

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)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Оптимизация режимов работы электрических сетей предприятия

Обучающийся

Р. Н. Оренбуров

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С. В. Шлыков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

## Аннотация

Целью данной работы является оптимизация режимов работы электрических сетей предприятия путём внедрения мероприятий по компенсации реактивной мощности.

Для решения поставленной задачи, в работе выполнен анализ исходных данных, на основании которого осуществлены необходимые обоснованные мероприятия по оптимизации режимов работы электрических сетей предприятия.

На основе технических данных, полученных в результате проведения анализа, в работе проведена разработка проекта оптимизации режимов работы электрических сетей предприятия, включающая выбор компенсирующих устройств (далее – КУ) на ГПП, выбор компенсирующих устройств на цеховых ТП, техническое и экономическое обоснование выбора КУ.

Разработан комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО».

Обоснование всех указанных мероприятий по оптимизации режимов работы электрических сетей предприятия в работе подтверждено соответствующими техническими расчётами и проверками, в частности, выбором современных типов приведённого оборудования и сетей.

Проанализированы и разработаны основные мероприятия для безопасного выполнения работ с последующим их внедрением на объекте исследования.

## Содержание

Введение .....	4
1 Характеристика объекта проектирования.....	6
1.1 Организационно-экономическая характеристика предприятия .....	6
1.2 Характеристика системы электроснабжения предприятия.....	11
1.3 Оптимизация режимов работы электрических сетей предприятия путём компенсации реактивной мощности .....	15
2 Разработка проекта оптимизации режимов работы электрических сетей предприятия.....	22
2.1 Исходные технические данные сетей и оборудования предприятия ..	22
2.2 Выбор компенсирующих устройств на ГПП предприятия .....	24
2.3 Выбор компенсирующих устройств на цеховых ТП предприятия.....	28
2.4 Техническое обоснование выбора компенсирующих устройств.....	31
2.5 Экономическое обоснование выбора компенсирующих устройств ....	32
2.6 Разработка комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности на предприятии .....	38
3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда.....	46
3.1 Мероприятия по охране труда и технике безопасности.....	46
3.2 Мероприятия по пожарной безопасности .....	51
3.3 Мероприятия по экологической безопасности .....	52
Заключение .....	55
Список используемых источников.....	58

## Введение

В настоящей работе детально рассматривается оптимизация режимов работы электрических сетей предприятия, а именно общества с ограниченной ответственностью «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» (далее – ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО»), в основе производственной деятельности которой лежит непосредственное «производство сливочного масла, топленого масла, масляной пасты, молочного жира, спредов и топленых сливочно-растительных смесей» [7].

«Известно, что системы электроснабжения современных участков и цехов промышленного предприятия, являются важным звеном экономики и энергетики» [7] регионов и страны в целом.

Они обеспечивают технологический процесс непосредственного производства и реализации готовой продукции различного рода, а также выполняют непосредственное обслуживание, монтажные и ремонтные работы производственных оборудования и установок предприятия, обеспечивая таким образом технологический процесс на данном промышленном предприятии по производству готовой продукции.

Применение современных типов схем и оборудования для процесса непосредственного производства и реализации готовой продукции различного рода, а также использование их при непосредственном обслуживании, проведении монтажных и ремонтных работ любой сложности и трудоёмкости весьма выгодно, так как этот фактор обеспечивает мощностями технологический процесс всего предприятия в условиях, когда невозможно или очень проблематично применение классических схемных решений и устаревшего оборудования, что делает системы электроснабжения промышленного предприятия практически незаменимым инструментом в технологическом процессе всего предприятия, а также в совокупности – всей промышленности страны.

Целью данной работы является оптимизация системы электроснабжения промышленного предприятия путём внедрения мероприятий по компенсации реактивной мощности.

Известно, что оптимизация режимов работы современных предприятий является необходимым условием на современном рынке труда, позволяющем значительно снизить расходы на собственные нужды, а также удельный расход материалов и энергоносителей на единицу продукции, что способно её значительно удешевить, а, значит, сделать более конкурентоспособной в современном мире. Данный аспект формирует и обуславливает актуальность темы настоящей работы.

Объектом исследования в данной работе является «система электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» [7].

«Предметом исследования являются схема электрических соединений» [7] системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», а также элементы системы электроснабжения объекта исследования, необходимые для условий компенсации реактивной мощности (конденсаторные установки различных классов напряжения).

Для решения поставленной цели в работе произведён выбор компенсирующих устройств на ГПП-110/10 кВ и ТП-10/0,4 кВ промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», а также приведено техническое и экономическое обоснование выбора компенсирующих устройств в системе электроснабжения объекта исследования с разработкой комплекса по оптимизации на объекте исследования.

Все расчёты и проверки, а также выбор принятых решений, должны соответствовать принятым условиям.

# 1 Характеристика объекта проектирования

## 1.1 Организационно-экономическая характеристика предприятия

В работе объектом исследования является оптимизация режимов работы предприятия на примере системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО». Общество с ограниченной ответственностью «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» является одной из компаний средней мощности Российской Федерации. Рассматриваемая в работе организация ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» территориально располагается по следующему адресу: 446800, Самарская область, Кошкинский р-н, с Кошки, 4-й кв-л, д. 12, пом. 1. ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» имеет уставной капитал в размере более 100 млн. руб. [12,13]. Кистайкина Жанна Вячеславовна является генеральным директором компании с 10 ноября 2021 г. По состоянию на апрель 2022 года на ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» трудится 461 человек. Структура управления рассматриваемой в работе ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» представлена на рисунке 1 [12,13].



Рисунок 1 – Структура корпоративного управления ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО»

Рассмотренная на рисунке 1 структура корпоративного управления ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» соответствует современным требованиям, так как включает не только административное управление (совет директоров, председатель правления, собрание акционеров), а и крайне важные и необходимые комитеты, а именно: комитет по аудиту, кадрам и вознаграждению, стратегии, инвестициям. Всё это делает структуру управления ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» гибкой и эффективной. Основным видом деятельности ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» является «производство сливочного масла, топленого масла, масляной пасты, молочного жира, спредов и топленых сливочно-растительных смесей» [7]. Кроме того, дополнительными видами деятельности ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» являются ещё более тридцати наименований, основные из которых следующие [12,13]:

- торговля оптовая молочными продуктами, яйцами, а также «пищевыми маслами и жирами» [12];
- «производство молока (кроме сырого) и молочной продукции» [12];
- «производство питьевого молока и питьевых сливок» [12];
- строительство жилых и нежилых зданий.

В состав ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» входит ремонтно-производственная база [12,13]. На данной базе сосредоточены основные производственные мощности ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО». Кроме того, рассмотренная ремонтно – производственная база ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» осуществляет поставку техники с последующей её предпродажной подготовкой и реализацией, а также осуществляет реализацию и доставку строительных материалов, оказание транспортных услуг предприятиям и населению, являясь основной ремонтной, транспортной и сырьевой базой ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО». Финансовые показатели по данным ФНС и Росстата рассматриваемой в работе организации ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за 2017-2021 гг. представлена в таблице 1 [12,13].

Таблица 1 - Финансовые показатели «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за 2017-2021 гг. (активы)

Календарный год	Нематериальные активы, тыс. руб.	Затраты на исследования и разработки, тыс. руб.	Основные средства, тыс. руб.	Финансовые вложения, тыс. руб.	Отложенные активы, тыс. руб.
2017	16570	546	3637	1205	10
2018	22790	560	23161	1020	1635
2019	29740	452	23834	782	3158
2020	32470	170	25319	453	5053
2021	41550	168	16182	120	14649

Финансовые показатели по данным ФНС и Росстата ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за 2017-2021 гг. (активы) в динамике представлена на графике рисунка 2.

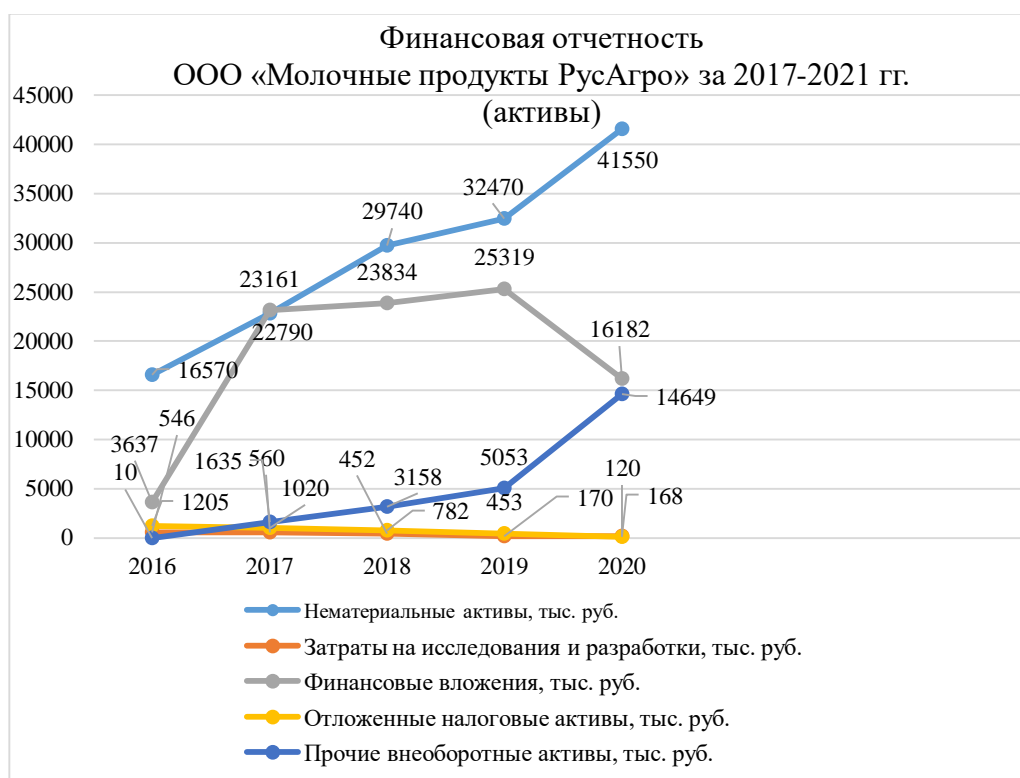


Рисунок 2 – Финансовые показатели ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за 2017-2020 гг. (активы)

По данным таблицы 1 и рисунка 2, иллюстрирующих финансовые показатели по данным ФНС и Росстата ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» (активы) за 2017-2021 гг., можно сделать следующие выводы:



– за текущий период с 2017 г. по 2021 г. значительно увеличились активы предприятия (нематериальные и отложенные, а также основные средства), что связано с их накоплением на протяжении данного периода в виду получения прибыли;

– финансовые вложения на протяжении данного периода значительно снизились, а основные средства предприятия – возросли;

– затраты на исследования и разработки неуклонно снижались на протяжении 5 лет, что связано с освоением рынка. Первоначальные затраты на исследования и разработки должны были помочь продвижению новой организации на рынке, после освоения рынка руководство отказалось от данной стратегии (прослеживается уменьшение затрат на данную статью на протяжении всего рассматриваемого периода).

