = \frac{1000}{\sqrt{3} * 10} = 57,8 \text{ A}$$

Выбираем кабель СИП-3 1x16, с  $I_{\text{доп}} = 100 \text{ A}$ .

Расчетный ток должен быть меньше,  $I_{\text{доп}}$ :

$$I_p \leq I_{\text{доп}} (\text{A}) \quad (6.2)$$

$$57,8 \leq 100 \text{ A}$$

Определим фактический длительный ток нагрева в послеаварийном режиме, т.е. когда отключается одна из параллельных цепей линии, в соответствии с формулой (6.3). При этом проверим выбранное сечение по допустимому току (6.4).

$$I_{\text{нб}} = 2 * I_p (\text{A}) \quad (6.3)$$

$$I_{\text{нб}} \leq I_{\text{доп}} (\text{A}) \quad (6.4)$$

Где :

$I_{\text{доп}}$  – длительно допустимый ток провода (А);

$I_{\text{нб}}$  – максимальный ток послеаварийного или ремонтного режима, соответствующий отключению одной из питающих ВЛ (А).

$$I_{\text{нб}} = 2 * 57,8 = 115,6 \text{ A}$$

$$115,6 \leq 100 \text{ A}$$

Как видно из условия 6.4, кабель не проходит по нагреву в послеаварийном режиме, поэтому выбираем СИП-3 1x25, с  $I_{\text{доп}} = 130 \text{ A}$ .

Проведем проверку используя новые данные:

$$115,6 \leq 130 \text{ A}$$

Кабель СИП-3 1x25 соответствует условию нагрева.

## 6.1 Моделирование линии в RastrWin3

При проектировании линии, был использован максимальный режим. Для экскаватора также была смоделирована линия, идущая на обогатительную фабрику и обозначена отдельной нагрузкой, это видно из рисунка 6.1.

