

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 Модернизация системы электроснабжения ООО «Фитнес Фуд»

Обучающийся

В. С. Сорочинский

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А. А. Андреев

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

Тольятти 2023

Аннотация

Предприятие ООО «Фитнес Фуд» осуществляет производство продуктов питания для специальной категории потребителей.

Уменьшение энергозатрат на единицу производства позволяет повышать энергоэффективность предприятия. Поэтому модернизация системы электроснабжения данного предприятия необходима не только для качественного обеспечения электрической энергией, но и для уменьшения себестоимости продукции.

Цель работы – разработка проекта модернизации системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания на примере предприятия ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти).

Для решения поставленных задач, в работе осуществлена разработка и обоснование следующих мероприятий: приведена краткая характеристика электрического хозяйства предприятия, произведён расчет электрических нагрузок, выбор числа и мощности трансформаторов, выбраны установки для компенсации реактивной мощности, произведён выбор сечений проводов и кабелей, рассчитана и построена картограмма и центр электрических нагрузок, осуществлена разработка схемы внешнего электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания, произведён выбор трансформаторов собственных нужд, а также выбор и проверка электрических аппаратов для установки в схеме электроснабжения. В процессе работы проведены экспериментальные исследования работы различных видов релейной защиты, все исследуемые устройства имеют незначительные дополнительные функции и основной набор основных видов защит.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 69 страниц, дополняемой 18 таблицами, 8 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	6
1.1 Краткая характеристика предприятия	6
1.2 Анализ исходных данных на проектирование	9
2 Модернизация основного силового оборудования системы электроснабжения предприятия	11
2.1 Обоснование схемных решений по модернизации системы электроснабжения предприятия	11
2.2 Расчёт электрических нагрузок	13
2.3 Проверка силовых трансформаторов ГПП.....	18
2.4 Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП.....	22
2.5 Компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения предприятия.....	24
2.6 Выбор и проверка проводников питающей воздушной линии 35 кВ .	26
2.7 Выбор и проверка проводников распределительных кабельных линий 10 кВ	32
2.8 Расчёт картограммы силовых нагрузок	35
2.9 Расчёт токов короткого замыкания	37
2.10 Выбор и проверка электрических аппаратов	45
2.11 Выбор и проверка трансформаторов собственных нужд на ГПП	52
3 Выбор устройств и уставок релейной защиты и автоматики.....	55
3.1 Расчёт релейной защиты трансформаторов ГПП.....	55
3.2 Расчёт релейной защиты вводных и секционных присоединений	59
4 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии на предприятии.....	62
Заключение	66
Список используемых источников.....	68

Введение

В работе рассмотрена модернизация схемы и оборудования системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти).

Известно, что развитие отечественного специализированного питания, относящегося к пищевой промышленности, тесно связано с внедрением современных технологий в данном направлении.

В пищевой промышленности за последние десятилетия произошёл значительный технологический прорыв: появились новые современные энергосберегающие технологии, которые были реализованы в технологическом процессе и оборудовании, за счёт чего была увеличена прибыль и снижены затраты на энергоресурсы, ремонты и обслуживание оборудования.

В связи с энергетическим кризисом и дефицитом ресурсов, приоритетом пищевой промышленности в целом является уменьшение энергозатрат на производственные и собственные нужды, таким образом, повышая эффективность использования ресурсной базы.

В конечном итоге, это также приводит к повышению экономических показателей, в частности, к снижению стоимости производимой продукции и, как результат, повышению конкурентоспособности и ликвидности капиталовложений. Одним из способов достижения желаемого эффекта является обеспечение качественного проектирования современных систем электроснабжения новых объектов пищевой промышленности, а также модернизация и реконструкция систем электроснабжения существующих предприятий, что обуславливает актуальность и практическую ценность данной работы.

Объект исследования – предприятие по производству спортивного и детского питания ООО «Фитнес Фуд».

Предмет исследования – электрическая часть предприятия ООО

«Фитнес Фуд».

Цель работы – модернизация системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и детского питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти).

Для решения поставленных задач, в работе осуществлена разработка и обоснование следующих мероприятий:

- приведена краткая характеристика электрического хозяйства предприятия ООО «Фитнес Фуд»;
- произведён расчет электрических нагрузок объекта проектирования;
- осуществлён выбор числа и мощности трансформаторов предприятия;
- выбраны установки для компенсации реактивной мощности на питающей ГПП, а также на цеховых ТП ООО «Фитнес Фуд»;
- произведён выбор сечений проводов и кабелей системы электроснабжения объекта исследования;
- рассчитана и построена картограмма и центр электрических нагрузок;
- осуществлена разработка схемы внешнего электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд»;
- произведён выбор трансформаторов собственных нужд на ГПП объекта проектирования;
- произведён выбор и проверка электрических аппаратов для установки в схеме электроснабжения предприятия;
- выбрана современная система учёта и контроля электроэнергии для применения на предприятии.

1 Анализ исходных данных

1.1 Краткая характеристика предприятия

Рассматриваемый в работе объект пищевой промышленности ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти) является одним из флагманов отечественного производства специализированных товаров для питания. ООО «Фитнес Фуд» территориально расположено в Самарской области, г. Тольятти, на ул. Тупиковый проезд, 26 [7]. На сегодняшний день данная компания является одним из крупнейших предприятий страны по производству специализированных товаров питания [7]. По Самарской области ООО «Фитнес Фуд» занимает первое место в категории «Детское и диетическое питание» по уровню производства и прибыли (по состоянию на 01.01.2023 г.) [7]. По данным показателям, предприятие уверенно опережает своих ближайших конкурентов (разница между первым местом ООО «Фитнес Фуд» и ближайшим конкурентом ООО «Фитнес Десерты» (г. Тольятти) по объёму выручки и стоимости бизнеса больше примерно в одиннадцать раз).

Основным направлением производства на предприятии является производство различного вида специализированного питания, основными из которых являются детское питание, диетическое питание, а также спортивное питание [8].

Согласно экономическим данным из открытых источников, выручка ООО «Фитнес Фуд» постоянно увеличивается. Предприятие постоянно расширяет производственные мощности, увеличивает объём и ассортимент производимой продукции, расширяет рынки сбыта и логистические связи.

Выручка ООО «Фитнес Фуд» на протяжении 2017-2021 гг., согласно данным из открытых источников, приведена на рисунке 1 [7].

Выручка [?]

3.4 млрд ₽

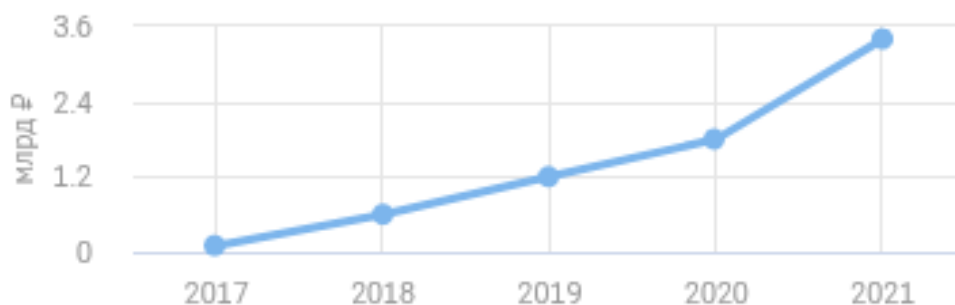


Рисунок 1 – Выручка ООО «Фитнес Фуд» на протяжении 2017-2021 гг., согласно данным из открытых источников

Как видно из графика на рисунке 1, выручка ООО «Фитнес Фуд» на конец 2021 гг. составила 3,4 млрд. руб., что более чем вдвое превышает уровень выручки предприятия за 2020 г.

График прибыли рассматриваемого предприятия на протяжении 2017-2021 гг., согласно данным из открытых источников, представлен на рисунке 2.

Прибыль [?]

748.9 млн ₽

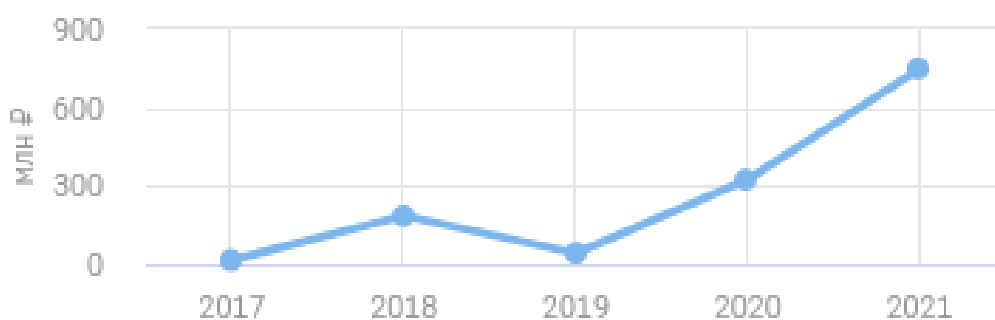


Рисунок 2 – Прибыль ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти) на протяжении 2017-2021 гг., согласно данным из открытых источников

Как видно из графика на рисунке 2, прибыль ООО «Фитнес Фуд» на конец 2021 гг. составила 748,9 млн. руб., что более чем вдвое превышает уровень прибыли предприятия за 2020 г. Рыночная стоимость компании на

протяжении 2017-2021 гг., согласно данным из открытых источников, представлена на рисунке 3 [7].



Рисунок 3 – Рыночная стоимость ООО «Фитнес Фуд» на протяжении 2017-2021 гг., согласно данным из открытых источников

Как видно из графика на рисунке 3, рыночная стоимость объекта проектирования на конец 2021 гг. составила 2,7 млрд. руб., что более чем вдвое превышает уровень прибыли предприятия за 2020 г.

Уставной капитал ООО «Фитнес Фуд» по состоянию на 1 января 2023 года составлял более 1 млрд. руб. По состоянию на начало 2023 года, стоимость активов данного предприятия составляла более 20 млрд. руб. По состоянию на начало 2023 года, согласно данным из открытых источников, на предприятии работало около 200 человек [8].

Таким образом, анализ финансовой и организационной отчетности предприятия, находящейся в свободном доступе, позволяет сделать предположение о значительной перспективе развития данного предприятия в условиях современности, при условии расширения рынков, увеличения спроса на производимую продукцию, а также налаживания и восстановления логистических связей предприятия.

1.2 Анализ исходных данных на проектирование

В последнее время, в связи со значительным расширением производства при увеличении спроса на производимую продукцию, в структуре ООО «Фитнес Фуд» было принято выделить дополнительные частные компании, каждая из которых будет занята исключительно своим видом деятельности в сложной структуре производственного цикла. Также на территории предприятия есть мастерские и прочие хозяйственно-технические помещения, обеспечивающие процесс производства.

Электроснабжение завода осуществляется от существующей подстанции ПС-110/35/10 кВ. Подстанция находится на расстоянии 3260 м от предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд». Она питает главную понизительную подстанцию (ГПП) предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд». ГПП предприятия выполнено с номинальными классами напряжения 35 кВ (ВН) и 10 кВ (НН). При этом конструктивно ГПП предприятия выполнена закрытой (всё оборудование находится в большом здании): на первом этаже – ЗРУ-35 кВ, на втором этаже – КРУ-10 кВ.

От РУ-10 кВ ГПП ООО «Фитнес Фуд» электрическая энергия распределяется на цеховые понизительные подстанции. В помещении данного распределительного устройства расположено следующее основное оборудование, которое устарело и требует модернизации:

- сборные камеры одностороннего обслуживания типа КСО-212;
- масляные выключателями типа ВМГ-10 с приводом ПП-67;
- устройства релейной защиты электромеханического типа;
- трансформаторы тока типа ТПЛ-10;
- линейные разъединители РВФЗ-10;
- трансформаторы тока нулевой последовательности ТЗРЛ.