Прибыль и доходы по данным ФНС и Росстата ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за 2017-2021 гг. представлена в таблице 2 [13].

Таблица 2 – Прибыль и доходы ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за 2017-2027 гг.

Календарный год	Выручка, тыс. руб.	Валовая прибыль, тыс. руб.	Прибыль от продаж, тыс. руб.	Чистая прибыль, тыс. руб.
2016	167839	37538	3872	1375
2017	370970	93953	8057	3850
2018	454458	113087	20556	6805
2019	518533	122397	28530	9050
2020	388240	83372	16815	5140

По данным таблицы 2, иллюстрирующий финансовую отчетность по данным ФНС и Росстата ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» (прибыль и доходы) за 2017-2021 гг., можно сделать следующий вывод: изменения на протяжении рассматриваемого периода выручки, валовой прибыли, прибыли от продаж и чистой прибыли, имели следующую тенденцию: стабильный рост с 2017 г. до 2020 г., некоторое снижение в 2021 г. вследствие пандемии коронавируса.

Финансовые показатели ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за 2017-2021 гг. (прибыль и доходы) в динамике представлена на графике рисунка 3.



Рисунок 3 – Прибыль и доходы ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за 2017-2021 гг.

Рисунок 3 визуально (в динамике) иллюстрирует и подтверждает вывод, сделанный по данным таблицы 2 в работе.

В совокупности по двум анализируемым данным таблицам 1 и 2 можно предположить, что падение доходов в 2021 году ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», помимо пандемии коронавируса, связано также с тем, что организация отказалась от увеличения активного инвестирования в исследования и разработки (таблица 1), поэтому в обозримом будущем в современных условиях рынка организацию могут потеснить конкуренты, которые активно развивают и внедряют собственные новые технологии и авторские разработки.

На основе приведённого анализа финансово – экономических показателей ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за 2017-2021 гг., далее в работе проводится решение поставленных задач.

## **1.2 Характеристика системы электроснабжения предприятия**

Источниками питания электрической сети рассматриваемого в работе ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» «являются следующие понизительные подстанции энергосистемы» [12]:

- «1 ввод: от ПС-330/110/10 кВ» [12];
- «2 ввод: от ПС-550/220/110/35/10 кВ» [12].

Поэтому питание всего промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» осуществляется от главной понизительной подстанции 110/10 кВ (далее – ГПП).

На ГПП ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» принята установка двух силовых трансформаторов номинальной мощностью 6300 кВА каждый марки ТМН-6300-110/10У1 [17].

Для питающей ГПП-110/10 кВ принята схема соединений «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [12], которая применяется при двух трансформаторах с нерасщепленными обмотками НН на высших напряжениях понизительных подстанций с высшим напряжением 35-110 кВ [3].

Такая схема рекомендована нормами [10].

Также «на ГПП-110/10 кВ рассматриваемой системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» предусмотрена отдельная работа секций сборных шин, которые питаются от независимых источников согласно нормативным требованиям» [1].

«В РУ-10 кВ на ГПП-110/10 кВ принята схема с необходимым уровнем резервирования» – «одионочная секционированная система сборных шин, секционированная секционным выключателем высокого напряжения, с

устройством автоматического включения резерва» (АВР), обеспечивающая необходимые условия надёжности с соблюдением условий резервирования и секционирования [3].

Данная схема рекомендована нормами [10].

«От шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ по радиальной схеме электроснабжения кабельными линиями» [12] марки АСБ-10, получают питание понизительные трансформаторные подстанции «(ТП-10/0,4 кВ), непосредственно распределяющие электроэнергию потребителям на напряжении 0,38/0,22 кВ» [12].

«При этом, после проведённой в 2010-2015 гг. реконструкции ТП-10/0,4 кВ» [12] в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», были демонтированы устаревшие и неэффективные ТП-10/0,4 кВ и установлены в каждом основном производственном цеху собственные современные понизительные ТП-10/0,4 кВ.

Всего в схеме электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» предусмотрено четыре двухтрансформаторные понизительные цеховые ТП-10/0,4 кВ, которые полностью удовлетворяют поставленным требованиям по обеспечению бесперебойного электроснабжения всех потребителей объекта, которые на нём находятся.

На промышленном предприятии ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» имеются следующие четыре основных производственных цеха (участка):

- участок подготовки производства (№ 1 по плану);
- производственный участок (№ 2 по плану);
- цех маркировки и упаковки (№ 3 по плану);
- участок готовой продукции (№ 4 по плану).

Кроме того, в условиях реалий современной экономики предприятий промышленного комплекса также крайне необходимо также использовать

все возможности для получения прибыли, исходя из производимой продукции и технических возможностей [12].

Поэтому помимо процесса изготовления и реализации продукции, на промышленном предприятии ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» также предусмотрены участки, которые занимаются обслуживанием и ремонтов техники и промышленного оборудования данного предприятия.

Для данной цели на промышленном предприятии ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» применяется оборудование широкопрофильного цеха ремонта и обслуживания оборудования, в котором также выполняется модернизация технологического оборудования и технических установок по производству готовой продукции.

Это значительно повысит спрос выпускаемой продукции промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» в реалиях современной экономики, а также существенно удешевит выпускаемую продукцию путём снижения затрат на ремонт и эксплуатацию оборудования в целом.

Также для привлечения партнёров и покупателей с целью рекламирования производимой продукции, а также её реализации, на промышленном предприятии ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» необходимо предусмотреть торгово-выставочный комплекс, который конструктивно входит в состав складского комплекса.

Исходя из приведённой информации, к вспомогательным цехам рассматриваемого в работе промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» относятся:

- цех ремонта и обслуживания оборудования (№ 5 по плану);
- участок обслуживания производства (№ 6 по плану);
- складской комплекс (№ 7 по плану);
- заводоуправление (№ 8 по плану).

Все перечисленные в работе вспомогательные цеха и участки оказывают непосредственное влияние на технологический процесс

производства и реализации готовой продукции промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО». Кроме того, они все являются звеньями одной цепочки системы электроснабжения данного предприятия.

По этой причине они также должны быть включены в рассматриваемую систему электроснабжения промышленного предприятия при проведении его оптимизации. Исходные технические данные приведённых цеховых ТП-10/0,4 кВ, питающих производственные и вспомогательные цеха и участки рассматриваемого в данной работе промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», приведены в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Исходные фактические данные электрических нагрузок ТП-10/0,4 кВ промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО»

Наименование ТП-10/0,4 кВ	P <sub>p</sub> , кВт	Категории надёжности потребителей, %
ТП 1	2028,42	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.
ТП 2	1171,72	60% – I кат.; 30% – II кат.; 10% – III кат.
ТП 3	1891,18	70% – I кат.; 10% – II кат.; 20% – III кат.
ТП 4	1668,1	55% – I кат.; 30% – II кат.; 15% – III кат.
Всего по промышленному предприятию ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО»	6613,12	-

На основании приведенных исходных данных производственных и вспомогательных цехов и участков промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», а также исходного плана расположения цехов и участков объекта исследования, далее в работе проводится решение основных поставленных задач по разработке оптимизации режимов работы электрических сетей данного промышленного предприятия.

### **1.3 Оптимизация режимов работы электрических сетей предприятия путём компенсации реактивной мощности**

Известно, что одной из проблем современных распределительных электрических сетей систем электроснабжения промышленных предприятий, является недостаточная компенсация реактивной мощности, приводящая к увеличению технических потерь электроэнергии, загрузке избытком реактивной мощности, не только сетей потребителя, а и питающих сетей энергоснабжающих организаций, в следствие чего возникает дополнительный перегрев сетей и оборудования, снижение напряжения в сетях, снижение качества электроэнергии, выход из строя сложных устройств автоматики и т.п.

В виду перечисленных выше аспектов, выбор мощности и места установки компенсирующих устройств в узлах распределительных электрических сетей электроснабжения промышленных предприятий для качественной компенсации реактивной мощности является актуальной задачей, которая сегодня принимается и регламентируется на государственном уровне [1-5].

Поэтому исследования, проводимые в данной работе, носят актуальный характер.

«Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения» [12] потребителей всех типов является актуальной задачей и регулируется на государственном уровне.

«Государственная система управления процессом компенсации реактивной мощности (далее – КРМ) сегодня выполняет свои функции с помощью управляющих факторов, которые определяются государством и составляют ее организационную структуру» [12].