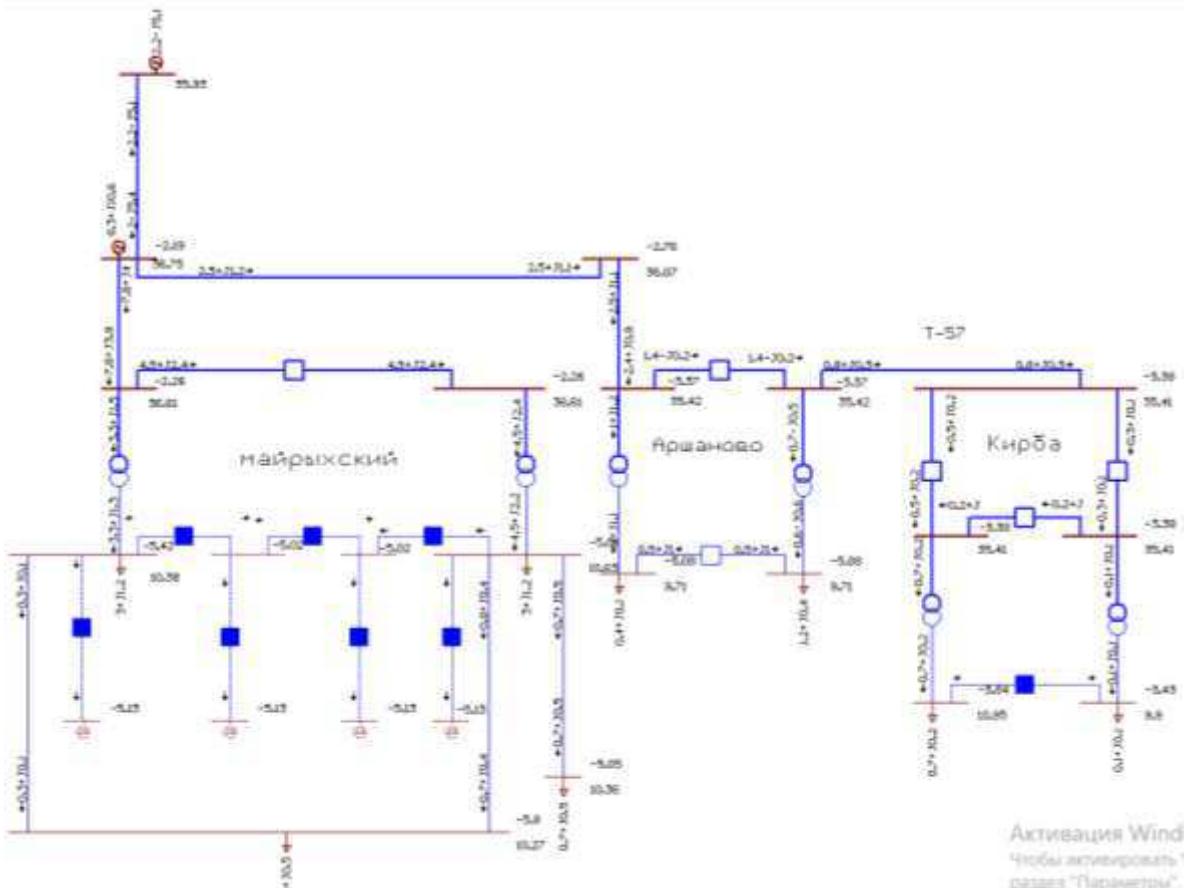


Рисунок 6.1 – Модель ПС «Майрыхский»

Таблица 6.1 – Узлы

O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Рейтинг	P_н	Q_н	P_f	Q_f	V_AB	Q_min	Q_max	B_u	У	Delta
1		Ветр.	1		37	0				8,3	10,6					30,73	-2,19
2		Harp	2		35	0										36,61	-2,26
3		Harp	3		11	0										10,23	-5,52
4		Harp	4		35	0										36,61	-2,26
5		Harp	5		11	0										10,32	-4,94
6		Harp	6		11	0										-3 000,0	-5,13
7		Harp	7		0											26,26	
8		Harp	8		11	0										-5,02	
9		Harp	9		11	0										-3 000,0	-5,13
10		Harp	10		11	0										-5,02	
11		Harp	11		11	0										-6 000,0	-5,13
12		Harp			0											-26,15	
13		Harp			0											-26,14	
14		Harp	14		11	0										-6 000,0	-5,13
15		Harp			0											-26,15	
16		Harp	16		35	0										36,07	-2,76
17		Harp	17		35	0										35,42	-3,37
18		Harp	18		35	0										35,42	-3,37
19		Harp	19		11	0				1,2	0,4					9,71	-5,08
20		Harp	20		11	0				0,4	0,1					9,71	-5,08
21		Harp	21		35	0										26,41	-3,38
22		Harp	22		35	0										26,41	-3,38
23		Harp	23		35	0										26,41	-3,38
24		Harp	24		11	0				0,7	0,2					10,95	-3,84
25		Harp	25		11	0				0,1	0,1					9,90	-3,43
26		Ветр.	26		36	0										35,93	
27		Harp	27		11	0				0,7	0,5					10,05	-4,90
28		Harp	28		11	0				1,0	0,5					10,05	-3,84

В данном случае рассматривается нормальный режим работы. При анализе таблицы 6.1 видно, что напряжение на узлах нагрузки, также отклоняется в меньшую сторону, как и в случаях, рассмотренных ранее,  $U_1 = 10.25$  В,  $U_2 = 10.32$  В, в то время как номинально напряжение на этих узлах должно равняться  $U_{\text{ном}} = 10.5$  В. Для компенсации реактивной мощности и выравнивания напряжения, проведем мероприятия, позволяющие достичь номинальных значений на узлах.

### 6.1.1 Установка напряжений системы при помощи БСК

Одним из мероприятий является включение установленных на подстанции БСК. В режиме, рассмотренном выше, была рассмотрена схема с отключенными батареями.