Согласно [10], степень надежности электроснабжения рассматриваемого предприятия относится ко второй категории [2], также на

предприятию имеются электропотребители, которые относятся к первой категории электроснабжения. На цеховых ТП-1, ТП-3, ТП-4 для компенсации реактивной мощности отсутствуют автоматические компенсирующие устройства. В результате анализа системы электроснабжения выявлено, что на предприятии ООО «Фитнес Фуд» установлены две двухтрансформаторные и две трехтрансформаторные подстанции.

Поэтому в рамках работы необходимо принять обоснованные решения по модернизации оборудования системы электроснабжения объекта с обоснованием принятых решений.

Выводы по разделу 1.

Приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд», которое является одним из флагманов отечественного производства продуктов диетического и спортивного питания.

Обусловлена актуальность выбора темы, с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей.

Приведён комплекс основных задач, которые требуется решить в работе для достижения поставленной цели.

Проведено описание существующей системы электроснабжения предприятия с указанием проблем, которые имеют место и требуют решения в работе (в частности, модернизации оборудования питающей сети предприятия, а именно – главной понизительной подстанции объекта проектирования).

2 Модернизация основного силового оборудования системы электроснабжения предприятия

2.1 Обоснование схемных решений по модернизации системы электроснабжения предприятия

В системе электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» преобладают потребители II-й категории по надежности электроснабжения, поэтому электроснабжение данного объекта осуществляется по двухцепной ЛЭП с установкой на ГПП двух трансформаторов.

Согласно [5], выбирается схема двух блоков трансформатор – линия, которые для большей гибкости соединены неавтоматической переключкой из двух разъединителей. При этом следует применять дистанционное управление разъединителями в переключке, путём установки на их приводах соответствующей автоматики [11]. В нормальном режиме один из разъединителей переключки должен быть разомкнут, обеспечивая, таким образом, включение в работу оперативного резерва. Основным достоинством схемы является простота, экономичность и надежность.

В цепях силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ предприятия устанавливаются выключатели и разъединители. Таким образом, для схемы внешнего электроснабжения ГПП-35/10 кВ предприятия, принимается схема «Два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий».

Данная схема ВН ГПП выполнена с резервированием при двух силовых трансформаторах, при этом сама ГПП-тупиковая.

Указанная схема подходит по всем критериям и параметрам для установки на стороне ВН ГПП предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд».

На основании проведённого анализа составляется структурная схема ГПП внешней системы электроснабжения предприятия (рисунок 4) [1].

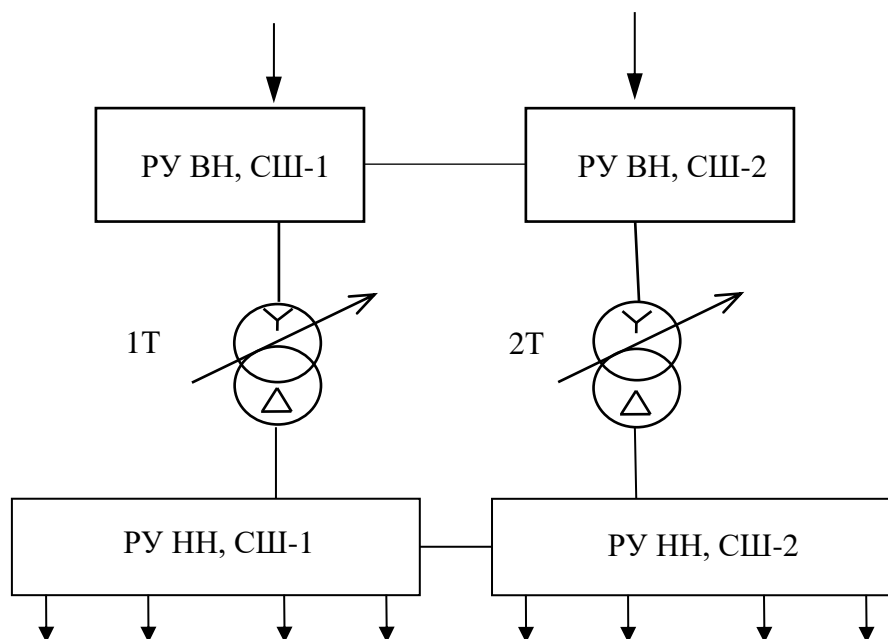


Рисунок 4 – Структурная схема ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти)

Для низшего напряжения структурной схемы внешнего электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд», принимается номинальное напряжение 10 кВ.

В ЗРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ используется надёжная и экономически выгодная схема с ремонтной перемычкой типа «4Н».

Резервная перемычка состоит из двух выключателей, которые в нормальном режиме работы отключены. Для применения в КРУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин» [4]. Секционный выключатель в нормальном режиме работы схемы РУ-10 кВ отключён, режим работы – раздельный. От шин КРУ-10 кВ ГПП схемы внешнего электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти), получают питание цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ.

Всего в исходной схеме предприятия предусмотрено четыре цеховых подстанции 10/0,4 кВ (ЦТП-10/0,4 кВ): две – двухтрансформаторные, две – трёхтрансформаторные. Для их питания от КРУ-10 кВ ГПП предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд», исходя из заявленной категории надёжности потребителей, применяется наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)» [20].

Такая схема наиболее проста в исполнении и обладает высокой надёжностью, простотой монтажа, простотой отстройки уставок РЗА и подходит для питания ответственных потребителей.

Для применения на двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ предприятия, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Все выбранные схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения предприятия отвечают требованиям нормативных документов и принимаются к использованию на объекте проектирования.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Далее в работе, для достижения поставленной цели, необходимо провести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд», результаты которых далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования распределительных устройств электрической части ГПП и цеховых ТП объекта проектирования. Наиболее оптимальным методом при расчёте значений электрических нагрузок является метод коэффициента спроса, который учитывает насколько загружены

производственные мощности предприятия в зависимости от его группы принадлежности [8].

Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания является установленная номинальная нагрузка потребителей, которая принимается равной расчётной активной нагрузке с учётом коэффициента спроса, показывающего насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта [8].

По известному числу и мощности электроприёмников на заданном напряжении определяется значение активной нагрузки потребителей электрической части системы электроснабжения предприятия в максимальном режиме работы системы (по фактическим данным нагрузок объекта):

$$P_P = n \cdot P_{НОМ} \cdot K_C, \quad (1)$$

где n – количество однотипных электроприёмников, шт.;

$P_{НОМ}$ – «значение номинальной активной нагрузки, кВт» [8];

K_C – «справочное значение коэффициента спроса» [8].

Полная нагрузка электроприемников:

$$S_P = \frac{P_P}{\cos \varphi}. \quad (2)$$

Реактивная составляющая нагрузки электроприёмников:

$$Q_P = \sqrt{S_P^2 - P_P^2}. \quad (3)$$

Активные и реактивные составляющие группы электроприёмников:

$$P_{P,\Sigma} = \sum P_P. \quad (4)$$

$$Q_{P,\Sigma} = \sum Q_P. \quad (5)$$

Полная суммарная нагрузка группы электроприёмников:

$$S_{P,\Sigma} = \sqrt{P_{P,\Sigma}^2 + Q_{P,\Sigma}^2}. \quad (6)$$

Групповой коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P_P}{S_P}. \quad (7)$$

Результаты расчёта электрических нагрузок цеховых ТП1-ТП4 системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» представлены, соответственно, в таблицах 1-4.

Таблица 1 – Результаты расчета электрических нагрузок ТП-1

Наименование потребителя	$P_{НОМ},$ кВт	K_C	$tg\varphi$	$P_P,$ кВт	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА
1 секция шин						
Цех детского питания-1	150	0,75	1,02	112,50	114,75	160,70
Склад детского питания-1	40	0,30	1,12	12,00	13,44	18,02
Цех детского питания-2	150	0,75	1,02	112,50	114,75	160,70
Склад детского питания-2	150	0,75	1,02	112,50	114,75	160,70
СМП	250	0,50	0,88	125,00	110,00	166,51
Гальванический участок	250	0,50	0,62	125,00	77,50	147,08
Котельная	250	0,60	0,75	150,00	112,50	187,50
Всего по 1 секции шин	1240	—	—	749,50	657,69	997,15
2 секция шин						
Цех спортивного питания-1	50	0,75	1,02	37,50	38,25	53,57
Цех спортивного питания-2	50	0,75	1,02	37,50	38,25	53,57
Склад спортивного питания-1	100	0,75	1,02	75,00	76,50	107,13
Грануляторная	300	0,75	1,02	225,00	229,50	321,40
Упаковочная, тарный цех	250	0,75	1,02	187,50	191,25	267,83
Цех контроля	150	0,35	1,02	52,50	53,55	74,99

Продолжение таблицы 1

Наименование потребителя	$P_{НОМ},$ кВт	K_C	$tg\varphi$	$P_P,$ кВт	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА
Центр продаж и логистики-1	200	0,50	0,88	100,00	88,00	133,21
Всего по 2 секции шин	1100	—	—	715,00	715,30	1011,37
3 секция шин						
Центр продаж и логистики-2	250	0,50	0,88	125,00	110,00	166,51
Цех детского питания-3	100	0,75	1,02	75,00	76,50	107,13
Консервный цех	300	0,75	1,02	225,00	229,50	321,40
Гальванический участок	250	0,50	0,62	125,00	77,50	147,08
Заготовительный участок	200	0,30	1,17	60,00	70,20	92,35
Токарный участок	150	0,40	1,33	60,00	79,80	99,84
Прессовочный участок	200	0,40	0,88	80,00	70,40	106,57
Всего по 3 секции шин	1450	—	—	720,00	713,90	1013,93

Таблица 2 – Результаты расчета электрических нагрузок ТП-2

Наименование потребителя	$P_{НОМ},$ кВт	K_C	$tg\varphi$	$P_P,$ кВт	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА
1 секция шин						
Лаборатория качества	50	0,50	1,02	25,00	25,50	35,71
Цех диетического питания-1	250	0,35	1,02	87,50	89,25	124,99
Цех диетического питания-2	400	0,45	1,02	180,00	183,60	257,12
ГРЩ	250	0,40	1,02	100,00	102,00	142,84
Цех диетического питания-3	120	0,75	1,02	90,00	91,80	128,56
Всего по 1 секции шин	1070	—	—	482,50	492,15	689,22
2 секция шин						
Корпус 1 ГРЩ-2	150	0,35	1,02	52,50	53,55	74,99
Цех диетического питания-4	200	0,50	1,02	100,00	102,00	142,84
Цех диетического питания-5	120	0,30	1,02	36,00	36,72	51,42
Котельная	150	0,60	0,75	90,00	67,50	112,50
Корпус 1 ГРЩ-2	200	0,40	1,02	80,00	81,60	114,27
Корпус 15	75	0,35	1,02	26,25	26,78	37,50
Теплоцентр	50	0,50	1,02	25,00	25,50	35,71
Цех диетического питания-6	100	0,40	0,75	40,00	30,00	50,00
Резерв мощности питания производства	100	0,40	0,75	40,00	30,00	50,00
Всего по 2 секции шин	1195	—	—	514,75	470,15	697,14

Таблица 3 – Результаты расчета электрических нагрузок ТП-3

Наименование потребителя	$P_{НОМ},$ кВт	K_C	$tg\varphi$	$P_P,$ кВт	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА
1 секция шин						
ЩСН ввод №1	35	0,50	1,02	17,50	17,85	25,00
Цех спортивного питания-3	250	0,60	1,02	150,00	153,00	214,26
Цех спортивного питания-4	400	0,75	0,88	300,00	264,00	399,62
Сварочный участок	150	0,35	0,88	52,50	46,20	69,93