«Проведённый краткий анализ нормативных литературных источников [7-11] показывает, что эти управляющие факторы могут быть как

административными, с жёсткими критериями, так и экономическими, имеющие либеральный характер» [12].

«При таком подходе потребитель целиком и полностью принимает самое непосредственное участие в процессе КРМ» [10].

«При этом введены надбавки и скидки за величину реактивной мощности, которую выдаёт потребитель в энергосистему» [12].

«Указанные надбавки и скидки учтены в тарифе на оплату РМ в виде поправок» [10].

«То есть при введении и учёте указанных управляющих факторов в виде указанных выше поправок, будут выполняться необходимые и достаточные условия для реализации положений нормированных технических показателей энергосистемы как у потребителя, так и у поставщика электроэнергии» [19].

«Известно выражение для определения абонентского тарифа на оплату реактивной мощности, руб./квар·ч, в которых непосредственно учитываются «нормальная» и «стимулирующая» поправки» [10]:

$$c = c_p + c_{Q.норм.} + c_{Q.стим.} \quad (1)$$

где  $c_p$  – «установленный тариф на передачу активной электроэнергии, руб./кВт·ч» [12];

$c_{Q.норм.}$  – «поправка на компенсацию реактивной мощности до нормативного значения с учётом надбавок и штрафов в зависимости от выходного значения  $tg \varphi$  потребителя («нормальная поправка»)» [12];

$c_{Q.стим.}$  – «поправка на компенсацию реактивной мощности до сверхнормативного значения («глубокая компенсация» РМ) с учётом надбавок в зависимости от выходного значения  $tg \varphi$  потребителя («стимулирующая поправка»)» [12].



«При этом указанные поправки в выражении (1) являются управляющими факторами и оказывает непосредственное влияние на участие потребителя в установке компенсирующих устройств (далее – КУ)» [12].

«Также известно, что на параметры потребления реактивной мощности в сетях потребителя оказывает существенное влияние такие параметры, как нелинейность, нестационарность и несимметрия нагрузки электрооборудования потребителя, которые, помимо повышения реактивной мощности, также создают дополнительные потери в сети, а также искажают её нормируемые показатели» [8,9].

«Это в конечном итоге приводит к дополнительным потерям и проблемам во всей энергосистеме» [8,9].

На сегодняшний день большинство счётчиков реактивной электроэнергии не в состоянии качественно измерить указанные параметры, следовательно, потребитель не платит за дополнительные потери и искажение показателей энергосистемы, обусловленные нелинейностью, нестационарностью и несимметрией нагрузки, принося этим вред энергосистеме, которая вынуждена это устранять.

Следует сказать, что данные процессы присущи подавляющему большинству современных потребителей электроэнергии, ведь практически на каждом промышленном и коммунальном (а в последнее время очень часто и на бытовом) потребительском уровне есть электроприёмники, вносящие нелинейность, нестационарность и несимметрию нагрузки (например, асинхронные двигатели, сварочные трансформаторы, дуговые и индукционные электрические печи и т.д.).

Также графики нагрузки абсолютного большинства потребителей не постоянны во времени, что в конечном итоге вносит необходимые корректировки в значение мощности, отпускаемую таким потребителям энергосистемой с учётом часов «максимумов» и «минимумов», что в конечном итоге приводит к ухудшению показателей энергосистемы в целом за счёт увеличения перетоков реактивной мощности.

Поэтому в государственном тарифе на оплату «реактивной мощности дополнительно учитывается негативное влияние таких перечисленных выше факторов, как нелинейность, нестационарность и несимметрия нагрузки электрооборудования потребителя» [12] на сеть энергоснабжающей организации путём их совместного учёта со стимулирующей и корректирующей поправками абонентского тарифа [10,11], т. е. в конечном итоге введения нового управляющего фактора, стимулирующего потребителей к участию в компенсации реактивной мощности.

Анализируя публикации последних лет по данной тематике [12-16], отмечается, что большинство работ авторов и нормативных документов, регламентирующих и обосновывающих процесс компенсации РМ, посвящены усовершенствованию моделей и методов расчетов потерь электроэнергии и стимулирования потребителя к установке компенсирующих устройств в своих сетях, то есть привлечения конечного потребителя к процессу компенсации РМ.

Также значительно недооценена «глубокая компенсация» РМ, то есть компенсация до сверхнормативных значений и показателей коэффициента реактивной мощности  $tg \varphi$ .

В источнике [13] показано, что, «компенсируя реактивную мощность до значения  $tg \varphi = 0,35$ , потери активной мощности снижаются на 20 %, а выполняя глубокую компенсацию до значения  $tg \varphi = 0,10$ , эти же потери уменьшаются на 42 %, однако, при этом необходимо увеличить мощность компенсирующих устройств» [12] ориентировочно в 2 раза.

Действующим приказом [11] максимальное значение  $tg \varphi$  для сетей напряжением 10 кВ ограничивается значением, равном 0,4.

В источнике [14] доказано, что значение данной указанной величины не имеет обоснования и требует пересмотра в связи с новыми аспектами и полученными результатами по данной проблеме.

В источнике [15] показано, что для современных «электрических сетей электроснабжения доля мощных трехфазных асинхронных двигателей

относительно мала по сравнению с промышленными предприятиями» [12], по этой причине нижнее ограничение должно быть установлено на уровне нуля.

Также, помимо прочего, целесообразно и оптимально выполнить компенсацию реактивной мощности до значения  $tg \varphi=0$ , при этом потери активной мощности уменьшаются на 10-15 %, а в некоторых случаях – на уровень 20 % и более [13,15].

С экономической точки зрения, компенсация РМ до максимального нормируемого значения  $tg \varphi=0,35$  будет более привлекательным, так как требует меньше расходов, однако, с точки зрения таких перспективных критериев оценки, выполнять глубокую компенсацию реактивной мощности до значения  $tg \varphi=0,1$  гораздо выгоднее и целесообразнее.

Для компенсации реактивной мощности в узлах распределительных электрических сетей электроснабжения наибольшее распространение получили конденсаторные установки (КУ).

Это – самый простой и приемлемый способ и метод сегодня получить нормированное значение текущего и фактического коэффициента активной и реактивной мощности в сети.

При этом компенсаторы в виде конденсаторных установок имеют значительные преимущества в виде низкой цены, удобства в обслуживании, долговечности и надёжности.

Кроме того, в последние десятилетия практически все компенсаторы в виде конденсаторных установок дополнительно оснащаются регулировочной автоматикой, способной мгновенно включать установки при необходимости повысить нужный коэффициент мощности, и отключать их в случае достижения требуемого технического уровня.

Также при подключении компенсаторов в виде конденсаторных установок, огромное практическое значение имеют схемы их подключения и присоединения к сети.

Поэтому электрические схемы подключения и присоединения КУ-0,4 кВ приведены в работе на графическом листе 1, а КУ-6(10) кВ – на графическом листе 2.

Подводя итог, можно утверждать, что электрических сетях всех типов проект по глубокой компенсации является весьма аргументированным и экономически привлекательным [16].

Поэтому обоснование и выбор устройств компенсации реактивной мощности для рассматриваемых в работе распределительных электрических сетей системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» представляется актуальной задачей, имеющую практическую ценность значение на государственном уровне.

Решение данной задачи позволит достичь конечной цели работы – провести оптимизацию режимов работы электрических сетей предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» в соответствии с необходимыми требованиями и стандартами [1,6,8-12].

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, описаны, проанализированы и систематизированы исходные данные на выполнение работы: приведено описание, систематизация и анализ организационно – экономических характеристик предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», а также источников питания электрической сети данного предприятия, расположения сетей и понизительных подстанций на плане ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО». Также детально рассмотрены прочие исходные данные к выполнению работы.

Проведён краткий анализ литературных источников по тематике исследования, в результате которого установлено, что компенсация реактивной мощности в узлах распределительных электрических сетей систем электроснабжения в современных условиях является актуальной и перспективной задачей, способная оптимизировать режимы работы электрических сетей предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ

РУСАГРО». Также установлено, что для компенсации реактивной мощности в узлах распределительных электрических сетей электроснабжения наибольшее распространение получили конденсаторные установки как самый простой и приемлемый способ и метод сегодня получить нормированное значение текущего и фактического коэффициента активной и реактивной мощности в сети. При этом компенсаторы в виде конденсаторных установок имеют значительные преимущества в виде низкой цены, удобства в обслуживании, долговечности и надёжности. Кроме того, в последние десятилетия практически все компенсаторы в виде конденсаторных установок дополнительно оснащаются регулировочной автоматикой, способной мгновенно включать установки при необходимости повысить нужный коэффициент мощности, и отключать их в случае достижения требуемого технического уровня.

Данная задача реализуется в работе далее.

## 2 Разработка проекта оптимизации режимов работы электрических сетей предприятия

### 2.1 Исходные технические данные сетей и оборудования предприятия

Исходные технические данные сетей и оборудования предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», на основании которых проводится расчёт оптимизации режимов работы электрических сетей предприятия, осуществляемый путём обоснования выбора места, количества и мощности компенсирующих устройств, приводятся ниже.

Значение расчётных нагрузок на шинах ГПП-110/10 кВ ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО»:

- активная расчётная нагрузка  $P_p = 6613,1$  кВт;
- реактивная расчётная нагрузка  $Q_p = 3306,18$  квар.