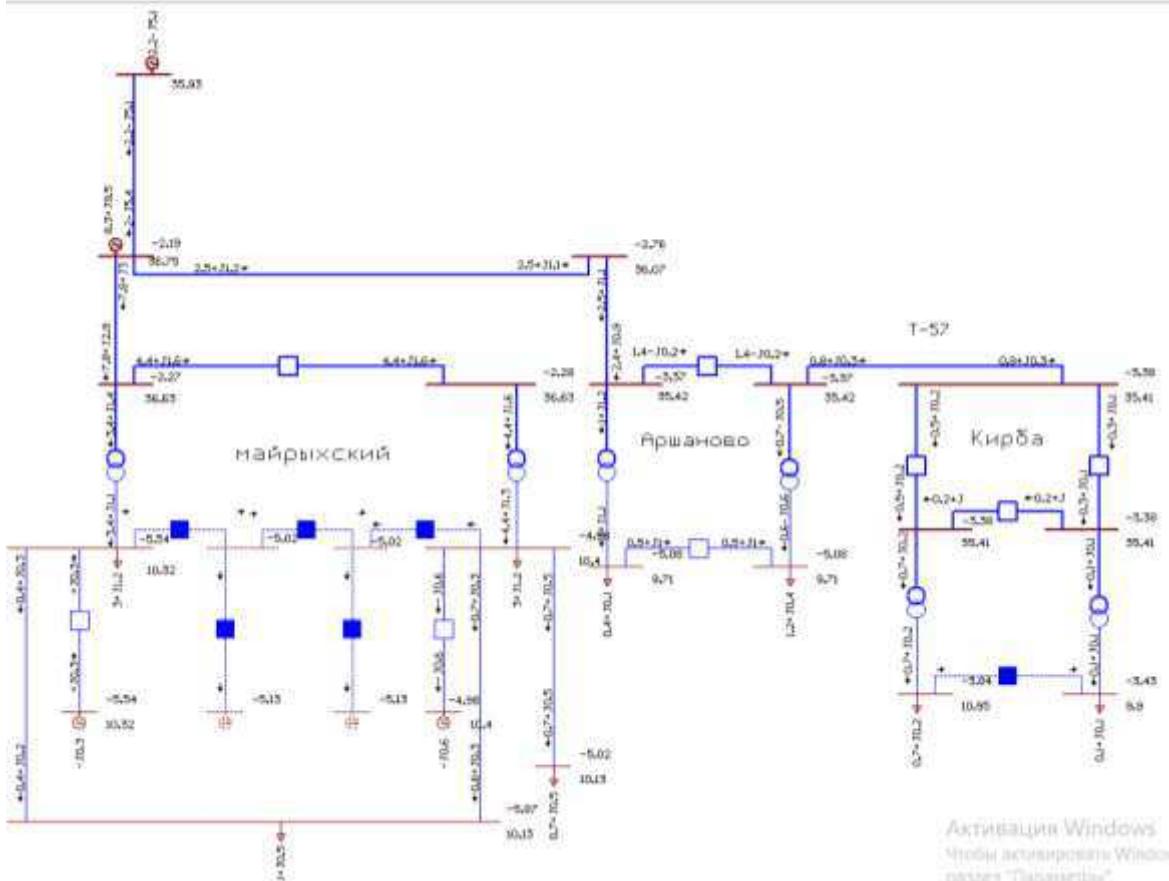


Рисунок 6.2 – Модель при подключении 2 БСК

Таблица 6.2 – Узлы

	О	Б	Название	Ц_нап	Номер	Название	Ц_нап	Н...	Район	P_н	Q_н	P_р	Q_р	V_из	Q_ни	Q_ни	В_ни	V	Delta
1			база	37	0													36,75	-2,15
2			Harp	2			35	0										36,63	-2,27
3			Harp	3			11	0		3,0		1,2						10,32	-5,94
4			Harp	4			35	0		3,0		1,2						36,63	-2,28
5			Harp	5			11	0		3,0		1,2						10,40	-6,98
6			Harp	6			11	0									-3 000,0	10,32	-5,54
7			Harp																-26,18
8			Harp	8			11	0											-5,02
9			Harp	9			11	0											-5,13
10			Harp	10			11	0											-5,02
11			Harp	11			11	0											-5,13
12			Harp																-26,15
13			Harp																-26,14
14			Harp	14			11	0											-6 000,0
15			Harp																-4,98
16			Harp	16			35	0											-26,13
17			Harp	17			35	0											36,07
18			Harp	18			35	0											-2,76
19			Harp	19			11	0		1,2		0,4							35,42
20			Harp	20			11	0		0,4		0,1							35,42
21			Harp	21			35	0											-3,37
22			Harp	22			35	0											35,41
23			Harp	23			35	0											-3,38
24			Harp	24			11	0		0,7		0,2							10,95
25			Harp	25			11	0		0,1		0,1							9,90
26			база	26			36	0			2,2		-5,1						33,93
27			Harp	27			11	0		0,7		0,5							10,13
28			Harp	28			11	0		1,0		0,5							10,13

На рисунке 6.2 можно увидеть, что была подключена 1 ступень БСК, для реализации этого в программе были подключены 2 узла обозначающих первую ступень. В данном случае из таблицы 6.2 можно наблюдать, что напряжение в узлах нагрузки стало равно  $U_1 = 10.32$  В и  $U_2 = 10.4$  В, что также не соответствует номинальному напряжению.