Продолжение таблицы 3

Наименование потребителя	$P_{НОМ}$, кВт	K_C	$tg\phi$	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
Механический участок	250	0,30	1,33	75,00	99,75	124,80
Котельная	200	0,60	0,75	120,00	90,00	150,00
Компрессорная	200	0,60	1,02	120,00	122,40	171,41
Всего по 1 секции шин	1485,00	—	—	835,00	793,2	1151,69
2 секция шин						
Цех детского питания-4	250	0,35	0,88	87,50	77,00	116,56
Цех детского питания-5	250	0,35	0,88	87,50	77,00	116,56
Упаковочная и маркировочная пищевых цехов	400	0,70	1,02	280,00	285,60	399,96
ЩСН ввод №2	35	0,50	1,02	17,50	17,85	25,00
Механический участок	250	0,30	1,33	75,00	99,75	124,80
Термический и гальванический участок	250	0,50	1,13	125,00	141,25	188,62
Приточно-вытяжная производственная вентиляция	100	0,30	1,33	30,00	39,90	49,92
Всего по 2 секции шин	1535,00	—	—	802,50	838,35	1160,53
3 секция шин						
Цех спортивного питания-5	900	0,50	1,02	450,00	459,00	642,79
Цех спортивного питания-6	250	0,75	1,02	187,50	191,25	267,83
Механический ремонтно-эксплуатационный участок	250	0,30	1,33	75,00	99,75	124,80
Цех детского питания-6	250	0,35	0,88	87,50	77,00	116,56
Участок промежуточного контроля качества-1	150	0,35	0,88	52,50	46,20	69,93
Всего по 3 секции шин	1800,00	—	—	828,50	873,20	1203,70

Таблица 4 – Результаты расчета электрических нагрузок ТП-4

Наименование потребителя	$P_{НОМ}$, кВт	K_C	$tg\phi$	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
1 секция шин						
ВРУ-4	150	0,35	0,88	52,50	46,20	69,93
Бойлерная	250	0,35	0,88	87,50	77,00	116,56
ЩСН ввод №2	10	0,70	1,02	7,00	7,14	10,00
Корпус 11	250	0,50	1,02	125,00	127,50	178,55
Калориферная	600	0,30	0,88	180,00	158,40	239,77
Фильтрационная	200	0,50	1,13	100,00	113,00	150,89
Пост охраны	10	0,30	0,88	3,00	2,64	4,00
Приёмная первичного сырья	100	0,30	0,88	30,00	26,40	39,96
Насосная	350	0,30	0,88	105,00	92,40	139,87
АКУ	—	—	—	—	-800,00	—
Всего по 1 секции шин	1920,00	—	—	690,00	650,68	948,41
2 секция шин						
Сепарационная	150	0,35	1,02	52,50	53,55	74,99

Продолжение таблицы 4

Наименование потребителя	$P_{НОМ}$, кВт	K_C	$tg\varphi$	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
Корпус 2	200	0,35	1,02	70,00	71,40	99,99
Проходная-2	10	0,70	1,02	7,00	7,14	10,00
ЩСН ввод №1	200	0,35	0,88	70,00	61,60	93,24
Корпус 3	300	0,35	0,88	105,00	92,40	139,87
Очистные сооружения	300	0,40	1,13	120,00	135,60	181,07
Лаборатория контроля сырья	200	0,40	1,13	80,00	90,40	120,72
Производственный корпус экспортной продукции	700	0,30	0,88	210,00	184,80	279,73
АКУ	—	—	—	—	-800,00	—
Всего по 2 секции шин	2060,00	—	—	694,50	696,89	983,29

На основе полученных расчётных значений электрических нагрузок, далее в работе проводятся мероприятия по выбору основного оборудования в проектируемой системе электроснабжения предприятия, рассматриваемого в работе.

Расчёты согласуются с полученными данными нагрузок по каждой из цеховых трансформаторных подстанций классами напряжения 10/0,4 кВ предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд».

2.3 Проверка силовых трансформаторов ГПП

Ранее в работе было обосновано применение класса низшего напряжения 10 кВ для питающей ГПП системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд». В данном разделе проводится обоснование и выбор высшего класса напряжения для применения на питающей ГПП системы электроснабжения предприятия, с последующим выбором марки силовых трансформаторов на ГПП.

Как было указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ рекомендовано установить два силовых трансформатора.

Для определения экономической целесообразности величины внешнего напряжения используется формула Илларионова:

$$U_{\text{рац.}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l} + \frac{2500}{P_{\text{оц}}}}, \text{ кВ}, \quad (8)$$

где $P_{\text{оц}}$ – мощность одной цепи питающей линии, МВт;

l – расстояние от источника питания, км.

Для высшего напряжения ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания:

$$U_{\text{рац.}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{3,26} + \frac{2500}{7,006/2}}} = 33,94 \text{ кВ}.$$

Таким образом, установлено, что в качестве высшего напряжения для питания ГПП предприятия по производству спортивного и диетического питания, целесообразно принять номинальное напряжение 35 кВ.

Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей системы электроснабжения предприятия, проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП предприятия.

С учётом систематических нагрузок, а также вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд», расчётная мощность трансформатора на питающей заводской ГПП-35/10 кВ определяется из соотношения [10]:

$$S_{ном.} = \frac{S_p}{n \cdot k_3}, \text{ кВА}, \quad (9)$$

где k_3 – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на подстанциях;

n – количество трансформаторов, шт. [11].

Исходя из условия (9), расчётная мощность трансформатора для применения на ГПП в системе электроснабжения объекта проектирования:

$$S_{ном.} = \frac{7277,11}{2 \cdot 0,70} = 5197,94 \text{ кВА}.$$

Исходя из номинального ряда мощностей для силовых трансформаторов, для установки на ГПП-35/10 кВ в системе электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд», предварительно выбираются два силовых трансформатора ТМН-6300/35/10 с высшим напряжением 35 кВ и низшим напряжением 10 кВ [14].

Известно, что силовой трансформатор на подстанции в нормальном режиме должен работать с коэффициентом загрузки, не превышающим значение 0,7.

Такой коэффициент принимается для определенных категорий надежности (I и II категории) [18].

Это условие выражается так [15]:

$$K_{з.н} = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,65. \quad (10)$$

Таким образом, коэффициент загрузки трансформатора подстанции ГПП в системе электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти) в нормальном режиме не превышает предельно установленные значения:

$$K_{з.н} = \frac{7277,11}{2 \cdot 6300} = 0,58 \leq 0,65.$$

Осуществляется проверка этого же трансформатора ГПП-35/10 кВ в послеаварийном режиме работы с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае выхода в аварийный режим второй питающей линии или второго трансформатора ГПП предприятия по каким-либо причинам [11].

В послеаварийном режиме коэффициент загрузки трансформатора не должен быть выше значения 1,35 с учётом нагрузки всей ГПП предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд», которая будет приходиться на один трансформатор, оставшийся в работе [11]:

$$K_{з.а} = \frac{S_P}{S_{ном}} \leq 1,35. \quad (11)$$

Коэффициент загрузки трансформатора ГПП-35/10 кВ в системе электроснабжения объекта проектирования в послеаварийном режиме также удовлетворяет условию:

$$K_{з.а} = \frac{7277,11}{6300} = 1,16 \leq 1,35.$$

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания внешней системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд», на ГПП-35/10 кВ

объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/35/10).

2.4 Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП-10/0,4 кВ) внутренней СЭС ООО «Фитнес Фуд» с учётом схемы электрических соединений объекта проектирования, а также подключения нагрузки в питающей сети 10 кВ и распределительной сети 0,38/0,22 кВ.

Известно, что число трансформаторов на цеховых ТП выбирается в зависимости от категории надёжности электроснабжения потребителей [2].

Для электроснабжения потребителей II категории надёжности должно быть предусмотрено два независимых источника питания, таким образом установлено, что на питающей цеховой подстанции должно быть предусмотрено два силовых трансформатора [4].

Согласно правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей, допускается перегрузка маслонаполненных трансформаторов на 30% в течении 120 минут, на 45% в течение 80 минут, на 65% в течение 45 минут [2].

Мощность силовых трансформаторов должна быть выбрана с учетом максимальной расчётной нагрузки предприятия в рабочем режиме с учетом нагрузки при обеспечении аварийного резерва. Минимальная мощность трансформатора для установки на ЦТП-10/0,4 кВ объекта проектирования определяется по формуле:

$$S_{тр-ра} = \frac{P_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (12)$$

где P_p – расчётная суммарная нагрузка потребителей цехов,

получающие питание от данной подстанции, кВт;

$k_{загр}$ – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на цеховых подстанциях 6(10)/0,4 кВ;

N – число силовых трансформаторов, шт.

Результаты выбора силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ (по секциям сборных шин, которые они питают) внутренней СЭС предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд»

Наименование объекта	$U_{тр.ном},$ кВ	$K_{з.ном}$	$P_p, \text{кВт}$	$S_{т.мин},$ кВА	$S_{т.ном},$ кВА	Тип трансформатора
ТП-1 1с.ш.	10/0,4	0,80	749,50	936,88	1000	ТМГ-1000/10
ТП-1 2с.ш.	10/0,4	0,80	715,00	893,75	1000	ТМГ-1000/10
ТП-1 3с.ш.	10/0,4	0,80	720,00	937,50	1000	ТМГ-1000/10
ТП-2 1с.ш.	10/0,4	0,70	482,50	689,29	1000	ТМГ-1000/10
ТП-2 2с.ш.	10/0,4	0,70	514,75	735,35	1000	ТМГ-1000/10
ТП-3 1с.ш.	10/0,4	0,85	835,00	982,35	1000	ТМГ-1000/10
ТП-3 2с.ш.	10/0,4	0,85	802,50	826,47	1000	ТМГ-1000/10
ТП-3 3с.ш.	10/0,4	0,85	828,50	982,94	1000	ТМГ-1000/10
ТП-4 1с.ш.	10/0,4	0,70	690,00	985,71	1000	ТМГ-1000/10
ТП-4 2с.ш.	10/0,4	0,70	694,50	920,72	1000	ТМГ-1000/10

Таким образом, расчётным путём установлено, что на всех цеховых ТП-10/0,4 кВ целесообразно установить силовые трансформаторы марки ТМГ-1000/10.

Характеристики выбранных силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ предприятия по производству спортивного и диетического питания используются при расчётах далее.

2.5 Компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения предприятия

После выбора мощности трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ необходимо произвести компенсацию реактивной мощности. Целесообразно определять мощность конденсаторных батарей отдельно для каждой секции шин [3]:

$$Q_{БК} = Q_{p.cш} - \sqrt{(k_z \cdot S_{ном.тр.})^2 - P_{p.cш}^2}. \quad (13)$$

Для 1 СШ ТП-1 объекта проектирования:

$$Q_{БК} = 793,2 - \sqrt{(0,8 \cdot 1000)^2 - (749,50)^2} = 513,47 \text{ кВАр}$$

Таким образом, установлено, что компенсация реактивной составляющей 1 СШ ТП-1 не требуется.

Выбор устройств компенсации реактивной мощности (далее – КРМ) на остальных цеховых ТП-10/0,4 кВ сведен в таблицу 6.