Значения электрических нагрузок ТП-10/0,4 кВ промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», на основе которых проводился выбор мощности трансформаторов данных ТП-10/0,4 кВ, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Электрические нагрузки ТП-10/0,4 кВ

Наименование ТП	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВар	$S_p$ , кВА
ТП 1	2028,42	778,79	2173,26
ТП 2	1171,72	445,21	1671,31
ТП 3	1891,18	982,85	2131,33
ТП 4	1668,1	456,29	1729,38
Всего по предприятию ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО»	6613,12	3306,14	7508,85

Данные силовых трансформаторов, установленных на понизительных ТП-10/0,4 кВ ООО промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» г., представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Данные силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ

Наименование ТП	Тип трансформаторов	$S_{тр}$ , кВА	N, шт	$k_3$
ТП 1	ТМ-1600/10У1	1600	2	0,63
ТП 2	ТМ-1600/10У1	1600	2	0,49
ТП 3	ТМ-1600/10У1	1600	2	0,68
ТП 4	ТМ-1000/10У1	1000	2	0,85

От понизительных ТП-10/0,4 кВ промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», осуществляется непосредственное питание потребителей системы электроснабжения на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ [1]. При этом для каждого потребителя системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» предусматривается вводное распределительное устройство (ВРУ-0,4 кВ) потребителей, схемы электроснабжения которых зависят от категории надёжности потребителей [1]. Рассмотренная схема электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» представлена на листе 4.

Марки кабельных линий напряжением 10 кВ, а также марки электрических аппаратов 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», представлены в таблицах 3-5.

При этом в соответствующих таблицах приведены:

- в таблице 6 - марки кабельных линий напряжением 10 кВ;
- в таблице 7 - марки электрических аппаратов напряжением 110 кВ;
- в таблице 8 - марки электрических аппаратов напряжением 10 кВ.

Таблица 6 – Марки кабельных линий напряжением 10 кВ

Линия	Назначение линии	$S_p$ , кВА	N, шт	$I_p$ , А	$I_{p,max}$ , А	$F_э$ , мм	Марка кабеля	$I_{дон}$ , А
Л1	ГПП-ТП 1	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3x50)	132
Л2	ГПП-ТП 2	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3x50)	132
Л3	ГПП-ТП 3	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3x50)	132
Л4	ГПП-ТП4	1000	2	28,9	57,8	41,3	АСБ-10(3x35)	110

Таблица 7 – Электрические аппараты напряжением 110 кВ

Наименование электрического аппарата	Марка (типономинал) электрического аппарата
Выключатель высокого напряжения	ЛТВ-145D1/В-31,5/2000
Разъединитель	РГ-110/1000У1
Трансформатор тока	ТВТ-110
Трансформатор напряжения	НДКМ-110
Ограничители перенапряжений	ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1

Таблица 8 – Электрические аппараты напряжением 10 кВ

Наименование электрического аппарата	Марка (типономинал) электрического аппарата
Выключатель высокого напряжения	ВВ/TEL-10-20/3600-У2-48 (ввод и секционный ВВН) ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 (ВВН к отходящим потребителям)
Предохранитель плавкий	ПК-10-16 (для защиты ТТ)
Трансформатор тока	ТЛО-10
Трансформатор напряжения	НАМИ-10
Ограничители перенапряжений	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1

На основании приведённых технических данных и выбранных схем электрических соединений ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», являющихся основой для рассматриваемой в работе системы электроснабжения промышленного предприятия, далее в работе проводится детальный выбор и проверка компенсирующих устройств, используемые для оптимизации режимов работы системы электроснабжения объекта проектирования.

## 2.2 Выбор компенсирующих устройств на ГПП предприятия

Выбор компенсирующих устройств на ГПП-110/10 кВ промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» проводится с целью компенсации реактивной мощности в сети 10 кВ.

Таким образом, в работе будет достигнут эффект оптимизации режимов работы электрических сетей на питающей ГПП предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО».



При этом применяется централизованная компенсация реактивной мощности [9].

Рассчитывается расчётный коэффициент реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ [8]:

$$\operatorname{tg}\varphi_p = \frac{Q_p}{P_p}, \quad (2)$$

где  $Q_p$  – расчётная реактивная нагрузка на шинах ГПП-110/10;

$P_p$  – расчётная активная нагрузка на шинах ГПП-110/10.

Согласно условия (2)

$$\operatorname{tg}\varphi_p = \frac{3306,18}{6613,1} \approx 0,5$$

Мощность компенсирующих устройств  $Q_{ку}$  для установки на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» определяется так:

$$Q_{ку} = P_p (\operatorname{tg}\varphi_p - \operatorname{tg}\varphi_o). \quad (3)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi_o$  – оптимальное значение коэффициента реактивной мощности, принимается значение  $\operatorname{tg}\varphi_o = 0,4$  [8].

$$Q_{ку} = 6613,1 \cdot (0,5 - 0,4) \approx 661 \text{ квар.}$$

Принимается для установки на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» две конденсаторные установки марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 с суммарной реактивной мощностью  $2 \cdot 300 = 600$  квар.

Далее необходимо провести проверку силовых трансформаторов на ГПП-110/10 кВ с учётом выбранных устройств компенсации реактивной мощности [1].

Значение расчетной реактивной нагрузки на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» с учётом проведённой компенсации реактивной мощности

$$Q_{p.k} = Q_p - Q_{КУ}, \text{ квар.} \quad (4)$$

$$Q_{p.k} = 3306,18 - 600 = 2706,18 \text{ квар.}$$

После выбора компенсирующих устройств для установки на ГПП промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», необходимо проверить на допустимую загрузку реактивной мощностью трансформаторы ГПП.

Для этой цели проводится соответствующий расчёт.

Полная расчётная нагрузка промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» с учётом проведённой компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.k}^2}, \text{ кВА.} \quad (5)$$

$$S_{p.} = \sqrt{6613,1^2 + 2706,18^2} = 7145,4 \text{ кВА.}$$

Номинальная мощность силового трансформатора для установки на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» с учётом проведённой компенсации реактивной мощности и выбранных компенсирующих устройств на шинах 10 кВ:

$$S_{ном} \geq \frac{S_P}{n \cdot K_3}, \quad (6)$$

где  $n$  – количество силовых трансформаторов, шт.;

$K_3$  – коэффициент загрузки силового трансформатора,  $K_3 = 0,7$ .

Согласно (6)

$$S_{ном} \geq \frac{7145,4}{2 \cdot 0,7} = 5103,8 \text{ кВА}.$$

Принимается для установки на ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» с учётом проведённой компенсации реактивной мощности, два силовых трансформатора марки ТМН-6300-110/10У1 номинальной мощностью 6300 кВА каждый [18].

Исходя из полученных результатов работы, можно сделать следующие выводы:

– в результате проведённого выбора компенсирующих устройств на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», приняты к установке две конденсаторные установки марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 с суммарной реактивной мощностью  $2 \cdot 300 = 600$  квар;

– в результате проведения проверочного расчёта мощности силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» установлено, что находящиеся в работе силовые трансформаторы марки ТМН-6300-110/10У1 не нуждаются в замене в связи с выбранными устройствами компенсации реактивной мощности.

Данные выводы и результаты используются в работе далее.

### 2.3 Выбор компенсирующих устройств на цеховых ТП предприятия

Выбор компенсирующих устройств на ТП-10/0,4 кВ промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» проводится с целью компенсации реактивной мощности в сети 0,38/0,22 кВ потребителей.

При этом в работе применяется групповая компенсация реактивной мощности [9,10].

Таким образом, в работе будет достигнут эффект оптимизации режимов работы электрических сетей на цеховых ТП предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО».

Проводится расчёт и выбор компенсирующих устройств (КУ) напряжением 0,4 кВ для установки на ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» по выражению [10]:

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.Т}})^2 - P_{\text{р.ТП}}^2}, \quad (7)$$

где  $N$  – количество трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт;

$\beta_m$  – коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ.

Мощность конденсаторных установок напряжением 0,4 кВ для установки на ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» определяется согласно [10]

$$Q_{\text{н.к}} = Q_{\text{р.}} - Q_T, \quad (8)$$

где  $Q_{\text{р.}}$  – значение расчетной реактивной нагрузки ТП-10/0,4 кВ

системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», квар.

С учётом выбора компенсирующих устройств напряжением 0,4 кВ на ТП-10/0,4 кВ, необходимо также проверить силовые трансформаторы, установленные на ТП-10/0,4 кВ.

При этом полная расчётная мощность ТП-10/0,4 кВ с учётом выбранных устройств компенсации реактивной мощности [18]

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p^2 - Q_{КУ})}. \quad (9)$$

Фактический коэффициент загрузки силовых трансформаторов на цеховых ТП-10/0,4 кВ промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» с учётом выбранных устройств компенсации реактивной мощности будет равен [18]

$$K_3 = \frac{S_p}{N_m \cdot S_{ном.м}}. \quad (10)$$

В качестве примера в работе проводится выбор компенсирующих устройств для установки на ТП 1 системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО»:

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1600)^2 - 2028,42^2} = 1561,77 \text{ квар.}$$

$$Q_{н.к} = 778,79 - 1561,77 = -782,98 \text{ квар.}$$

В результате проведения расчётов установлено, что для ТП 1 системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» расчётная мощность КУ имеет отрицательное значение, следовательно, КУ на ТП 1 не устанавливаются и компенсация РМ не требуется.

При этом расчётная нагрузка и коэффициент загрузки силовых трансформаторов, установленных на цеховой ТП 1 в виду отсутствия КУ, не

изменяются и принимаются равными исходным значениям и данным, приведённым в работе ранее ( $S_p = 2172,79$  кВА,  $K_3 = 0,63$ ). Остальные параметры также остаются без изменений.