### 6.1.2 БСК включена на вторую ступень

В данном варианте, был рассмотрен случай, когда на подстанции была подключена вся система БСК. На рисунках представленных ниже можно увидеть как это мероприятие повлияло на систему.

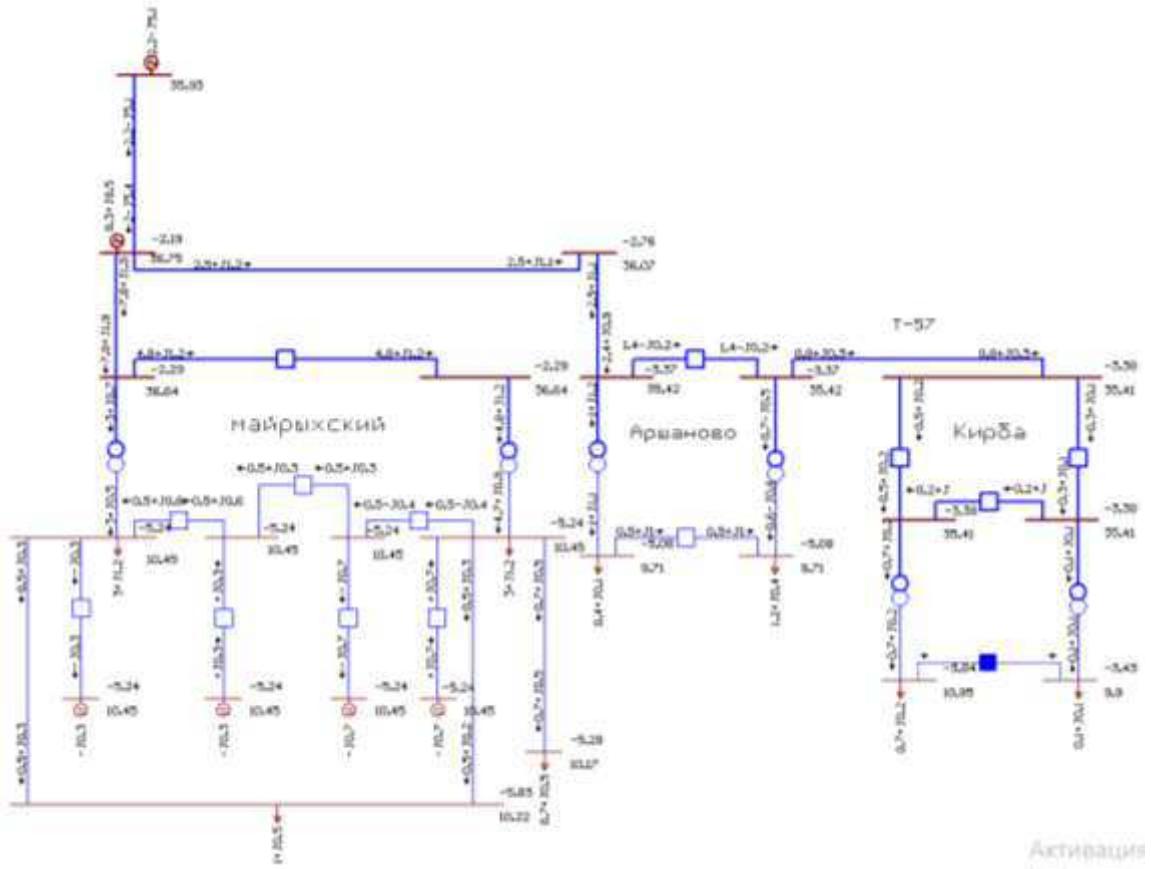


Рисунок 6.3 – Модель при подключении всей системы БСК

Таблица 6.3 – Узлы

	O	S	Тип	Номер	Название	U_min	N...	Район	P_N	Q_N	P_U	Q_U	V_14	Q_min	Q_max	E_m	Y	Delta
1			База	1		37	0				8,3	8,5					36,75	-2,19
2			Harp	2		35	0										36,64	-2,29
3			Harp	3		11	0		3,0		1,2						10,43	-5,24
4			Harp	4		35	0										36,64	-2,29
5			Harp	5		11	0		3,0		1,2						10,43	-5,24
6			Harp	6		11	0									-3 000,0	10,45	-5,24
7			Harp			0												-26,16
8			Harp	8		11	0										10,45	-5,24
9			Harp	9		11	0									-3 000,0	10,45	-5,24
10			Harp	10		11	0										10,45	-5,24
11			Harp	11		11	0									-6 000,0	10,45	-5,24
12			Harp			0												-26,15
13			Harp			0												-26,14
14			Harp	14		11	0									-6 000,0	10,45	-5,24
15			Harp			0												-26,15
16			Harp	16		35	0										36,67	-2,76
17			Harp	17		35	0										33,42	-3,37
18			Harp	18		35	0										33,42	-3,37
19			Harp	19		11	0		1,2	0,4							9,71	-5,08
20			Harp	20		11	0		0,4	0,1							9,71	-5,08
21			Harp	21		35	0										35,41	-3,38
22			Harp	22		35	0										35,41	-3,38
23			Harp	23		35	0										35,41	-3,38
24			Harp	24		11	0		0,7	0,2							10,95	-3,84
25			Harp	25		11	0		0,1	0,1							9,90	-3,43
26			База	26		36	0				3,2	5,1						35,93
27			Harp	27		11	0		0,7	0,5							10,17	-5,28
28			Harp	28		11	0		1,0	0,5							10,22	-5,83

В данном случае видно, что при включении БСК на полную мощность, напряжение на узлах нагрузку выравнивается до допустимых значений, в данный момент они равны  $U_1 = 10.45$  В и  $U_2 = 10.45$  В.

## 6.2 Альтернативный способ выравнивания напряжения

Также на подстанции установлены трансформаторы с РПН, с пределами регулирования  $\pm 4*2,5\%$ . В данном случае будет рассмотрен вариант при регулировке напряжения с помощью изменения отпаек на трансформаторах. Рассматривать этот способ будем при полностью отключенной БСК.