Таблица 6 – Выбор устройств компенсации реактивной мощности на ЦТП-10/0,4 кВ

Номер ТП	$S_{ном}, \text{кВА}$	$K_{Зном}$	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$Q_{БК}, \text{квар}$	Кол-во и марка НБК	Фактическая мощность, квар
ТП-1 1СШ	1000	0,80	749,50	657,69	377,96	УКРМ-0,4-420-30 У3	420
ТП-1 2СШ	1000	0,80	715,00	715,30	356,45	УКРМ-0,4-420-30 У3	420
ТП-1 3СШ	1000	0,80	720,00	713,90	365,19	УКРМ-0,4-420-30 У3	420
ТП-2 1СШ	1000	0,70	482,50	492,15	-14,99	—	—
ТП-2 2СШ	1000	0,70	514,75	470,15	-4,23	—	—
ТП-3 1СШ	1000	0,85	835,00	793,20	634,22	УКРМ-0,4-825-82,5 У3	825

Продолжение таблицы 6

Номер ТП	$S_{ном}, кВА$	$K_{зном}$	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$Q_{БК}, квар$	Кол-во и марка НБК	Фактическая мощность, квар
ТП-3 2СШ	1000	0,85	802,50	838,35	558,18	УКРМ-0,4-825-82,5 У3	825
ТП-3 3СШ	1000	0,85	828,50	873,20	683,23	УКРМ-0,4-825-82,5 У3	825
ТП-4 1СШ	1000	0,70	690,00	650,68	532,78	УКРМ-0,4-675-67,5 У3	675
ТП-4 2СШ	1000	0,70	694,50	696,08	608,50	УКРМ-0,4-675-67,5 У3	675

Коэффициент загрузки силовых трансформаторов ЦТП после КРМ:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном.т}}. \quad (14)$$

Потери мощности в силовых трансформаторах ЦТП-10/0,4 кВ можно определить по формулам, приведённым ниже.

Потери активной мощности в трансформаторах ЦТП-10/0,4 кВ:

$$\Delta P = \Delta P_k \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_x. \quad (15)$$

Потери реактивной мощности в трансформаторах ЦТП-10/0,4 кВ:

$$\Delta Q = \frac{S_{ном.т}}{100} \cdot (U_k \cdot K_3^2 + I_x). \quad (16)$$

Результаты расчета потерь мощности и коэффициентов загрузки трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ объекта проектирования представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчета потерь мощности и коэффициентов загрузки трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ объекта проектирования

Наименование объекта	Тип трансформатора	K_3	$K_{3.п/а}$	ΔP	ΔQ	S_Σ
ТП-1 1с.ш.	ТМГ-1000	0,79	0,79	8,28	46,00	46,74
ТП-1 2с.ш.	ТМГ-1000	0,77	0,77	8,06	44,91	45,63
ТП-1 3с.ш.	ТМГ-1000	0,78	0,78	8,13	45,26	45,99
ТП-2 1с.ш.	ТМГ-1000	0,69	1,38	6,73	38,13	38,72
ТП-2 2с.ш.	ТМГ-1000	0,70	1,40	6,85	38,73	39,33
ТП-3 1с.ш.	ТМГ-1000	0,84	0,84	9,14	50,40	51,23
ТП-3 2с.ш.	ТМГ-1000	0,80	0,80	8,56	47,43	48,20
ТП-3 3с.ш.	ТМГ-1000	0,83	0,83	9,04	49,88	50,69
ТП-4 1с.ш.	ТМГ-1000	0,69	1,38	6,75	38,22	38,81

Коэффициент загрузки трансформаторов не превышает максимально допустимое значение, потери мощности – допустимы, следовательно, выбранные типы трансформаторов удовлетворяют всем требованиям.

Таким образом, установлено, что все требования выполнены.

2.6 Выбор и проверка проводников питающей воздушной линии 35 кВ

Далее в работе необходимо провести выбор и проверочный расчёт проводников СЭС предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд».

В работе в системе электроснабжения объекта проектирования выбору подлежат проводники воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ (питающие воздушные линии от подстанции энергосистемы ПС-110/35/10 кВ к силовым трансформаторам ГПП) и 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ к цеховым ТП-10/0,4 кВ). Все проводники в системе внешнего электроснабжения предприятия – класса напряжения выше 1 кВ. Поэтому методика выбора для них будет применена также одинаковая.

Известно, что «выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 35 кВ и распределительных

кабельных линий 10 кВ)» [5] СЭС ООО «Фитнес Фуд» осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$S_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (17)$$

где j_3 – «экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

При двух цепях питающей воздушной линии 35 кВ (ВЛ-35 кВ), расчетное значение рабочего тока нормального режима для каждой цепи определяется так [19]:

$$I_{расч.} = \frac{n_{тр} \cdot S_{тр.ГПП}}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A, \quad (18)$$

где $S_{тр.ГПП}$ – номинальная мощность силового трансформатора ГПП-35/10 кВ предприятия, который питает данная ВЛ-35 кВ, кВА.

Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима с учётом того, что вся мощность будет передана по одной цепи ВЛ-35 кВ [19]:

$$I_{расч.п / ав} = \frac{n_{тр} \cdot S_{тр.ГПП}}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A. \quad (19)$$

После выбора проводников воздушных и кабельных линий СЭС ООО «Фитнес Фуд» необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС объекта проектирования в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{дон} \geq I_{расч.}, \quad (20)$$

где $I_{доп}$ – «предельно допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии, А» [10].

Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС объекта проектирования в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{доп} \geq I_{расч.н/ав}, \quad (21)$$

где $I_{расч.н/ав}$ – максимальный расчётный ток послеаварийного режима работы линии с учётом условий резервирования в схеме, А.

Кроме того, «по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также» [5] коронирующего разряда (для ВЛ-35 кВ).

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (22)$$

На основе приведённых расчётных формул, согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС предприятия.

Питание ГПП-35/10 кВ СЭС предприятия осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи с применением провода марки АС. В работе, для большей надёжности функционирования воздушных линий, с учетом климата Самарской области, для установки на новой питающей ВЛ-35 кВ, выбирается уникальный по своей конструкции компактный провод марки «HVCRC» [7].

Такой провод отличается от своих аналогов повышенной прочностью и пропускной способностью, а также высокой степенью устойчивости к гололедообразованию [7].

Кроме того, применение проводов HVCRC на воздушных линиях электропередачи позволяет уменьшить тепловыделение практически в два раза за счёт конфигурации провода и значительно меньших удельных сопротивлений.

Таким образом, установлено, что применением инновационных проводов марки HVCRC на ВЛ-35 кВ для питания внешней системы электроснабжения ООО «Фитнес Фуд», является обоснованным.

Внешний вид и конструкция основных модификаций инновационных композитных проводов марки HVCRC (производитель – Mercury Cable & Energy) для применения на высоковольтных линиях напряжением 35-550 кВ, представлены на рисунке 5.

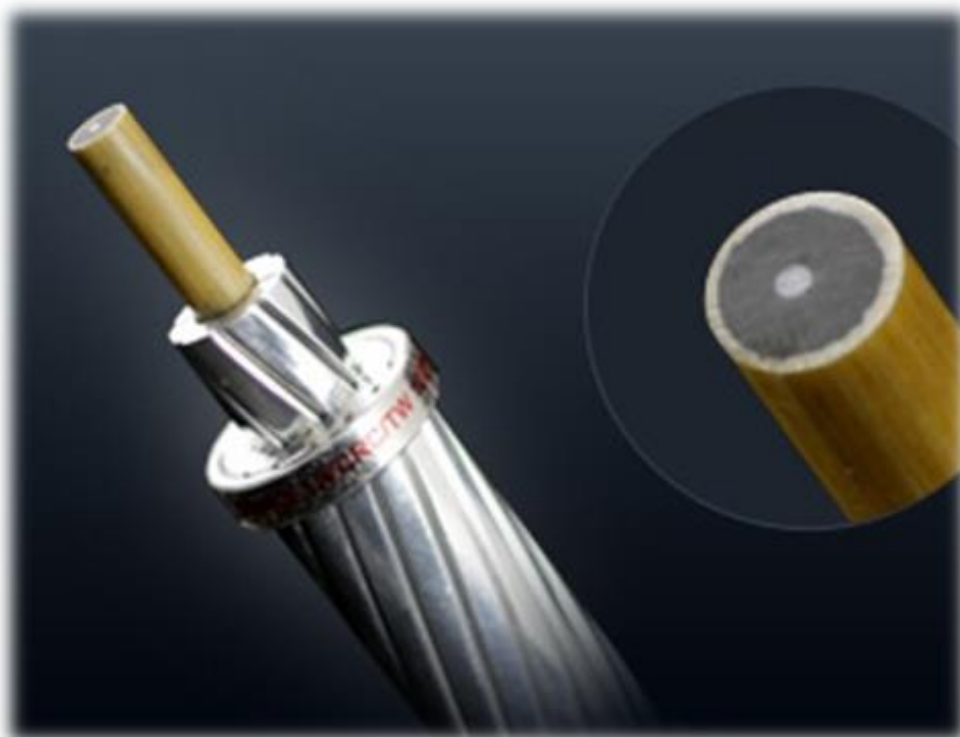


Рисунок 5 – Внешний вид и конструкция основных модификаций инновационных композитных проводов марки HVCRC (производитель – Mercury Cable & Energy) для применения на высоковольтных линиях напряжением 35-550 кВ

Ток нормального режима для питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 по формуле (18):

$$I_{расч.} = \frac{2 \cdot 6300}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 104,05 \text{ А.}$$

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ по формуле (19):

$$I_{расч.н / ав} = \frac{2 \cdot 6300}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 208,09 \text{ А.}$$

Расчётное сечение питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС объекта проектирования по условию экономической плотности тока по формуле (17):

$$S_э = \frac{104,05}{1,0} = 104,5 \text{ мм}^2.$$

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения предприятия, выбирается для питающих ВЛ-35 кВ провод марки HVCRC-148 с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 450 \text{ А}$.

Проверка предварительно выбранного провода марки HVCRC - 148 для воздушной линии 35 кВ по току нормального режима по формуле (20):

$$450 \text{ А} \geq 104,05 \text{ А.}$$

Условия проверки выполняются.

Проверка предварительно выбранного провода марки HVCRC - 148 для воздушной линии 35 кВ по максимальному рабочему току ПАВ режима по формуле (21):

$$450 A \geq 208,09 A.$$

Условие проверки выполняется.

Значит в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом климатических данных, а также таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3 [10], минимальные сечения проводов воздушных линий 35 кВ находятся на уровне не менее 35 мм².

Проверка предварительно выбранного провода марки HVCRC-148 для питающей воздушной линии 35 кВ по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам выполняется по формуле (22):

$$148 \text{ мм}^2 \geq 35 \text{ мм}^2.$$

По условию возникновения короны проверяются воздушные линии напряжением от 110 кВ и выше [17].

Условия проверок выполняются, следовательно, данный провод марки HVCRC-148 полностью удовлетворяет всем условиям выбора и подходит в качестве провода для питающей линии 35 кВ к трансформаторам главной понизительной подстанции проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания. Окончательно для применения на питающей двухцепной ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ предприятия по производству спортивного и диетического питания, в работе выбран современный провод марки HVCRC – 148 (производитель – Mercury Cable & Energy) с сечением токоведущей жилы – 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{don} = 450 A$.

2.7 Выбор и проверка проводников распределительных кабельных линий 10 кВ

Далее в работе необходимо провести выбор и проверочный расчёт проводников распределительных кабельных линий 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ к цеховым ТП-10/0,4 кВ).

Их выбор проводится по экономической плотности тока аналогично выбранному ранее сечению провода питающей ВЛ-35 кВ СЭС предприятия по производству спортивного и диетического питания. В работе распределительная сеть напряжением 10 кВ выполняется силовыми кабелями современного типа с изоляцией со сшитого полиэтилена, марки АСШв-10(3×50), при прокладке в траншеях.

Расстояние между кабелями при прокладке в траншее принимается равным 200 мм. При этом резервирование линий 10 кВ, отходящих к потребителям, также должны быть учтены при расчёте. Данное резервирование осуществляется через секционный выключатель в РУ-10 кВ подстанции [21]. Также скрытые кабельные линии, в отличие от воздушных, не подлежат проверке по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам.