Следовательно, силовые трансформаторы, установленные на ТП 1 системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», остаются без изменений. Результаты выбора компенсирующих устройств на остальных цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор КУ-0,4 кВ на цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО»

ТП-10/0,4 кВ	Марка силового трансформатора	Расчетные нагрузки		Компенсирующие устройства, квар				Sp, кВА
		P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	Q <sub>г</sub>	Q <sub>н.к</sub>	Q <sub>к.у</sub>	Тип КУ	
ТП 1	ТМ-1600/10У1	2028,42	778,79	1561,77	-782,98	-	-	2172,79
ТП 2	ТМ-1600/10У1	1571,72	556,21	2020,72	-1464,51	-	-	1667,23
ТП 3	ТМ-1600/10У1	1891,18	982,85	1890,24	-907,39	-	-	2131,33
ТП 4	ТМ-1000/10У1	1668,1	456,29	1247,8	-254,2	-	-	1729,38
Итого		6013,10	2934,18	-	-	-	-	5971,35

В результате проведения расчётов установлено, что на всех ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», установка компенсирующих устройств напряжением 0,4 кВ не требуется.

Значит, компенсация реактивной мощности в работе достигается применением компенсирующих устройств напряжением 10 кВ выбранного типа, только при установке на шинах 10 кВ питающей ГПП системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО».

## 2.4 Техническое обоснование выбора компенсирующих устройств

В результате расчёта компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», установлено, что оптимальным решением будет установка двух конденсаторных установок марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 суммарной реактивной мощностью 600 квар.

То есть, 600 квар – это величина реактивной мощности, которая компенсируется за сутки на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО».

Следовательно, за год реактивная мощность на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» компенсируется в количестве, равном

$$Q_{p.год} = Q_{кв} \cdot n, \text{ квар}, \quad (11)$$

где  $n$  – число дней в календарном году.

Так как ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» помимо основных производственных потребителей также питает административные, муниципальные, коммунальные и бытовые объекты и объекты малого бизнеса, в работе принимается только число рабочих дней в году (без учёта выходных и праздничных дней).

В 2022 году  $n = 247$  дней.

Значит, за год величина компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» по условию (11) будет равна

$$Q_{p.год} = 600 \cdot 247 = 148200 \text{ квар}.$$

Исходя из полученных результатов расчёта компенсации реактивной мощности установлено, что на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» в результате установки компенсирующих устройств за год реактивная электроэнергия компенсируется в количестве, равном 148200 квар, что характеризует данное мероприятие технически обоснованным и выгодным.

Окончательный вывод по целесообразности предложенного мероприятия будет сделан после проведения его экономического обоснования.

Экономическое обоснование проводится в работе далее.

## **2.5 Экономическое обоснование выбора компенсирующих устройств**

Экономическая эффективность описанных выше мероприятий по установке компенсирующих устройств на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» очевидна, поскольку они снижают перетоки реактивной мощности в сетях, уменьшают нагрев в сетях и оборудовании системы электроснабжения, а также оптимизируют энергопотребление и коэффициенты загрузки оборудования, что приводит к уменьшению технических (нагрузочных) потерь электроэнергии на объекте исследования [19].

Кроме того, данные мероприятия являются одним из известных способов уменьшения затрат на обслуживание и ремонт, что в свою очередь, положительно сказывается на технико-экономических показателях системы потребителей [19].

Проводится экономическое обоснование мероприятий по компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», которое осуществляется внедрением двух



конденсаторных установок марки УКРМ-6,3 (10,5) - 300 с суммарной реактивной мощностью  $2 \cdot 300 = 600$  квар.

В работе при проведении технического обоснования данного мероприятия установлено, что в результате установки данных компенсирующих устройств на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за год реактивная электроэнергия компенсируется в количестве, равном 148200 квар, что характеризует данное мероприятие технически обоснованным и выгодным.

Экономический эффект, полученный от компенсации реактивной мощности путём установки двух конденсаторных установок марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за год, равен [20]

$$\mathcal{E} = Q_{p.год} \cdot C, \text{ руб}, \quad (12)$$

где  $C$  – величина абонентского тарифа на оплату реактивной электроэнергии, руб./квар·ч.

Значение абонентского тарифа на оплату реактивной мощности, в работе определяется по приведённому ранее выражению (1).

При расчёте по условию (1) для данных условий ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», приняты по таблицам поправок, приведённых в [7,8]:

– поправка на компенсацию реактивной мощности до нормативного значения с учётом надбавок и штрафов в зависимости от выходного значения  $tg \varphi$  потребителя («нормальная поправка»). В работе принимается значение  $C_{Q_{норм}} = 12\%$  скидки от стоимости  $C_p$  при значении  $tg\varphi_0 = 0,4$  [7,8]. Следовательно,  $C_{Q_{норм}} = 2,93 \cdot (-0,12) = -0,35$  р;

– поправка на компенсацию реактивной мощности до сверхнормативного значения («глубокая компенсация» РМ) с учётом надбавок в зависимости от выходного значения  $tg \varphi$  потребителя («стимулирующая поправка»)  $C_{Q.стим.} = 0$ .

Следовательно, значение абонентского тарифа на оплату реактивной мощности с учётом установки компенсирующих устройств, согласно (1), в работе равно:

$$C = 2,93 - 0,35 + 0 = 2,58 \text{ руб./квар}\cdot\text{ч.}$$

Значит, экономический эффект от внедрения компенсации реактивной мощности на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» за год по условию (12):

$$\mathcal{E} = 148200 \cdot 2,58 = 382356 \text{ руб./квар}\cdot\text{ч.}$$

Далее в работе проводится технико – экономический расчёт с конечной целью определения срока окупаемости внедрённых мероприятий по компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО».

Расчёт проводится по укрупнённым показателям согласно методике, приведённой в [20].

В соответствии с требованиями [20], искомая величина приведенных затрат на установку компенсирующих устройств напряжением 10 кВ в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» по укрупнённым показателям, определяется так:

$$Z = K + И, \quad (13)$$

где  $K$  - капитальные затраты на установку компенсирующих устройств в системе электроснабжения промышленного предприятия ООО

«МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО»;

$I$  - годовые эксплуатационные расходы на установку компенсирующих устройств в системе электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО».

В капитальные затраты на установку компенсирующих устройств напряжением 10 кВ в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» входит суммарная стоимость выбранных ранее компенсирующих устройств в 10 кВ с учётом их количества [20]:

$$K = C \cdot n, \text{ руб.} \quad (14)$$

где  $C$  – стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб. (по данным заводов-изготовителей);

$n$  – количество единиц оборудования, шт.

Согласно (14):

$$K = 2 \cdot 32000 = 64000 \text{ тыс.руб.}$$

Величина годовых эксплуатационных расходов на компенсирующие устройства напряжением 10 кВ в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» определяется так [20]:

$$I = I_a + I_s, \quad (15)$$

где  $I_a$  - издержки на амортизацию;

$I_s$  - издержки на эксплуатацию.

Следовательно, для нахождения величины годовых эксплуатационных расходов на компенсирующие устройства напряжением 10 кВ в системе

электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», необходимо определить издержки на амортизацию и эксплуатацию указанного оборудования.

Издержки на амортизацию компенсирующих устройств в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» определяются по норме отчисления на амортизацию от капитальных затрат [20]:

$$I_a = \frac{a_p}{100} K, \quad (16)$$

где  $a_p$  - коэффициент амортизации (нормативный коэффициент амортизационных отчислений), %, принимаемый по справочным данным таблицы 6.1 [20].

По условию (16):

$$I_a = \frac{6,7}{100} \cdot 64000 = 42880 \text{ руб.}$$

Издержки на эксплуатацию компенсирующих устройств в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» определяются по норме отчисления на эксплуатационные расходы от капитальных затрат, и в работе определяются так [20]:

$$I_э = \frac{\varepsilon_p}{100} K, \quad (17)$$

где  $\varepsilon_p$  - коэффициент эксплуатационных расходов (нормативный коэффициент эксплуатационных отчислений), %, принимаемый по справочным данным таблицы 6.2 [20].

$$I_3 = \frac{3,8}{100} \cdot 64000 = 24320 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости мероприятий по компенсации реактивной мощности путём установки компенсирующих устройств в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» [20]:

$$C = \frac{E}{Z}, \text{ лет,} \quad (18)$$

где  $E$  – суммарные приведённые затраты, руб.;

$Z$  – полученный эффект от внедрения мероприятия, руб.

Срок окупаемости мероприятий по компенсации реактивной мощности путём установки выбранных компенсирующих устройств в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» по (18):

$$C = \frac{707200}{382356} = 1,85 \text{ лет.}$$

Результаты расчёта капитальных затрат, годовых эксплуатационных расходов и срока окупаемости на внедрение компенсации реактивной мощности (КРМ) путём установки компенсирующих устройств в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» по условиям (13) – (18), сведены в таблицу 10.

Таблица 10 - Результаты расчёта затрат на внедрение КРМ

Определяемый показатель	Данные показателя
Марка компенсирующего устройства	УКРМ-6,3 (10,5)-300
Количество компенсирующей устройств, шт	2
Стоимость компенсирующего устройства, руб.	320000
Суммарная стоимость компенсирующих устройств, руб.	640000
Издержки на амортизацию, руб., ( $a_p = 6,7 \%$ )	42880

## Продолжение таблицы 10

Определяемый показатель	Данные показателя
Издержки на эксплуатацию, руб., ( $\varepsilon_p = 3,8 \%$ )	24320
Годовые эксплуатационные расходы, р.	67200
Приведённые затраты, р.	707200
Срок окупаемости, лет	1,85

Учитывая срок окупаемости внедрённого мероприятия по компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», осуществлённое путём установки двух конденсаторных установок марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ, можно сделать вывод, что данное мероприятие эффективно как с технической, так и экономической стороны.

Следовательно, учитывая короткий срок окупаемости данного мероприятия, оно может быть рекомендовано к применению в данной системе электроснабжения в краткосрочной перспективе.