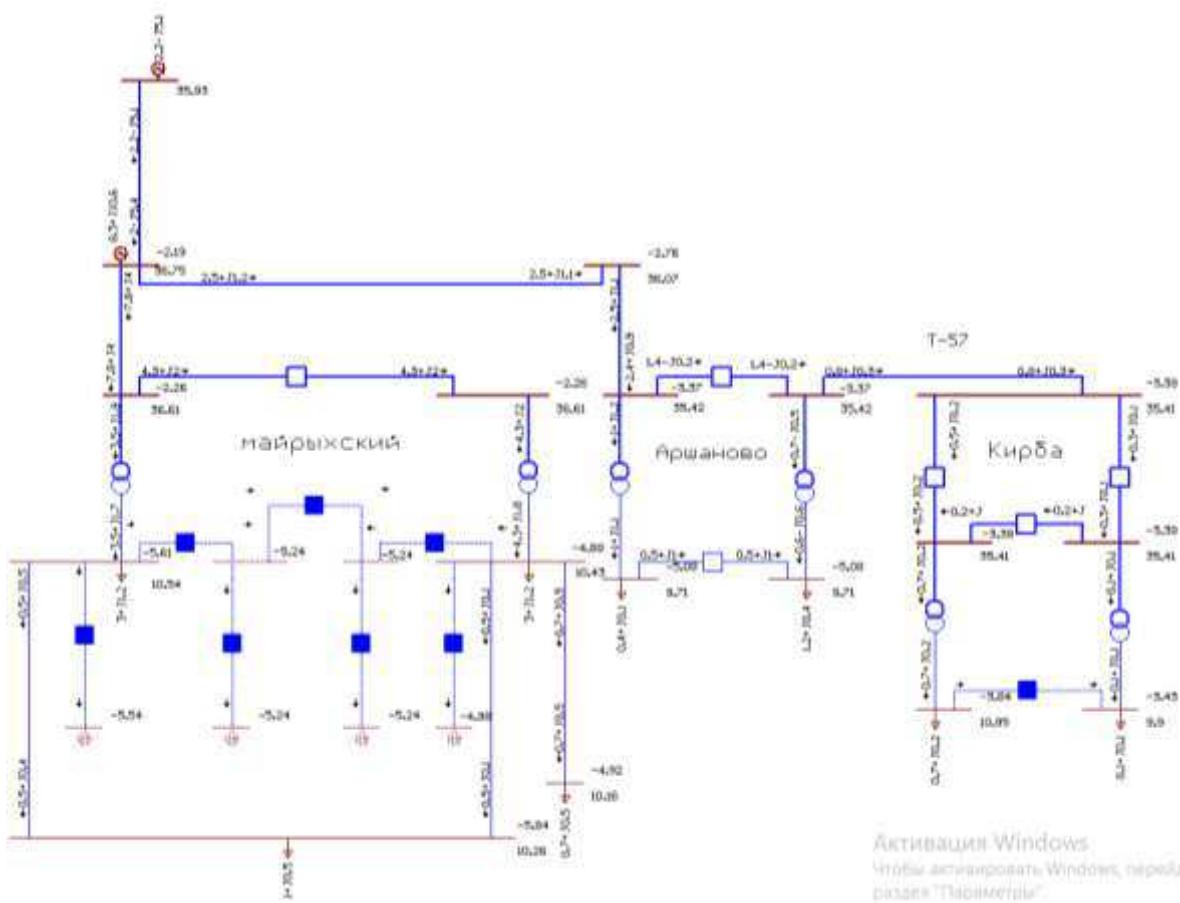


Рисунок 6.4 – Модель при регулировке с помощью РПН

Таблица 6.4 – Узлы

№	Тип	Номер	Название	U_нод	N...	Район	P_H	Q_H	P_F	Q_F	V_M	Q_min	Q_max	B_M	V	Delta
1	база	1		37	0										36,75	-2,19
2	Нагр	2		35	0										36,61	-2,26
3	Нагр	3		11	0										10,34	-5,61
4	Нагр	4		35	0										36,61	-2,26
5	Нагр	5		11	0										10,43	-4,08
6	Нагр	6		11	0										-3 000,0	-5,54
7	Нагр			0											-26,15	
8	Нагр	8		11	0										-5,24	
9	Нагр	9		11	0										-3 000,0	-5,24
10	Нагр	10		11	0										-5,24	
11	Нагр	11		11	0										-6 000,0	-5,24
12	Нагр			0											-26,15	
13	Нагр			0											-26,14	
14	Нагр	14		11	0										-6 000,0	-4,98
15	Нагр			0											-26,15	
16	Нагр	16		35	0										36,07	-2,76
17	Нагр	17		35	0										35,42	-3,37
18	Нагр	18		35	0										35,42	-3,37
19	Нагр	19		11	0		1,2	0,4							9,71	-5,08
20	Нагр	20		11	0		0,4	0,1							9,71	-5,08
21	Нагр	21		35	0										35,41	-3,38
22	Нагр	22		35	0										35,41	-3,38
23	Нагр	23		35	0										35,41	-3,38
24	Нагр	24		11	0		0,7	0,2							10,95	-3,84
25	Нагр	25		11	0		0,1	0,1							9,90	-3,43
26	база	26		36	0				2,2	-5,1					35,93	
27	Нагр	27		11	0		0,7	0,5							10,36	-4,92
28	Нагр	28		11	0		1,0	0,5							10,26	-5,84

Таблица 6.5 – Ветви