Расчетное значение тока можно определить по величине активной или полной расчетной мощности:

$$I_{РАСЧ} = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, A. \quad (23)$$

Выбор сечения провода или кабеля по нагреву:

$$I_{РАСЧ} \leq I_{ДОП}. \quad (24)$$

Для данного значения K_{nn} и $t_M = 1$ ч коэффициент допустимой перегрузки в послеаварийном режиме $K_{ав} = 1,5$ [11]. Проверка по условию длительного нагрева в послеаварийном режиме сводится к проверке выполнения условия:

$$K_{ав} \cdot I_{доп} \geq I_{р.ав} \quad (25)$$

Проверка кабелей на падение напряжения в кабельных линиях:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot \frac{r_0 \cdot l}{N} + Q \cdot \frac{x_0 \cdot l}{N}}{U^2} \quad (26)$$

Допустимое отклонение напряжения на конце кабеля – 5%. Результаты расчетов токов и выбора сечений кабельных линий предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбор сечений кабелей распределительной сети 10 кВ

Наименование потребителя	$U_{НОМ}$ кВ	L , км	$S_{РАСЧ}$ кВА	$I_{РАСЧ}$ А	$I_{АВ}$ А	$J_{ЭК}$ А/мм ²	$F_{ЭК}$ мм ²	Марка	$I_{ДОП}$	$I_{ДОП.АВ}$
ТП-1 1с.ш.	10	0,040	792,56	45,81	92,49	1,2	38,18	АСШВ-10(3×50)	85,54	111,20
ТП-1 2с.ш.	10	0,035	781,43	45,17	92,49	1,2	37,64	АСШВ-10(3×50)	85,54	111,20
ТП-1 3с.ш.	10	0,030	813,04	47,00	92,49	1,2	39,16	АСШВ-10(3×50)	85,54	111,20
ТП-2 1с.ш.	10	0,030	689,22	39,84	80,49	1,2	33,20	АСШВ-10(3×50)	85,54	111,20
ТП-2 2с.ш.	10	0,035	703,24	40,65	80,49	1,2	33,87	АСШВ-10(3×50)	85,54	111,20
ТП-3 1с.ш.	10	0,040	835,00	48,27	92,49	1,2	40,22	АСШВ-10(3×50)	85,54	111,20
ТП-3 2с.ш.	10	0,028	702,50	40,61	92,49	1,2	33,84	АСШВ-10(3×50)	85,54	111,20
ТП-3 3с.ш.	10	0,045	855,64	49,46	92,49	1,2	41,22	АСШВ-10(3×50)	85,54	111,20
ТП-4 1с.ш.	10	0,162	690,00	39,88	81,18	1,2	33,24	АСШВ-10(3×50)	85,54	111,20

Продолжение таблицы 8

Наименование потребителя	$U_{НОМ}$ кВ	L , км	$S_{РАСЧ}$ кВА	$I_{РАСЧ}$ А	$I_{АВ}$ А	$J_{ЭК}$ А/мм ²	$F_{ЭК}$ мм ²	Марка	$I_{ДОП}$	$I_{ДОП.АВ}$
ТП-4 2с.ш.	10	0,171	714,50	41,30	81,18	1,2	34,42	АСШВ-10(3×50)	85,54	111,20

Результаты проверки выбранных кабелей распределительной сети 10 кВ СЭС предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти) на допустимое падение напряжения сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты проверки выбранных кабелей распределительной сети 10 кВ СЭС предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти) на допустимое падение напряжения

Наименование потребителя	Марка	$U_{НОМ}$ кВ	L , км	$P_{РАСЧ}$ кВт	$Q_{РАСЧ}$ кВА	R_0 Ом/км	X_0 Ом/км	ΔU
ТП-1 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,130	749,50	257,69	0,620	0,090	0,60
ТП-1 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,130	715,00	315,30	0,620	0,090	0,51
ТП-1 3с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,130	750,00	313,90	0,620	0,090	0,61
ТП-2 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,780	482,50	492,15	0,620	0,090	3,64
ТП-2 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,780	514,75	479,15	0,620	0,090	3,68
ТП-3 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,720	835,00	442,93	0,620	0,090	3,68
ТП-3 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,720	702,50	374,62	0,620	0,090	3,05
ТП-3 3с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,720	852,50	473,20	0,620	0,090	3,03
ТП-4 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,850	690,00	364,81	0,620	0,090	4,42
ТП-4 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	10	0,850	714,50	382,53	0,620	0,090	4,45

Максимальный расчетный ток потребителей (ток послеаварийного режима) не превышает значений максимально допустимого длительного тока выбранных сечений проводов и кабелей, как и значения отклонений напряжения в линиях, следовательно, выбранные кабели распределительной

сети 10 кВ предприятия ООО «Фитнес Фуд» удовлетворяют предъявляемым требованиям. Таким образом, в результате проведения расчётов и проверок в работе, установлено, что все выбранные проводники (воздушная линия 35 кВ питающей сети внешнего электроснабжения и силовые кабели напряжением 10 кВ распределительной сети внутреннего электроснабжения) проектируемой системы электроснабжения предприятия удовлетворяют всем условиям выбора и проверки, следовательно, могут быть приняты для установки на объекте проектирования.

2.8 Расчёт картограммы силовых нагрузок

Для определения места расположения ГПП-35/10 кВ на генплане системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» наносится картограмма электрических нагрузок.

На генплан предприятия произвольно наносятся оси координат и определяются значения x_i и y_i для каждой цеховой ТП-10/0,4 кВ.

Так, например, для ЦТП-1 системы электроснабжения объекта проектирования:

$$P_p = 2214,5 \text{ кВт};$$

$$x = 80 \text{ м};$$

$$y = 106 \text{ м}.$$

Радиус окружности для силовой нагрузки системы электроснабжения предприятия:

$$r = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot t}}, \text{ м}, \quad (27)$$

где $P_{p,i}$ – расчетная полная мощность i -того цехового ТП;

m – масштаб для определения площади окружности нагрузки.

$$r = \sqrt{\frac{2214,5}{3,14 \cdot 1}} = 26,56 \text{ м.}$$

Тогда:

$$P_p \cdot x = 2214,5 \cdot 80 = 177160 \text{ Вт} \cdot \text{м.}$$

$$P_p \cdot y = 2214,5 \cdot 106 = 234737 \text{ Вт} \cdot \text{м.}$$

Результаты всех расчетов сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Картограмма и определение центра электрических нагрузок системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания

Наименование	P_{pi} , кВт	ri , мм	xi , м	yi , м	$P \cdot x$, кВт·м	$P \cdot y$, кВт·м
ЦТП1	2214,5	26,56	80,0	106,0	177160,0	234737,0
ЦТП2	997,3	17,82	39,0	37,0	38892,8	36898,3
ЦТП3	2390,0	27,59	134,0	36,0	320260,0	86040,0
ЦТП4	1404,5	21,15	147,0	45,0	206461,5	63202,5
Итого по СЭС ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти)	7006,3	–	106,0	60,1	742774,3	420877,8

Координаты центра электрических нагрузок системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» определяется исходя из условий:

$$x_0 = \frac{\sum(P_{p.i} \cdot x_i)}{\sum P_{p.i}}, \text{ м.} \quad (28)$$

$$y_0 = \frac{\sum(P_{p.i} \cdot y_i)}{\sum P_{p.i}}, \text{ м.} \quad (29)$$

Координаты центра электрических нагрузок системы электроснабжения предприятия в числовом значении по условиям (28) и (29):

$$x_0 = \frac{742774,3}{7006,3} = 106 \text{ м.}$$

$$y_0 = \frac{420877,8}{7006,3} = 60,1 \text{ м.}$$

Подстанцию целесообразнее установить в центре электрических нагрузок, но сооружение подстанции в данном месте невозможно, поэтому ГПП переносится в наиболее благоприятное для строительства место.

2.9 Расчёт токов короткого замыкания

Устанавливаемое электрооборудование должно быть проверено по устойчивости к токам короткого замыкания КЗ. Если токи короткого замыкания превышают номинальные параметры оборудования, то данное оборудование не должно применяться при построении системы электроснабжения предприятия. В таком случае возможны два варианта: либо выбрать другое оборудование, отвечающее значениям токов КЗ, либо принимать схемные решения (например, по установке токоограничивающих нелинейных реакторов).

В работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ГПП-35/10 кВ ООО «Фитнес Фуд», по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах ГПП и цеховых ТП.

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ на шинах всех РУ проектируемой внешней системы электроснабжения предприятия будут проверены уставки релейной защиты на надёжность срабатывания.

Для расчета токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти) составляется расчётная схема (рисунок 6) [14].

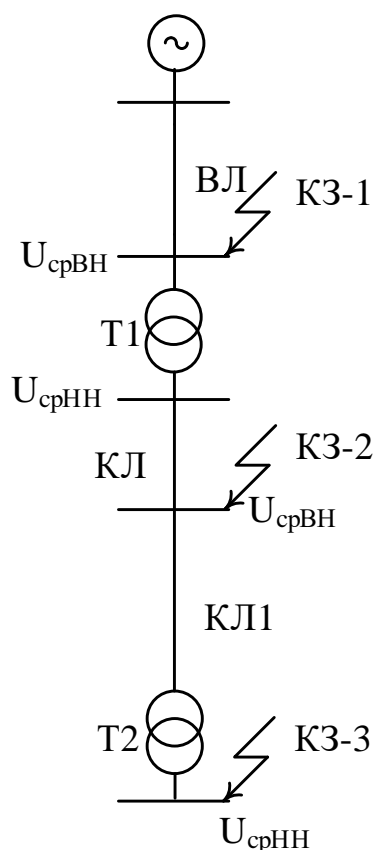


Рисунок 6 – Расчётная схема для расчета токов короткого замыкания на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти)

Для составления схемы замещения каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

По расчётной схеме токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения предприятия ООО «Фитнес Фуд» составляется схема замещения (рисунок 7) [14].

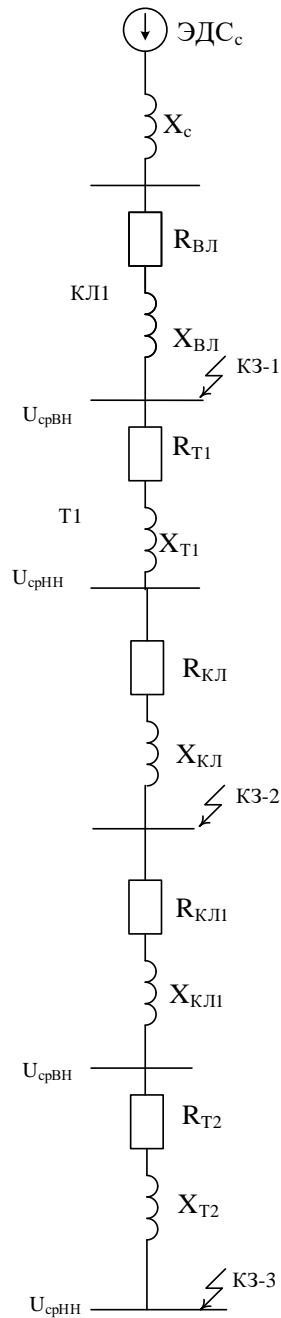


Рисунок 7 – Схема замещения для расчёта токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти)

В исходной схеме объекта проектирования для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь [12].

Далее проводится расчёт параметров схемы замещения в относительных единицах с последующим приведением их к именованным.

В качестве базисных условий принимается базисная мощность 1000 МВА и напряжение на выводах силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ, равное в максимальном режиме при наибольшем ответвлении устройства РПН, 37 кВ [14].

«Сопротивление энергосистемы» [12]:

$$x_{c*} = \frac{S_B}{S_{K3C}}, \text{ o.e.}, \quad (30)$$

где « S_{K3C} – полная мощность трёхфазного КЗ энергосистемы» [9].