Значит, в виду полученных результатов, можно утверждать, что основная задача работы, предполагающая обоснование и внедрение мероприятий по оптимизации режимов работы электрических сетей промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», в данной работе обоснована и выполнена.

### **2.6 Разработка комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности на предприятии**

Известно, что практические мероприятия по оптимизации режимов работы электрических сетей промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» тесно связаны с мероприятиями по энергоэффективности.

Учитывая результаты проведения анализа литературных источников, включающего обзор основных целей, задач, алгоритма формирования и структура мероприятий по энергоэффективности, а также проведённого

анализа мероприятий по энергоэффективности для их применения в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», в данном разделе осуществляется разработка комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» и плана по его реализации.

В работе предполагается осуществить разработку данного комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» с использованием следующих основных этапов (блоков):

- оценка текущего состояния энергоэффективности в подразделениях предприятия и на предприятии в целом (энергетический аудит);
- разработка и внедрение проекта по повышению энергоэффективности по каждому подразделению и энергоресурсу предприятия (с последующим разделением и систематизацией);
- информационное обеспечение и маркетинг энергетического менеджмента;
- инвестиции в проект;
- комплекс организационных и технических мероприятий по энергосбережению с последующей их реализацией;
- мониторинг и контроль выполнения мероприятий по энергосбережению;
- корректировка исходных данных в зависимости от полученных фактических результатов.

Разработанный комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» представлен в данной работе на рисунке 4.

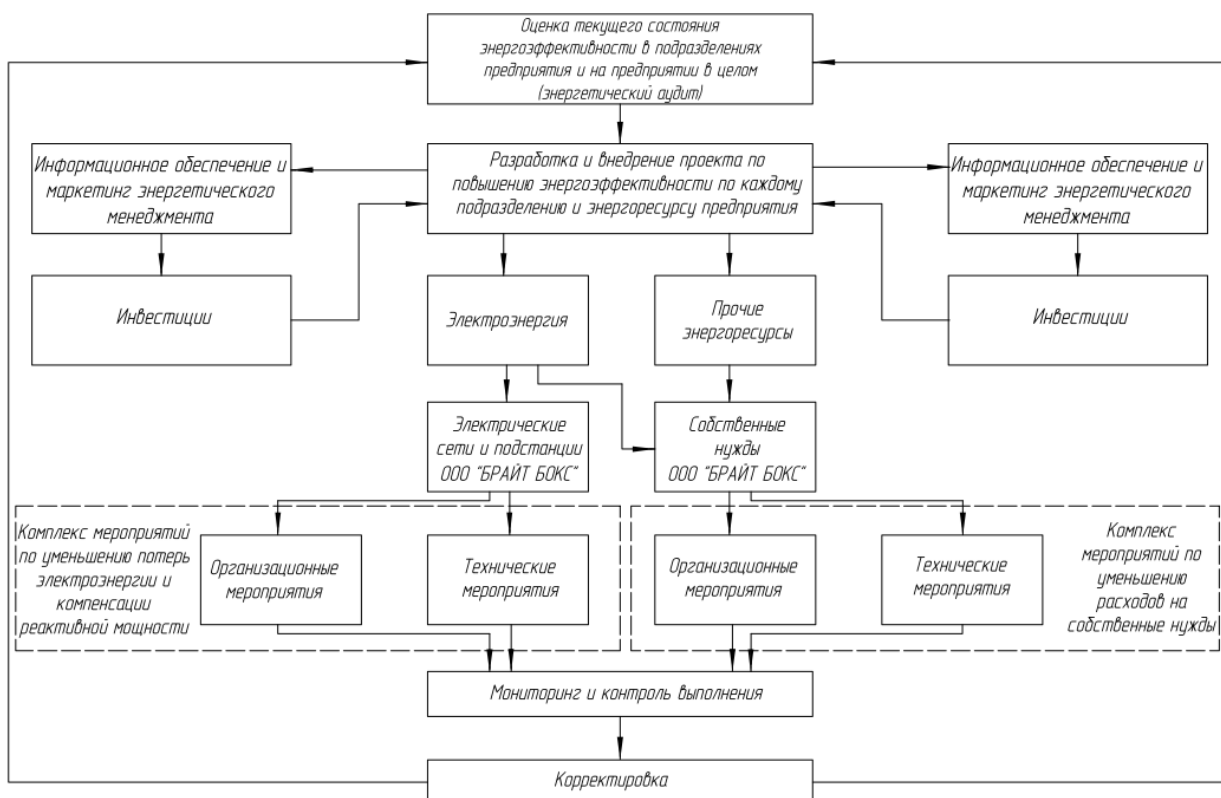


Рисунок 4 – Разработанный комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО»

Алгоритм реализации мероприятий по энергоэффективности в системе электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» имеет замкнутый цикл.

На первом этапе проводится оценка текущего состояния энергоэффективности в подразделениях предприятия и на предприятии в целом (энергетический аудит), имеющий назначение выявить проблемы в энергоэффективности на основе анализа их потребления за конкретный период.

Выборка для проведения данного анализа должна представлять собой как можно больше независимых переменных и наблюдений.

Далее, на основе статистического анализа, с учётом исключения «выбросов» данных из модели, анализируется значимость каждой переменной и, в конечном итоге, строится модель, включающая совокупность только значимых и важных переменных.



Анализируя далее фактические показатели этой модели по предприятию, а также сравнивая их с «эталонными» значениями, можно сделать вывод о состоянии энергоэффективности в подразделениях предприятия и на предприятии в целом по каждому из виду энергоресурсов.

При проведении анализа наилучший результат будет получен при использовании современных методов и моделей, например, на основе нейросетей.

Такая модель будет самообучаемая и давать минимальную погрешность исследования.

При этом можно также использовать гибридные модели с учётом имеющихся наработок. Гибридная модель анализа исходных данных включает в себя совместное использование нескольких методов и моделей. Как правило, такой подход даёт хороший результат [14, с. 24-28].

На втором этапе проводится разработка и внедрение проекта по повышению энергоэффективности по каждому подразделению и энергоресурсу предприятия (с последующим разделением и систематизацией).

В результате проведённого анализа во второй главе работы установлено, что таких блоков по энергоресурсам на предприятии ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» два: первый – это потребляемая электроэнергия, второй – это блок прочих энергоресурсов (тепловая энергия, расход газа, горячее и холодное водоснабжение и т.д.).

На схеме они представлены в виде соответствующих блоков, приведённых на схеме.

Основная задача проекта заключается в том, чтобы применить как можно более качественный подход к разработке проекта, его структуре и последующему внедрению.

Также осуществляется информационное обеспечение и маркетинг энергетического менеджмента (третий этап), включающий привлечение как можно большего источников информации для обеспечения данного процесса

как на самом предприятии и в его подразделениях, так и во внешних источниках (пресса, телевидение, реклама и прочее).

Такой подход позволит с гораздо большим потенциалом и возможностями перейти к четвёртому этапу – непосредственному привлечению инвестиций в проект, как внешних, так и внутренних.

При этом далеко не всегда для реализации программы по повышению энергоэффективности достаточно своих внутренних ресурсов, а государственная программа финансирования либо оказывается не выгодной, либо её невозможно получить, поэтому зачастую стремятся привлечь сторонние источники финансирования с наибольшей выгодой для предприятия.

Поэтому на данной стадии проводится соответствующие расчёты и обоснования принятых решений.

Пятый этап включает комплекс организационных и технических мероприятий по энергосбережению с последующей их реализацией.

Данные мероприятия описаны и проанализированы в данной работе ранее, все они включаются в данный комплекс.

При этом отдельными блоками выделены комплекс мероприятий по уменьшению потерь электроэнергии и компенсации реактивной мощности, а также комплекс мероприятий по уменьшению расходов на собственные нужды (прочих энергоресурсов).

Данные составляющие в работе иллюстрированы в виде соответствующих блоков.

Систематизируя информацию, полученную в результате проведённого анализа согласно внедряемым программам энергосбережения в ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» (вторая глава работы), следует учесть, что на объектах предприятия (электрические сети и подстанции ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО») наиболее целесообразными являются технические мероприятия по уменьшению потерь электроэнергии в распределительной сети, а также компенсация реактивной мощности (КРМ) в

виду наличия на предприятии двигательной нагрузки напряжением 10 кВ и 0,38 кВ.

Данные мероприятия входят в комплекс мероприятий по уменьшению потерь электроэнергии и компенсации реактивной мощности и детально исследуются в работе далее.

При этом проводится расчёт не только технической, но и экономической эффективности предложенных практических мероприятий.

Реализация предложенного в работе комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности требует жёсткого, качественного и своевременного мониторинга и контроля их выполнения (шестой этап), а также своевременных корректировок данных, стратегии и мероприятий по повышению энергоэффективности, с учётом фактических количественных и качественных полученных показателей, с учётом своевременности их выполнения (седьмой этап).

Эти уточнённые данные периодически анализируются, систематизируются, корректируются и вносятся в базу первого этапа для их непосредственного учёта в программе по повышению энергоэффективности.

Кроме того, при необходимости коррекции также могут быть подвергнуты основные блоки и их составляющие предложенной программы по повышению энергоэффективности.

При этом также можно применить методы и модели анализа на основе нейросетей, которые рекомендовались к применению на первом этапе.

С учётом построения фактической модели с реальными полученными результатами, выбирается архитектура нейронной сети (либо можно применять рекомендуемые архитектуры сети для этой цели), далее вносятся входные переменные, которые детально анализируются в модели.

После того, как проведён анализ переменных с фактическими данными и результатами, нейронная сеть отбирает только значимые переменные и данные, которые вносятся в программу по повышению энергоэффективности.

Такой подход даёт возможность отобрать только значимые значения и их переменные, убрать несущественные переменные и «выбросы» данных, что значительно упрощает и минимизирует трудоёмкость при дальнейшем использовании полученных результатов в программе по повышению энергоэффективности.