O	S	Тип	N_ нач	N_ кон	N_ п	И...	Название	R	X	B	Kт,т	N_ нач	ВД...	P_ нач	Q_ нач	Na	Imax
1		ЛЭП	+	2		-		0,43	0,41	2,8		0	8	-4	0	138	
2		Тр-р	2	3		-		2,60	23,00		0,295	3	1	-4	-2	0	83
3		Выкл	2	4		-						0	-4	-2	0	75	
4		Тр-р	4	5		-		1,40	14,60		0,292	2	2	-4	-2	0	75
5		Выкл	3	6		-						0			0	0	
6		Выкл	0	0		-						0			0	0	
7		Выкл	3	8		-						0			0	0	
8		Выкл	8	9		-						0			0	0	
9		Выкл	8	10		-						0			0	0	
10		Выкл	10	11		-						0			0	0	
11		Выкл	0	0		-						0			0	0	
12		Выкл	0	0		-						0			0	0	
13		Выкл	5	10		-						0			0	0	
14		Выкл	5	14		-						0			0	0	
15		Выкл	0	0		-						0			0	0	
16		ЛЭП	16	17		-		6,20	8,00	58,0		0	-2	-1	0	43	
17		Выкл	17	18		-						0	-1		0	24	
18		Тр-р	18	19		-		11,20	49,20		0,270	0	-1	1	0	14	
19		Тр-р	17	20		-		11,20	49,20		0,290	0	-1	-1	0	25	
20		Выкл	20	19		-						0	-1	-1	0	65	
21		ЛЭП	18	21		-		0,31	0,40	2,9		0	-1		0	14	
22		Выкл	21	22		-						0	-1		0	9	
23		Выкл	21	23		-						0			0	5	
24		Выкл	22	23		-						0			0	3	
25		Тр-р	22	24		-		1,40	14,60		0,310	0	-1		0	12	
26		Тр-р	23	25		-		1,40	14,60		0,280	0			0	2	
27		Выкл	24	25		-						0			0	0	
28		ЛЭП	26	1		-		6,32	8,16	59,2		0	-2	3	0	31	
29		ЛЭП	1	16		-		6,32	8,16	59,2		0	-3	-1	0	44	
30		ЛЭП	1	27		-		1,58	1,95			0	-1	-1	0	46	
31		ЛЭП	3	28		-		2,84	3,63			0			0	36	
32		ЛЭП	9	28		-		2,84	3,63			0	-1		0	31	