По условию (30):

$$x_{c*} = \frac{1000}{3600} = 0,28 \text{ o.e.}$$

Сопротивление воздушной и кабельных линий находятся по формулам:

$$r_{л*} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_B}{U_B^2}, \text{ o.e.} \quad (31)$$

$$x_{л*} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_B}{U_B^2}, \text{ o.e.} \quad (32)$$

Для питающей воздушной линии 35 кВ:

$$r_{л*} = \frac{0,258 \cdot 3,26 \cdot 1000}{37^2} = 0,687 \text{ o.e.}$$

$$x_{л*} = \frac{0,12 \cdot 3,26 \cdot 1000}{37^2} = 0,319 \text{ o.e.}$$

Ток КЗ в точке КЗ-1 находится по формуле:

$$I_{K1} = I_{Пт} = I_{П0} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B \cdot (x_{c*} + x_{л*})}, \text{кА.} \quad (33)$$

$$I_{K1} = I_{Пт} = I_{П0} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37 \cdot \sqrt{0,687^2 + (0,28 + 0,319)^2}} = 17,37 \text{кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания находится по формуле:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_K, \quad (34)$$

где k_y – ударный коэффициент.

Для точки К1:

$$i_{y\partial(K1)} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 17,37 = 26,94 \text{кА.}$$

Сопротивление трансформатора определяется по выражениям:

$$z_{m*} = \frac{U_{K3} \cdot U_{BH}^2}{100 \cdot S_{н.м}} \cdot \left(\frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}\right) \quad (35)$$

$$r_{m*} = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_{BH}^2}{S_{н.м}^2} \cdot \left(\frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}\right) \quad (36)$$

$$x_{m*} = \sqrt{z_{m*}^2 - r_{m*}^2} \quad (37)$$

Сопротивление трансформатора в максимальном режиме:

$$z_{m* \text{ макс}} = \frac{7,5 \cdot 40,5^2}{100 \cdot 6,3} \cdot \left(\frac{1000}{37^2}\right) = 14,264 \text{ о.е.}$$

$$r_{m^* . макс} = \frac{45 \cdot 40,5^2}{6,3^2 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{1000}{37^2}\right) = 1,358 \text{ о.е.}$$

$$x_{m^* . макс} = \sqrt{14,264^2 - 1,358^2} = 14,199 \text{ о.е.}$$

Сопротивление трансформатора в минимальном режиме:

$$z_{m^* . мин} = \frac{7,5 \cdot 31^2}{100 \cdot 6,3} \cdot \left(\frac{1000}{37^2}\right) = 8,357 \text{ о.е.}$$

$$r_{m^* . мин} = \frac{45 \cdot 31^2}{6,3^2 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{1000}{37^2}\right) = 0,796 \text{ о.е.}$$

$$x_{m^* . мин} = \sqrt{8,357^2 - 0,796^2} = 8,319 \text{ о.е.}$$

Определение базисного тока на шинах РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{CP2}}, \text{ А.} \quad (38)$$

$$I_B = \frac{1000 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 57803,47 \text{ А.}$$

Определяется эквивалентное сопротивление в точке КЗ-2 в максимальном режиме:

$$z_{\text{эkv.К2.макс}} = \sqrt{(x_{c^*} + x_{л^*} + x_{m^* . мин})^2 + (r_{л^*} + r_{m^* . мин})^2}. \quad (39)$$

$$z_{\text{эkv.К2.макс}} = \sqrt{(0,28 + 0,319 + 8,319)^2 + (0,687 + 0,796)^2} = 9,04 \text{ о.е.}$$

Определяется ток короткого замыкания в точке КЗ-2 в максимальном режиме:

$$I_{K3.K2.макс} = \frac{E_C}{z_{эвв.K2.макс}} I_B, \text{ А.} \quad (40)$$

$$I_{K3.K2.макс} = \frac{1}{9,04} \cdot 57803,47 = 6394,19 \text{ А.}$$

Ток короткого замыкания для минимального режима рассчитывается аналогично. Сопротивление кабельных линий, питающих цеховые трансформаторы объекта проектирования, определяется аналогично. Результаты расчетов сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Сопротивление кабельных линий, питающих трансформаторы ЦТП-10/0,4 кВ объекта проектирования

Наименование потребителя	Марка	L , км	R_0 Ом/км	X_0 Ом/км	R Ом/км	X Ом/км
ТП-1 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,130	0,620	0,090	0,081	0,012
ТП-1 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,130	0,620	0,090	0,081	0,012
ТП-1 3с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,130	0,620	0,090	0,081	0,012
ТП-2 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,780	0,620	0,090	0,484	0,070
ТП-2 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,780	0,620	0,090	0,484	0,070
ТП-3 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,720	0,620	0,090	0,446	0,065
ТП-3 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,720	0,620	0,090	0,446	0,065
ТП-3 3с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,720	0,620	0,090	0,446	0,065
ТП-4 1с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,850	0,620	0,090	0,527	0,077
ТП-4 2с.ш.	АСШВ-10(3×50)	0,850	0,620	0,090	0,527	0,077

Сопротивления трансформатора ТМ-1000/10 определяются так:

$$z_{TP*} = \frac{U_{K3} \cdot S_B}{100 \cdot S_{н.т}}, \text{ о.е.} \quad (41)$$

$$r_{TP*} = \frac{\Delta P_k \cdot U_0^2}{S_{н.т}^2}, \text{ о.е.} \quad (42)$$

$$x_{TP*} = \sqrt{z_{TP*}^2 - r_{TP*}^2}, \text{ о.е.} \quad (43)$$

Сопротивления трансформатора ТМ-1000/10 пор условиям (41) – (43):

$$z_{TP*} = \frac{5.5 \cdot 1000}{100 \cdot 1} = 55 \text{ о.е.}$$

$$r_{TP*} = \frac{10,8 \cdot 37^2}{1^2 \cdot 10^3} = 14,785 \text{ о.е.}$$

$$x_{TP*} = \sqrt{55^2 - 14,785^2} = 52,976 \text{ о.е.}$$

Определение базисного тока на стороне низкого напряжения:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{CP2}}, \text{ кА.} \quad (44)$$

$$I_B = \frac{1000 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 10^3} = 1445,09 \text{ кА.}$$

Эквивалентное сопротивление в точке КЗ-3 в максимальном режиме:

$$z_{\text{эkv.КЗ.макс}} = \sqrt{(x_C^* + x_L^* + x_{m^*} \cdot \text{мин} + x_{кл^*} + x_{mp^*})^2 + (r_L^* + r_{m^*} \cdot \text{мин} + r_{кл^*} + r_{mp^*})^2} \quad (45)$$

$$z_{\text{эkv.КЗ.макс}} = \sqrt{(0,28 + 0,319 + 8,319 + 0,012 + 52,976)^2 + (0,687 + 0,796 + 0,081 + 14,785)^2} = 64,028 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания в точке КЗ-3 в максимальном режиме:

$$I_{\text{КЗ.КЗ.макс}} = \frac{E_C}{z_{\text{эkv.КЗ.макс}}} I_B, \text{ кА.} \quad (46)$$

$$I_{\text{КЗ.КЗ.макс}} = \frac{1}{64,028} \cdot 1445,09 = 22,57 \text{ кА.}$$

Остальные результаты расчета сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Расчет токов короткого замыкания

Место КЗ	$Z_{экв.макс}, о.е.$	$Z_{экв.мин}, о.е.$	$I^{(3)}_{макс}, кА$	$I^{(3)}_{мин}, кА$	k_y	$I_{уд}, кА$	$I^{(2)}_{мин}, кА$
К1	0,911	–	17,37	–	1,1	26,94	15,03
К2	9,040	14,939	6,39	3,87	1,6	10,22	3,35
К3 (ТП1)	64,028	69,863	22,57	20,68	1,4	31,60	17,89
К3 (ТП2)	64,189	70,018	22,51	20,64	1,4	31,51	17,85
К3 (ТП3)	64,173	70,004	22,52	20,64	1,4	31,53	17,85
К3 (ТП4)	64,207	70,036	22,51	20,63	1,4	31,51	17,84

Полученные расчётные результаты будут использованы в работе далее.

2.10 Выбор и проверка электрических аппаратов

Как было указано ранее, одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения ООО «Фитнес Фуд» является выбор нового оборудования для установки в распределительных устройствах высокого напряжения на ГПП-35/10 кВ.

Таким образом, в работе будет проведена практическая модернизация оборудования предприятия по производству спортивного и диетического питания, проводимая без внесения изменений в исходную схему электрических соединений. РУ-10 кВ всех ЦТП-10/0,4 кВ выполняются по упрощённой схеме и коммутируются с соответствующих ячеек РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ. Такая схема удобная, надёжная и практичная.

Все выбранные аппараты проверяются на соответствие условиям цепи в максимальном режиме по значениям максимального рабочего тока и тока трёхфазного КЗ.

Выбору и проверке в работе подлежат такие аппараты системы электроснабжения объекта проектирования:

- высоковольтные выключатели – устанавливаются во всех распределительных устройствах питающей ГПП-35/10 кВ (35 кВ, 10 кВ);
- разъединители – применяются только в ЗРУ-35 кВ на ГПП-35/10 кВ (в РУ-10 кВ заменяются втычными контактами ячеек типа КРУН-10);

- ограничители перенапряжения устанавливаются во всех РУ ГПП-35/10 кВ;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения – применяются в ЗРУ-35 кВ и КРУН-10 кВ ГПП по мере необходимости (зависит от схемы и мощности вторичных цепей).

Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ).

Поэтому к выключателям предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости к сквозным токам КЗ и ударным токам.

Известно, что выбор выключателей высокого напряжения производится исходя из следующих условий двух основных условий [18]:

- по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (47)$$

где $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя);

- по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (48)$$

где $I_{раб.макс}$, I_n – соответственно максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя).

Проверка выключателя предполагает выполнение следующих обязательных условий [18]:

– «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [18]:

$$I_{n\tau} \leq I_{откн.н} \quad (49)$$

где « $I_{n\tau}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [18];

« $I_{откн.н}$ – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА (параметр завода-изготовителя)» [18];

– «проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{n\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (50)$$

где « $i_{a\tau}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [7];

« β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [7];

« τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [7]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (51)$$

где « $t_{з.мин}$ – минимальное время действия релейной защиты, с» [7];

« $t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя, с» [7];

– «на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (52)$$

где « $i_{np.c}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [18];

« i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [18];

- «проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (53)$$

где « B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$ » [18];

« t_T – длительность протекания тока термической устойчивости, с» [18].

«При этом тепловой импульс» [18] с учётом токов КЗ и отключения цепи:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (54)$$

Исходя из расположения в схеме ГПП-35/10 кВ СЭС предприятия, высоковольтные выключатели напряжением 35 кВ и 10 кВ подразделяются на следующие типы:

- высоковольтные выключатели ввода (вводные высоковольтные выключатели) – служат для приёма электроэнергии от энергосистемы с последующей её передачей на два силовых трансформатора подстанции (сеть 35 кВ), а также приёма и передачи электроэнергии от силового трансформатора на напряжении 10 кВ в распределительную сеть РУ-10 кВ (сеть 10 кВ);
- высоковольтный выключатель секционного соединения (секционный выключатель) – необходим для обеспечения резервирования в схеме РУ-10 кВ на ГПП-35/10 кВ, автоматически включая питание оборудования от второй системы сборных шин 10 кВ;
- высоковольтные выключатели отходящих линий (линейные выключатели) – необходимы для обеспечения защиты и коммутации отходящих линий 10 кВ.

Исходя из этого, необходимо учесть расположение выключателей в схеме, так как параметры сети в различных узлах ГПП-35/10 кВ СЭС предприятия будут также различными.