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения раздела работы, исходя из результатов анализа исходных технических данных, источников питания, потребителей и технологического процесса, в работе обоснованы и внедрены практические мероприятия по оптимизации режимов работы электрических сетей промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО».

Проведён непосредственный выбор компенсирующих устройств на ГПП-110/10 кВ и ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» с последующим техническим и экономическим обоснованием внедрения данных мероприятий в систему электроснабжения, соответственно, как с технической, так и с экономической сторон.

Исходя из полученных результатов второго раздела, можно сделать следующие выводы:

– в результате проведённого выбора компенсирующих устройств на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», были приняты к установке две конденсаторные установки марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 с суммарной реактивной мощностью  $2 \cdot 300 = 600$  квар;

– в результате проведения проверочного расчёта мощности силовых трансформаторов на питающей ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» установлено, что находящиеся в работе силовые трансформаторы марки ТМН-6300-110/10У1 не нуждаются в замене в связи с выбранными

устройствами компенсации реактивной мощности в сети 10 кВ, которые устанавливаются на сборных шинах РУ-10 кВ питающей ГПП;

– в результате проведения расчётов установлено, что на всех цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» установка компенсирующих устройств напряжением 0,4 кВ не требуется по причине отрицательных чисел величины компенсации реактивной мощности, полученных при её расчёте;

– исходя из полученных результатов расчёта компенсации реактивной мощности установлено, что на ГПП системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» в результате установки компенсирующих устройств за год реактивная электроэнергия компенсируется в количестве, равном 148200 квар, что характеризует данное мероприятие технически обоснованным и выгодным с технической точки зрения;

– учитывая срок окупаемости внедрённого мероприятия по компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», осуществлённое путём установки двух конденсаторных установок марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ данного промышленного предприятия, можно сделать вывод, что данное мероприятие экономически эффективно, следовательно, может быть рекомендовано к применению в краткосрочной перспективе.

## **3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда**

### **3.1 Мероприятия по охране труда и технике безопасности**

Известно, что обеспечение безопасности работающего персонала и соблюдение трудовой производственной дисциплины лежит в основе любого производственного процесса [16].

При этом на первое место выходит забота о жизни и здоровье людей, которые работают на данном производстве.

В силу различных обстоятельств и производственных факторов, существуют следующие виды опасностей:

- производственные опасности, которые заключаются в нарушении режима и технологии производства, а также установленных правил по технике безопасности. Такие виды опасности приводят к различным видам производственных травм вплоть до летального исхода;

- опасность поражения электрическим током – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий, позволяющих обезопасить обслуживающий персонал от поражения электрическим током в электроустановках;

- пожарная опасность – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий по недопущению возгорания материалов, зданий и сооружений;

- экологическая опасность – состоит в недопущении или устранении вредного и опасного воздействия на окружающую среду.

Мероприятия по всем видам опасностей, перечисленных выше, имеют цель не допустить появления этих опасностей, а в случае их возникновения – быстро ликвидировать их очаг (очаги).

На любом предприятии для безопасного проведения работ есть человек, ответственный за соблюдение норм охраны труда (как правило, это – руководитель предприятия и инженер по охране труда).

Кроме того, имеются отделы по охране труда, работниками которых проводится разъяснительная и предупредительная работа среди рабочего персонала предприятия: разработка документации, проведения инструктажей, а также дней охраны труда и соответствующих мероприятий по охране труда в зависимости от направлений (электробезопасность, пожарная безопасность и т.д.).

Кроме того, непосредственную ответственность за соблюдение охраны труда в подразделениях несут и руководители этих подразделений: начальники служб, смен, участков, мастера и прочие ответственные работники, которые назначаются приказами по предприятию.

Особое место занимают инструктажи по технике безопасности и охране труда.

В зависимости от назначения и инструктируемых работников, они могут быть следующих видов: первичные инструктажи, инструктажи на рабочем месте, повторные инструктажи.

Из числа первичных инструктажей выделяется вводный инструктаж, который имеет целью осветить общий принцип и порядок работы на предприятии.

Любой инструктаж должен быть доведён под подпись того, кому он предназначен.

Также должна стоять подпись ответственного лица, проводившего данный инструктаж.

Без проведения всех необходимых инструктажей и отсутствия соответствующих подписей в установленных журналах, инструктируемое лицо к работам не допускается [16].

Производственные опасности заключаются в нарушении режима и технологии производства, а также установленных правил по технике безопасности.

Такие виды опасности приводят к различным видам производственных травм вплоть до летального исхода.

Для каждого предприятия в зависимости от специфики и характера работы производственные опасности имеют различный характер.

На объекте исследования производственные опасности заключаются в получении травм различной степени тяжести при выполнении работ по монтажу, ремонту и обслуживанию оборудования, получение ожогов частей тела и слизистых оболочек, падение с высоты при выполнении работ, травмы, обусловленные попаданием частей тела под различные трущиеся и вращающиеся поверхности и т.п.

Профилактическими мероприятиями при производственных видах опасностей являются их недопущение применением организационных и технических мероприятий.

К таким мероприятиям относятся проведение инструктажей, ограждение рабочих и опасных мест, контроль выполнения работы несколькими членами бригады и т.п.

Следующий вид опасности – это опасность поражения электрическим током.

Для объекта исследования в работе в виду его специфики он представляется наиболее важным и вероятным, поэтому данному виду опасности следует уделить особое внимание.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности в электроустановках многогранны и, как правило, носят следующий характер:

- профилактический;
- организационный;
- технический.

Профилактические мероприятия по недопущению и предупреждению поражения электрическим током заключаются в проведении разъяснительной работы среди персонала, установки защитных средств, изоляции опасных участков электрической сети.



Также к профилактическим мероприятиям относятся установка световой и звуковой сигнализации, а также релейной защиты и автоматики на объектах энергетики.

Организационные мероприятия по недопущению поражения электрическим током заключаются в организации выполнения работ строго по инструкции и нормам охраны труда, назначение ответственных лиц для контроля выполнения работ и норм безопасности, выдачу нарядов и распоряжений для выполнения работ, допуск персонала к работе, организацию работ на рабочем месте, премирование исполнительных работников и наказание злостных нарушителей.

Технические мероприятия по недопущению поражения электрическим током заключаются во внедрении технических мер при строгом соблюдении всех нормативов.

К таким мероприятиям относятся, например, установка запрещающих, предписывающих и информационных плакатов на месте работы, ограждение рабочего места, проведение оперативных переключений, заземление оборудования и т.д.

Особое внимание следует уделить средствам защиты от поражения электрическим током при работе в электроустановках.

К таким средствам относятся перчатки, диэлектрические коврики и подставки, инструменты, защитные маски и очки. Все они должны быть проверены непосредственно перед началом работ. Кроме того, срок их эксплуатации должен быть в норме.

Просроченный рабочий и защитный инструмент ни в коем случае использовать нельзя, так как это является прямой угрозой жизни и здоровью людей.

Кроме того, для уменьшения поражения электрическим током людей, в электроустановках необходимо заземлять и занулять (только в сетях до 1 кВ) оборудование.

Применение переносных заземляющих устройств для безопасного проведения работ целесообразно только после проведения оперативных переключений коммутационных аппаратов и проверки отсутствия напряжения на шинах электроустановок.

Далее следует привести краткий алгоритм порядка выполнения работ в электроустановках при неукоснительном соблюдении мероприятий по охране труда.

Перед началом любых работ в электроустановках персонал обязан пройти инструктаж на рабочем месте, в котором указываются как его обязанности, так и обязанности других членов бригады, а также характер и расположение опасностей.

Далее старший (руководитель работ) даёт команду на подготовку рабочего места.

Рабочее место подготавливают, как правило, опытные работники с соответствующими группами по электробезопасности (в электроустановках до 1 кВ – не ниже третьей, а в электроустановках выше 1 кВ – не ниже четвёртой группы).

После этого проводятся оперативные переключения и отключения, которые согласовываются с диспетчером сетей.

Затем указателями напряжения соответствующих классов проверяют отсутствие напряжения на токоведущих частях оборудования, где будут проводиться работы.

После этого накладывается переносное заземление на токоведущие части либо включаются заземляющие ножи оборудования (если таковые предусмотрены конструкцией).

Затем ограждается рабочее место и вывешиваются плакаты по технике безопасности.

Только после всех перечисленных мероприятий бригада может приступить к выполнению работ.

В процессе выполнения работ при необходимости можно организовать перерыв, для чего бригада полностью выводится с места работ, а двери электроустановок закрываются на ключ.

Допуск посторонних лиц на объект работ при этом категорически запрещён.

### **3.2 Мероприятия по пожарной безопасности**

«Возникновения пожара на объектах возможно при следующих обстоятельствах» [16]:

- «при коротких замыканиях» [16];
- «при прямых попаданиях молнии» [16];
- «при разрушении и перегрева изоляции с последующим возгорания» [16];
- «при перегреве масла в трансформаторе» [16];
- «при перегреве токоведущих частей от перегрузки при неправильном их выборе» [16].

Пожарная безопасность объекта исследования в работе обеспечивается применением и использованием следующих мероприятий:

- применением негорючих материалов в электроустановках и несгораемых конструкций оборудования, зданий и сооружений;
- наличием средств пожаротушения на объекте (пожарный щит, огнетушители, гидранты и т.п.);
- профилактическими проверками и инспекциями, выявляющих общее состояние пожарной безопасности оборудования;
- работой пожарной дружины на объекте, а также постоянным источником связи с пожарной инспекцией.

С точки зрения пожаробезопасности, наибольшую опасность представляет на объекте силовой трансформатор и прочее маслonaполненное оборудование, в котором существует высокая вероятность пожара и взрыва.