Если обратить внимание на таблицу 6.4, то можно увидеть, что с помощью РПН мы также смогли установить необходимый уровень напряжения. Для этого была задана таблица анцапф, благодаря которой мы смогли изменять отпайки, а также внесена в раздел ветви, что показано в таблице 6.5. Из него видно, что для установки необходимых нам напряжение, необходимо было установить отпайку №3 на трансформаторе ТМН-4000/35 и отпайку №2 на ТМН-6300/35. В данном случае напряжения равны  $U_1 = 10.54$  В и  $U_2 = 10.43$  В. Ниже представлен рисунок на котором показана таблица анцапф.

Таблица 6.6 – Анцапфы

	N_bd	Название	ЕИ	+/-	Тип	Место	К...	V_np	V_per	N_анц	Шаг	N_анц	Шаг
1	1	TMH 4000	%	+	РПН	ВН	1	11,0	35,0	4	-2,500	4	2,500
2	2	TMH 6300	%	+	РПН	ВН	1	11,0	35,0	4	-2,500	4	2,500

## **Заключение**

После анализа ПС «Майрыхский», были выявлены проблемы с падением напряжения, а также с усилением гармоник, что пагубно влияло на качество выдаваемой подстанцией электроэнергии.

Была смоделирована модель в программе RastrWin3, сделав анализ режимов работы, было выяснено, что регулировку напряжения можно осуществлять с помощью РПН. БСК, что установлены на подстанции, регулируют напряжения на 400-500 В, что значительно уступает регулированию с помощью РПН.

Также на подстанции были выявлены проблемы с высшими гармониками, их предлагалось решить с помощью ФКУ установленных на подстанции, так как они были включены на 1 ступень, и не работали на полную мощность, они не поглощали достаточного числа гармоник, что влияло на качество электроэнергии, а также на оборудование, после подключения 2 ступени, видно, что количество гармоник, выдаваемых в сеть значительно уменьшилось.

Также проведя дальнейший анализ, было выяснено, что на линии обогатительной фабрики установлен экскаватор, который выдавал большое количество гармоник, было предложено и смоделировано в RastrWin3, запитать его на отдельную линию, что значительно снижает количество выдаваемых им в сеть гармоник, благодаря чему, можно частично отключить ФКУ, повысить качество электроэнергии.

Таким образом, если использовать все вышесказанное, то можно значительно повысить качество выдаваемой электроэнергии.