Предварительно принимается для установки на объекте проектирования выключатели высокого напряжения новых образцов и модификаций следующих марок:

- в РУ-35 кВ – выключатели высокого напряжения марки ВВН-СЭЩ-П-35 УХЛ1;
- в РУ-10 кВ – выключатели высокого напряжения марки ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48 (вводные выключатели) и ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (линейные выключатели).

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки во всех распределительных устройствах ГПП-35/10 кВ СЭС предприятия проводится по приведённым выше условиям (таблица 13).

Таблица 13 – Результаты выбора и проверки выключателей высокого напряжения для установки на ГПП-35/10 кВ СЭС предприятия

Присоединение	Марка	Соотношение паспортных и расчетных данных						
		$\frac{U_n}{U_p}$, кВ	$\frac{I_n}{I_{p\max}}$, А	$\frac{I_{откл.ном}}{I''}$, кА	$\frac{i_{откл.ном}}{i_{kt}}$, кА	$\frac{I_{np-c}}{I''}$, кА	$\frac{i_{np-c}}{i_y^{(3)}}$, кА	$\frac{I_t^2 \cdot t}{B_k}$, кА·с
Вводной выключатель 35 кВ	ВВН-СЭЩ-П-35 УХЛ1	$\frac{35}{35}$	$\frac{1000}{208,09}$	$\frac{40}{17,37}$	$\frac{40}{26,94}$	$\frac{40}{17,37}$	$\frac{50}{26,94}$	$\frac{1200}{460,8}$
Вводной и секционный выключатели 10 кВ	ВВ/TEL-10-25/1600 У2	$\frac{10}{10}$	$\frac{1600}{1346}$	$\frac{25}{22,51}$	$\frac{40}{31,51}$	$\frac{25}{22,51}$	$\frac{64}{31,51}$	$\frac{1875}{520,6}$
Линейные выключатели 10 кВ	ВВ/TEL-10-12,5/630 У2	$\frac{10}{10}$	$\frac{630}{168}$	$\frac{25}{22,51}$	$\frac{40}{31,51}$	$\frac{25}{22,51}$	$\frac{64}{31,51}$	$\frac{1875}{520,6}$

Далее проводится выбор разъединителей для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти).

Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках. В работе для установки в сети 35 кВ на ГПП-35/10 кВ СЭС объекта проектирования выбираются современные разъединители. Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12]. Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в РУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС предприятия представлены в таблице 14 [15].

Таблица 14 – Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в ЗРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС предприятия

Наименование присоединения	Тип разъединителя/ привода	$\frac{U_n}{U_{уст}}$ кВ	$\frac{I_n}{I_{р.макс}}$ А	$\frac{I_{пр.с}}{I}$ кА	$\frac{i_{пр.с}}{i_y}$ кА	$\frac{I_{mT}^2}{B_k}$ кА ² ·с
ОРУ 35 кВ	<u>РДЗ-1-35/1000НУХЛ1</u> ПРГ-01 2БУХЛ1	35	1000	63	80	1200
	<u>РДЗ-2-35/1000НУХЛ1</u> ПРГ-01 2БУХЛ1	35	208,09	17,37	26,94	460,8

В ячейках КРУН-10 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС предприятия по производству спортивного и диетического питания разъединители не устанавливаются их заменяют втычные контакты.

Для установки в РУ ГПП-35/10 кВ выбираются ограничители перенапряжения следующих типов и марок:

- для установки в РУ-35 кВ и на ВЛ-35 кВ – ОПН типа ОПН-У/TEL 35/40,5 УХЛ1;
- для установки в РУ-10 кВ и в ячейках отходящих линий 10 кВ – ОПН типа ОПН- РС/TEL 6/7,6 УХЛ1.

Также необходимо выбрать новые трансформаторы тока и напряжения (измерительные трансформаторы) для их непосредственной установки на ГПП-35/10 кВ СЭС объекта проектирования.

Выбор новых измерительных трансформаторов тока и напряжения в работе чрезвычайно важна, так как они питают приборы учёта, контроля и управления электроэнергией, а также цепи релейной защиты, автоматики, сигнализации и телеметрии. Также они используются для релейной защиты оборудования, которая выбирается в работе далее.

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов напряжения для установки в РУ всех классов напряжения на ГПП-35/10 кВ СЭС предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти) представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты выбора новых трансформаторов напряжения

Тип ТН	Кол-во ТН	Мощность на один ТН, ВА	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \sum}$, ВА
НАМИ-10-95	2	36,8/2	1	$\frac{10}{10}$	$\frac{200,0}{12,0}$

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов тока для установки в РУ всех классов напряжения на ГПП-35/10 кВ СЭС ООО «Фитнес Фуд» представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты выбора новых трансформаторов тока

Наименование присоединения	Марка ТТ	Исполнение вторичной обмотки	$\frac{U_n}{U_{уст}}$	$\frac{I_{ном}}{I_{р.макс}}$	$\frac{i_{дин}}{i_y}$	$\frac{(k_T I_{ном})^2 t_T}{B_k}$
			кВ	А	кА	кА ² ·с
Ввод РУ 35 кВ	ТГФМ-35-У3	0,5/Р/Р	$\frac{35}{35}$	$\frac{300}{208,09}$	—	—
ВЛ-35 кВ	ТГФМ-35-У3	0,5/Р/Р	$\frac{35}{35}$	$\frac{300}{208,09}$	—	—
Шины 10 кВ	ТОЛ-10-У3	10Р/10Р	$\frac{10}{10}$	$\frac{1500}{1346}$	$\frac{75}{31,51}$	$\frac{7056}{520,6}$
Отходящие линии 10 кВ	ТОЛ-10-У3	0,5/Р	$\frac{10}{10}$	$\frac{200}{168}$	$\frac{75}{31,51}$	$\frac{7056}{520,6}$

Всё новое выбранное основное оборудование распределительных устройств ГПП-35/10 кВ предприятия ООО «Фитнес Фуд» удовлетворяет всем требуемым условиям и принимается для установки на объекте.

2.11 Выбор и проверка трансформаторов собственных нужд на ГПП

Требуемая мощность для питания собственных нужд (СН) переменного тока определяется путём суммирования присоединенной мощности всех потребителей.

Для каждого потребителя СН:

$$P_{расч.} = P_y \cdot K_c. \quad (55)$$

$$Q_{расч.} = P_{расч.} \cdot tg\varphi. \quad (56)$$

Расчетная мощность собственных нужд определяем по формуле:

$$S_{с.н.расч.} = \sqrt{\sum P_{расч.}^2 + \sum Q_{расч.}^2} \quad (57)$$

$$S_{с.н.} = \sqrt{34,5^2 + 0^2} = 34,5 \text{ кВА}$$

Расчетная мощность ТСН для установки на питающей ГПП:

$$S_{ТСН} = \frac{S_p}{k_3 \cdot n} \quad (58)$$

$$S_{ТСН} = \frac{34,5}{0,7 \cdot 2} = 24,64 \text{ кВА.}$$

К установке на ГПП принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора собственных нужд внутренней установки типа ТМ-25/10У1

работающих параллельно, каждый на свою секцию шин ПСН-0,4кВ, подключенные к вводным выключателям 10 кВ.

Выводы по разделу 2.

Проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по проектированию системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» с модернизацией основного оборудования распределительных устройств и сетей.

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 35 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ и двумя силовыми трансформаторами.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения предприятия:

- для применения в РУ-35 кВ питающей ГПП принята наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП принята наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;
- для применения в распределительной сети 10 кВ принята наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на двухтрансформаторных и трёхтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принята «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном и минимальном режиме работы системы электроснабжения предприятия. На основании полученных результатов установлено, что для

питания проектируемой внешней системы электроснабжения, на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/35/10). Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС (всего предусмотрено четыре ЦТП-10/0,4 кВ). На каждой ЦТП-10/0,4 кВ выбраны однотипные трансформаторы марки ТМГ-1000/10.

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения объекта проектирования, для питающих ВЛ-35 кВ принята марка инновационного провода НVCRC-148 с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 450$ А.

Для питания всех ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСШв-10(3×50). Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ СЭС предприятия по производству спортивного и диетического питания:

- в ЗРУ-35 кВ – выключатели высокого напряжения ВВН-СЭЩ-П-35 УХЛ1, разъединители РДЗ – 35/1000 У1 с одним и двумя заземляющими ножами-контактами, ограничители перенапряжения ОПН-У/TEL 35/40,5 УХЛ1, трансформаторы тока ТГФМ-35-У3;
- в РУ-10 кВ: выключатели высокого напряжения вводные и секционный ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48, выключатели линейные ВВ/TEL-10-20-630-У2-48, ограничители перенапряжения ОПН-РС/TEL 6/7,6 УХЛ1, трансформаторы напряжения НАМИ-10-95 и трансформаторы тока ТПК-10-У3.

Выбраны трансформаторы собственных нужд марки ТМ-25/10.

3 Выбор устройств и уставок релейной защиты и автоматики

3.1 Расчёт релейной защиты трансформаторов ГПП

Для обеспечения надежного электроснабжения на ГПП-35/10 кВ ООО «Фитнес Фуд» следует произвести расчет и выбор современных защит на микропроцессорной базе.

Определяется номинальный ток трансформатора ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения объекта проектирования на стороне ВН (35 кВ):

$$I_{\text{НОМ.ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.ВН}}}, \text{ A.} \quad (59)$$

$$I_{\text{НОМ.ВН}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} = 98,42 \text{ A.}$$

Определяется номинальный ток трансформатора ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения проектируемого предприятия на стороне НН (10 кВ):

$$I_{\text{НОМ.НН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.НН}}}, \text{ A.} \quad (60)$$

$$I_{\text{НОМ.НН}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 346,8 \text{ A.}$$

Принимаются к установке трансформаторы тока с коэффициентами трансформации 150/5 со стороны ВН и 600/5 со стороны НН трансформатора.

Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока со стороны ВН и НН – полная звезда, на основании методических рекомендаций по выбору уставок [16].

Вторичный ток в плечах защиты:

$$I_{2ном.ВН} = \frac{98,42}{150/5} \cdot 1 = 3,28 \text{ A.}$$

$$I_{2ном.НН} = \frac{346,8}{600/5} \cdot 1 = 2,89 \text{ A.}$$

К установке принимается терминал защиты трансформатора типа Мисом Р633.