Поэтому данные объекты необходимо контролировать самым тщательным образом как во время обходов (плановых и внеплановых), так и во время проверок.

Как показывают статистические исследования [19], также для обеспечения пожарной безопасности очень важное значение играет поддержание территории объекта в чистоте.

Для этого необходимо скашивать сухую траву, утилизировать ветошь, поддерживать чистоту на объекте.

Указанные мероприятия позволят не допустить самовозгорание на объекте в сухую жаркую погоду, а также не допустить распространение пожара на объекте и быстро его локализовать.

### **3.3 Мероприятия по экологической безопасности**

При выполнении работ на ГПП системы электроснабжения промышленного предприятия, необходимо строго соблюдать мероприятия по нормам экологической безопасности.

Среди опасностей также следует упомянуть и экологическую опасность, актуальность которой всё больше приобретает смысл в последние годы.

Загрязнение окружающей среды в свете изменения климата стало злободневной темой.

На объекте наибольшую опасность с экологической точки зрения представляют следующие возможные факторы:

- утечка масла в грунт из маслонаполненного оборудования;
- загрязнение септиками и химикатами окружающей среды;
- загрязнение и запылённость воздуха;
- опасность для флоры и фауны;
- влияние шумов на живые организмы;
- влияние высоких напряжений на биосферу.

Экологический риск от перечисленных факторов должен быть сведён к минимуму путём внедрения качественных мероприятий, к которым относятся такие мероприятия, как-то:

- проведения организационных мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности;
- техническое обеспечение экологической безопасности;
- профилактические меры по обеспечению экологической безопасности;
- законодательное обеспечение экологической безопасности.

Все указанные мероприятия обязательны к применению и внедрению в систему электроснабжения производства.

Экологическая безопасность на ГПП и цеховых ТП системы электроснабжения промышленного предприятия при нормальных стандартных условиях находится под контролем руководства согласно [17].

Законодательная база регламентирует как административную, так и уголовную ответственность за нарушение закона.

Однако при условии наступления серьезных повреждений вследствие выхода ситуации из-под контроля (сильное землетрясение, авария, террористический акт, военные действия) энергетические объекты наносят значительный ущерб как окружающей среде, так и здоровью людей.

Такое развитие ситуации необходимо предусмотреть и бороться с её возникновением и возможными последствиями на законодательном уровне.

Возможный экологический риск от негативного влияния ГПП и цеховых ТП системы электроснабжения промышленного предприятия на элементы окружающей среды, жизни и здоровья людей, заключается в возможном загрязнении атмосферного воздуха химическими веществами и физическими факторами, загрязнении водных и земельных объектов химическими веществами и отходами.

Указанные мероприятия по охране окружающей среды должны быть приняты к сведению и внедрены в систему системы электроснабжения промышленного предприятия.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения данного раздела работы, осуществлена разработка мероприятий по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях системы электроснабжения промышленного предприятия.

Путём проведения выборочного анализа, в работе установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности.

Особое внимание уделено обязанностям обслуживающего персонала системы электроснабжения производства, обеспечивающие электробезопасность и сводящие травматизм к минимальным показателям.

На основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения промышленного предприятия.

Указанные мероприятия по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях, должны быть приняты и внедрены в разработанную систему системы электроснабжения промышленного предприятия.

## Заключение

В результате выполнения работы разработан проект и рекомендации по оптимизации системы электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» путём внедрения мероприятий по компенсации реактивной мощности.

Для решения поставленной основной задачи работы проведено технико-экономическое обоснование выбора мощности и места установки компенсирующих устройств в узлах распределительных электрических сетей.

Для решения поставленной цели в работе, на основании анализа исходных данных, с учётом основных теоретических сведений о компенсации реактивной мощности в электрических сетях, произведён выбор компенсирующих устройств на ГПП и ТП-10/0,4 кВ промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», а также техническое и экономическое обоснование выбора компенсирующих устройств в системе электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО».

В результате выполнения работы получены следующие результаты и сделаны выводы:

– в результате проведения анализа исходных данных по объекту исследования работы, описаны, проанализированы и систематизированы исходные данные на выполнение работы: приведено описание географических, топографических и климатических условий рассматриваемого в работе промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», источников питания электрической сети промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», расположения сетей и понизительных подстанций на плане промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», а также прочие исходные данные к выполнению работы;

– в результате проведённого краткого анализа литературных источников по тематике исследования установлено, что компенсация реактивной мощности в узлах распределительных электрических сетей электроснабжения в современных условиях является актуальной и перспективной задачей, которая регламентируется на государственном уровне. Также установлено, что для компенсации реактивной мощности в узлах распределительных электрических сетей электроснабжения наибольшее распространение получили конденсаторные установки как самый простой и приемлемый способ и метод сегодня получить нормированное значение текущего и фактического коэффициента активной и реактивной мощности в сети. При этом конденсаторы в виде конденсаторных установок имеют значительные преимущества в виде низкой цены, удобства в обслуживании, долговечности и надёжности. Кроме того, в последние десятилетия практически все конденсаторы в виде конденсаторных установок дополнительно оснащаются регулировочной автоматикой, способной мгновенно включать установки при необходимости повысить нужный коэффициент мощности, и отключать их в случае достижения требуемого технического уровня;

– в результате проведённого выбора компенсирующих устройств на ГПП-110/10 кВ предприятия, приняты к установке две конденсаторные установки марки УКРМ-6,3 (10,5)-300;

– в результате проведения выбора мощности силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ установлено, что трансформаторы ТМН-6300-110/10У1 не нуждаются в замене в связи с выбранными устройствами компенсации реактивной мощности;

– исходя из полученных результатов расчёта компенсации реактивной мощности установлено, что на ГПП в результате установки компенсирующих устройств за год реактивная электроэнергия компенсируется в количестве, равном 148200 квар, что характеризует данное мероприятие технически обоснованным и выгодным;



– учитывая срок окупаемости внедрённого мероприятия по компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения промышленного предприятия ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО», осуществлённое путём установки двух конденсаторных установок марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ, можно сделать вывод, что данное мероприятие экономически эффективно, следовательно, может быть рекомендовано к применению в краткосрочной перспективе.

Также в работе осуществлена разработка мероприятий по охране труда на объекте исследования. Особое внимание уделено обязанностям обслуживающего персонала системы электроснабжения производства, обеспечивающие электробезопасность и сводящие травматизм к минимальным показателям. На основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения промышленного предприятия.

Следовательно, исходя из полученных результатов работы, можно сделать вывод о том, что применение компенсирующих устройств в узлах распределительных электрических сетей электроснабжения предприятий является технически и экономически выгодным мероприятием, которое рекомендуется как энергоснабжающим организациям, так и потребителям электроэнергии.

В данной работе показано, что проведённая оптимизация режимов работы современных предприятий, осуществляемая внедрением устройств компенсации реактивной мощности в существующую систему электроснабжения, является необходимым условием на современном рынке, позволяющем значительно снизить расходы на собственные нужды, а также удельный расход материалов и энергоносителей на единицу продукции, что способно её значительно удешевить, а, значит, сделать более конкурентноспособной в современном мире.

## Список используемых источников

1. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Форум : ИНФА-М, 2020. 415 с.
2. Водяников В.Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК. М.: Колос, 2018. 263 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. Готман В. И., Маркман Г. З., Маркман П. Г. Задачи обследования системы компенсации реактивной мощности // Промышленная энергетика. 2019. №8. С. 50-55.
5. Евстифеев И.В. Повышение эффективности компенсации реактивной мощности промышленными и коммунальными потребителями электроэнергии: автореферат дис. кан. техн. наук. – Самара: 2019. С. 3–20.
6. Кузнецов А.В., Ребровская Д.А. Уточнение модели оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя // Промышленная энергетика 2019, №10. С.31-36.
7. Кузнецов А.В., Аргентова И.В. Математическая модель оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя // Электротехника. 2018. №10. С. 68-73.
8. Кузнецов А.В., Аргентова И.В., Ребровская Д.А. Программная модель оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя // Промышленная энергетика. 2018. №6. С. 48-54.
9. Методические указания по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в

зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон по договорам об оказании услуг по передаче электрической энергии по единой национальной (общероссийской) электрической сети (договорам энергоснабжения). - Приказ Федеральной службы по тарифам 31 августа 2010. № 219-э/б.

10. О порядке отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надежности, и оказания таких услуг, а также об утверждении изменений, которые вносятся в акты Правительства РФ по вопросам оказания услуг по обеспечению системной надежности. - Постановление Правительства РФ 3 марта 2010. № 117.

11. О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных групп энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии. Приказ министерства промышленности и энергетики РФ 22 февраля 2007. №49.

12. Организация ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rusprofile.ru/id/11538463> (дата обращения: 23.04.2022).

13. Отчетность организации ООО «МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РУСАГРО» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.audit-it.ru/buh\\_otchet/6381020501\\_ooo-molochnye-produkty-rusagro](https://www.audit-it.ru/buh_otchet/6381020501_ooo-molochnye-produkty-rusagro) (дата обращения: 23.04.2022).

14. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2017. 692 с.

15. Приказ Минэнерго России от 30 декабря 2008 года № 326 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по

утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям».

16. Приказ ФСТ РФ от 17 февраля 2012 года № 98-э «Об утверждении методических указаний по расчёте тарифов на услуги по передаче электрической энергии, устанавливаемых с применением метода долгосрочной индексации необходимой валовой выручки».

17. Рогалев Н.Д., Зубкова А.Г., Мастерова И.В. Экономика энергетики: учебное пособие для ВУЗов. М.: «МЭИ», 2019. 288 с.

18. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.

19. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 328 с.

20. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

21. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

22. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р М.: Министерство энергетики, 2020. 80 с.