## **Список использованных источников**

1. Концепция обеспечения надёжности в электроэнергетике. /Воропай Н. И., Ковалёв Г. Ф., Кучеров Ю. Н. и др. – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. 212 с.
2. СТО 4.2–07–2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. –Красноярск : ИПК СФУ, 2014. – с.59
3. Выпускная квалификационная работа по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» : метод. указания / сост. Н. В. Дулесова; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Абакан : Ред.изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, 2017. – 62 с.
4. Влияние высших гармоник напряжения и тока на работу электрооборудования [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
<http://electricalschool.info/main/elsnabg/260-vlijanie-vysshikh-garmonik.html>
5. Конденсаторные установки 6.3-10.5 кВ [Электронный ресурс]. Режим доступа:[https://slavenergo.ru/kondensatornaja\\_ustanovka\\_visokovoltnaja?yclid=3062709562094958762](https://slavenergo.ru/kondensatornaja_ustanovka_visokovoltnaja?yclid=3062709562094958762)
6. Провода марки АС [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
<https://cable.ru/questions/id-12557.php>
7. Данные кабелей СИП [Электронный ресурс]. Режим доступа:<https://k-ps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannyie/dlya-vozdushnyix-liniy-peredach/sip-3/>
8. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – URL:  
[http://rusecounion.ru/sites/default/files/enerstrategy\\_rf.pdf](http://rusecounion.ru/sites/default/files/enerstrategy_rf.pdf)
9. Савина Н. В. Теория надежности в электроэнергетике: учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.
- 10.Надежность электроснабжения и качество электроэнергии [Электронный ресурс]. - Режим доступа:  
[http://www.eti.su/articles/spravochnik/spravochnik\\_1566.html](http://www.eti.su/articles/spravochnik/spravochnik_1566.html).
- 11.Мероприятия по повышению надежности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://leg.co.ua/knigi/ucheba/elektricheskie-seti-i-sistemy-24.html>
- 12.Способы повышения надежности электроснабжения [Электронный ресурс]. - Режим доступа:[https://studref.com/678848/tehnika/sposoby\\_povysheniya\\_nadezhnosti\\_elektrosnabzheniya\\_potrebiteley](https://studref.com/678848/tehnika/sposoby_povysheniya_nadezhnosti_elektrosnabzheniya_potrebiteley)
- 13.Анализ качества электроэнергии [Электронный ресурс]. - Режим доступа:  
[http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/9644/12\\_Temerbaev.pdf?sequence=1](http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/9644/12_Temerbaev.pdf?sequence=1)
- 14.Технические характеристики трансформатора [Электронный ресурс]. - Режим доступа:

[http://energotransbud.com.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=176&Itemid=204](http://energotransbud.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=176&Itemid=204)

- 15.КРУН, технические характеристики [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.zavodkristall.ru/catalog/krun/>
- 16.Требования к оформлению ВКР [Электронный ресурс]. - Режим доступа:<http://khti.sfu-kras.ru/institute/struktura/biblioteka/oformlenie-nauchno-issledovatelskoy-raboty.php>
- 17.Конденсаторные установки с фильтрами [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://energozapad.ru/ukrmf>
- 18.Анализ качества электроэнергии [Электронный ресурс]. - Режим доступа:<https://pue8.ru/kachestvo-elektroenergii/337-analiz-kachestva-elektroenergii.html>
- 19.Высшие гармоники в электросетях [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://neokip.ru/blog/vysshie-garmoniki-v-elektrosetyakh/>
- 20.Причины появления высших гармоник [Электронный ресурс]. - Режим доступа:<http://electricalschool.info/main/elsnabg/1920-prichiny-pojavlenija-vysshikh-garmonik.html>
- 21.Показатели качества электроэнергии [Электронный ресурс]. - Режим доступа:<https://skat-ups.ru/articles/kachestvo-elektroenergii-elektricheskoy-energii/>
- 22.Нормы качества электроэнергии [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2014/05/06/GOST-32144-2013-Elektricheskaja-energija.pdf>
- 23.Документация электросетевых организаций и электрохозяйств предприятий: учебно-практическое пособие / В. Я. Хорольский, А.В Ефанов, В. Н. Шемякин; Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь, 2019 – 68 с.
- 24.Экскаватор Liebherr R 9200 Electric [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://miniteh.com/specs/i/liebherr-r9200-shovel>
- 25.Измерение показателей качества электроэнергии [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://t-zamer.ru/v-pomosh-energetiku/izmerenie\\_kachestva\\_elektricheskoy\\_energii/](https://t-zamer.ru/v-pomosh-energetiku/izmerenie_kachestva_elektricheskoy_energii/)

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО**  
**«Сибирский федеральный университет»**  
институт  
**«Электроэнергетика»**  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 Г.Н. Чистяков  
подпись инициалы, фамилия  
**«30. » 06 2021 г.**

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Анализ качества электроэнергии потребителей ПС «Майрыхская» ПАО  
«Россети – Сибирь» – «Хакасэнерго»  
тема

Руководитель 18.06.2021 доцент, к.т.н.  
подпись, дата должность, ученая степень

Е. В. Платонова  
инициалы, фамилия

Выпускник 18.06.2021 В. А. Метелев  
подпись, дата

инициалы, фамилия

Нормоконтролер 18.06.2021 И. А. Кычакова  
подпись, дата

инициалы, фамилия

Абакан 2021