Выбор уставок дифференциальной защиты трансформаторов ГПП-35/10 кВ на базе терминала Мисом Р633 представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Выбор уставок дифференциальной защиты трансформаторов ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения ООО «Фитнес Фуд» на базе терминала Мисом Р633

Характеристика параметров	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение для обмоток
Расчетный ток небаланса в относительных единицах, соответствующий началу торможения.	$I_{*НБ НАЧ.} = \left(\frac{K_{ОДН} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon_* +}{+\Delta U_{*РПН} + \Delta U_{*ПБВ}} \right) \cdot I_{*НОМ}$ <p>где $\varepsilon_* = 6,5\% / 100 = 0,065$ $f_{*ВЫР} = 5\% \cdot 0,05$ $K_{ОДН} = 1$ $\Delta U_{*РПН} = 16\% / 100 = 0,16$ $I_{*НОМ} = \frac{I_{НОМ}}{I_{БАЗ}} = 98,42 / 98,42 = 1$</p>	$(1 \cdot 1 \cdot 0,065 + 0,16 + 0,05 + 0,05) \cdot 1 = 0,325$
Расчет минимального тока срабатывания Id>	$Id \geq K_{ОТС} \cdot I_{*НБ НАЧ.}$	$2 \cdot 0,325 = 0,65$ от (0,1÷2,5)
Принятый Id>	$Id \geq 0,5 I_{БАЗ}$	$0,5 \cdot 98,42 = 49,21$
Ток начало торможения.	$I_{Rm1} = 0,5 \cdot Id >$	$0,5 \cdot 0,65 = 0,325$
Ток небаланса при малых токах КЗ	$I_{*НБ} \geq \left(\frac{K_{ОДН} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon_* +}{+\Delta U_{*РПН} + \Delta U_{*ПБВ}} \right) \cdot 2I_{*Б}$ $I_{*Б} = \frac{I_{БАЗ}}{I_{БАЗ}}$	$(1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,16 + 0,05 + 0,05) \cdot 2 = 0,72$
Ток торможения при малых токах	$I_{Rm2} = 2 \cdot I_{*Б}$ $I_{*Б} = \frac{I_{БАЗ}}{I_{БАЗ}}$	2

Продолжение таблицы 17

Характеристика параметров	Обозначение и расчетная формула	Числовое значение для обмоток
Коэффициент торможения второго участка (первой наклонной характеристики).	$m_1 \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{*НБ} - Id}{0,5 \cdot \sum I_R - I_{Rm1}};$ $m_1 \geq \frac{I_{ДИФ}}{I_{ТОРМ}};$	$\frac{2 \cdot 0,72 - 0,65}{0,5 \cdot (2 + 2) - 0,325} = 0,4716$
Принятый m1	$m_1 \approx (0,2 \div 1,5)$	0,4
Ток небаланса при больших внешних токах К.З (второй наклонной характеристики).	$I_{*НБ} \geq (K_{ОДН} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon_* + \Delta U_{*РПН}) \cdot I_{*К};$ $I_{*К} = \frac{I_{к}^{(3)} \max}{I_{БАЗ}} = \frac{1813}{98,42} = 18,42;$	$(1 \cdot 2 \cdot 0,1 + 0,16 + 0,05 + 0,05) \cdot 18,42 = 8,47$
Коэффициент торможения третьего участка (второй наклонной характеристики).	$m_2 \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{*НБ} - I_{d.m2}}{0,5 \cdot \sum I_R - I_{Rm2}};$ $m_2 \geq \frac{I_{ДИФ}}{I_{ТОРМ}};$	$\frac{2 \cdot 8,47 - 1,2}{18,42 - 2} = 0,959$
Принятый коэффициент торможения второго участка.	$m_2 \approx (0,4 \div 1,5),$	1
Уравнения характеристики срабатывания участков		
I	$Id > I,$	$0,5 \cdot 98,42 = 49,21$
II	$m_1 \cdot I_{Rm1(2)} + Id > \cdot (1 - 0,5m_1),$	$0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,65 + 0,65 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,4) = 0,5$ $0,4 \cdot 2 + 0,5 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,4) = 0,65$
III	$m_2 \cdot I_{Rm3} + Id > \cdot (1 - 0,5m_1) + I_{Rm2} \cdot (m_1 - m_2).$	$1 \cdot 4,8392 + 0,65(1 - 0,5 \cdot 0,4) +$ $+ 2 \cdot (0,4 - 1) = 4,8392 + 0,13 - 1,2 = 3,7692$

При 2-х фазном КЗ на выводах 35кВ:

$$K_{ч} = \frac{I_{к}^{(2)} \min / I_{БАЗ}}{Id, m_2 > + m_2 \cdot (0,5 \cdot \sum I_R - I_{Rm2})} \geq 2. \quad (61)$$

$$K_{ч} = \frac{6610 / 316,66}{0,65 + 1 \cdot (0,5 \cdot 10,52 - 2)} = 5,34 \geq 2.$$

При 2-х фазном КЗ на стороне 10кВ:

$$K_{ч} = \frac{I_{к}^{(2)}_{\text{мин}} / I_{\text{БАЗ}}}{I_{d, m1} > +m1 \cdot (0,5 \cdot \sum I_R - I_{Rm1})} \geq 2. \quad (62)$$

$$K_{ч} = \frac{740 / 316,66}{0,5 + 0,4 \cdot (0,5 \cdot 2,104 - 0,325)} = 2,96 \geq 2.$$

Условия проверки основных защит трансформаторов ГПП-35/10 кВ выполняются. Расчет резервных защит понижающего трансформатора ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти) представлен в форме таблицы 18.

Таблица 18 – Расчет резервных защит понижающего трансформатора ГПП-35/10 системы электроснабжения ООО «Фитнес Фуд»

Защита	Расчетная формула	МП
МТЗ ВН тра	$I \square K_{отс} \cdot (0,7 \cdot K_{сзн} + I_{ном} + 0,7 \cdot I_{ном})$	$1,15 \cdot (0,7 \cdot 1,3 \cdot 98,42 + 0,7 \cdot 98,42) = 182,22$
	$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{тт} \cdot K_B}$	$I_{ср} = \frac{182,22}{0,95 \cdot 30} = 6,39 A$
	Принятая уставка реле	Тип реле: МІСОМ Р437 $I_{ср} = 6,4 A; t = 1,7 c$
	$K_{ч.осн} = \frac{I_{к}^{(2)} \min(K2)}{I_{сз}}$	$K_{ч.осн} = \frac{3350}{30 \cdot 6,4} = 17,44 > 1,5$
	$K_{ч.рез} = \frac{I_{к}^{(2)} \min(K3)}{I_{сз}}$	$K_{ч.рез} = \frac{17890 \cdot 0,4}{30 \cdot 6,4 \cdot 37} = 1,01 < 1,2$
МТЗ НН тра	$I \square 0,7 \cdot K_{сзн} \cdot I_{ном} + 0,7 \cdot I_{ном}$	$0,7 \cdot 1,2 \cdot 346,8 + 0,7 \cdot 346,8 = 534,07$
	$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{тт} \cdot K_B}$	$I_{ср} = \frac{534,07}{0,95 \cdot 120} = 4,68 A$
	Принятая уставка реле	Тип реле: МІСОМ Р437 $I_{ср} = 4,7 A; t = 1,4 c$
	$K_{ч.} = \frac{I_{к}^{(2)} \min(K2)}{I_{сз}}$	$K_{ч.осн} = \frac{3350}{120 \cdot 4,7} = 5,94 > 1,5$

Продолжение таблицы 18

Защита	Расчетная формула	МП
Защита от перегрузок	$I = \frac{K_{отс} \cdot I_{ном}}{K_B}$	$\frac{1,05 \cdot 346,8}{0,95} = 383,31$
	$I_{cp} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{тт} \cdot K_B};$	$I_{cp} = \frac{383,31}{0,95 \cdot 120} = 3,63 A$
	Принятая уставка реле	Тип реле: MICOM P437 $I_{cp} = 3,7 A; t=9 \text{ сек.}$

3.2 Расчёт релейной защиты вводных и секционных присоединений

Для обеспечения защиты вводных и секционного выключателей системы электроснабжения ООО «Фитнес Фуд» к установке принимается терминал релейной защиты типа Seram 1000+ S82 с трансформаторами тока ТОЛ-10 с коэффициентом трансформации 600/5. Трансформаторы тока соединяются в полную звезду.

Максимальный рабочий ток секционного выключателя:

$$I_{\text{макс.раб}} = k_{сзн} \cdot I_{\text{ном.тр}}, A. \quad (63)$$

$$I_{\text{макс.раб}} = 1,3 \cdot 346,8 = 450,84 A.$$

Определяется ток срабатывания МТЗ СВ от максимального тока нагрузки и снижения напряжения до $0,6U_{\text{ном}}$ по формуле:

$$I_{C3} = \frac{k_{отс}}{k_{в}} \cdot 0,7 \cdot I_{\text{ном}}, A. \quad (64)$$

$$I_{C3} = \frac{1,1}{0,935} \cdot 0,7 \cdot 346,8 = 285,6 A.$$

Действие защиты выполняется на отключение с выдержкой времени 0,8 с. Проверяется чувствительность защиты по выбранной уставке:

$$K_{ч.осн} = \frac{I_{КЗ.мин.К2}^2}{I_{ср}} > 1,5. \quad (65)$$

$$K_{ч.осн} = \frac{3350}{290} = 11,55 > 1,5.$$

$$K_{ч.рез} = \frac{I_{КЗ.мин.К3}^2}{I_{ср}} > 1,2. \quad (66)$$

$$K_{ч.рез} = \frac{17890 \cdot 0,4}{290 \cdot 10,5} = 2,35 > 1,2.$$

Чувствительность защиты обеспечивается. Предусматривается ускорение МТЗ при включении выключателя на КЗ с действием на отключение выключателя с выдержкой времени 0,2 с. В качестве основной защиты предусматривается логическая защита шин с действием на отключение с выдержкой времени 0,2 сек. и блокировкой при срабатывании МТЗ отходящих линий и пуском по снижению напряжения.

Максимальный рабочий ток вводного выключателя:

$$I_{макс.раб} = 0,7 \cdot I_{ном.тр} + 0,7 \cdot k_{сзн} \cdot I_{ном.тр}, A. \quad (67)$$

$$I_{макс.раб} = 0,7 \cdot 346,8 + 0,7 \cdot 1,3 \cdot 346,8 = 558,35 A.$$

Определяется ток срабатывания МТЗ ВВ от максимального тока нагрузки и снижения напряжения до $0,6U_{ном}$ по формуле:

$$I_{СЗ} = \frac{k_{отс}}{k_{в}} \cdot I_{ном}, A. \quad (68)$$

$$I_{C3} = \frac{1,1}{0,935} \cdot 346,8 = 408,4.$$

Действие защиты выполняем на отключение с выдержкой времени 1,1 с.
Проверяется чувствительность защиты по выбранной уставке:

$$K_{ч.осн} = \frac{I_{К3.мин.К2}^2}{I_{ср}} > 1,5. \quad (69)$$

$$K_{ч.осн} = \frac{3350}{410} = 8,17 > 1,5.$$

$$K_{ч.рез} = \frac{I_{К3.мин.К3}^2}{I_{ср}} > 1,2. \quad (70)$$

$$K_{ч.рез} = \frac{17890 \cdot 0,4}{410 \cdot 10,5} = 1,66 > 1,2.$$

Предусматривается ускорение МТЗ при включении выключателя на короткое замыкание с действием на отключение выключателя с выдержкой времени 0,2 с. В качестве основной защиты предусматривается логическая защита шин с действием на отключение с выдержкой времени 0,2 с и блокировкой при срабатываниях МТЗ отходящих линиях, МТЗ секционного выключателя и пуском по снижению напряжения. В качестве пускового органа АВР используется защита минимального напряжения при снижении напряжения на секции шин до $0,5U_{ном.}$ с выдержкой времени 0,5 с, также предусматривается блокировка пуска ЗМН при пуске МТЗ по току.

Выводы по разделу 3.

В разделе проведён расчёт и проверка выбранных уставок токовых защит силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ, а также секционного и вводных выключателей. Все выбранные РЗА выполнены на базе терминалов релейной защиты типа Seram и MICOM.

4 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии на предприятии

Производится выбор системы учёта и контроля электроэнергии на предприятии ООО «Фитнес Фуд».

В системе электроснабжения указанного предприятия контроль за режимом работы основного и вспомогательного оборудования осуществляется как с помощью традиционных технических средств (контрольно-измерительных приборов), так и с помощью программно-технических комплексов, которые в последние годы полностью вытеснили устаревшие индукционные и электромагнитные системы, обладающие значительными преимуществами перед ними, состоящие и выражающиеся в простоте, надёжности, компактности, работоспособности, экономичности и экологичности [19].

Именно поэтому в результате модернизации принимается к внедрению в предприятии ООО «Фитнес Фуд» «автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии» (АИISKУЭ) «Пирамида-2» (Российская Федерация).

АИISKУЭ «Пирамида-2» была разработана на ОАО «Арзамасский приборостроительный завод имени Пландина» ведущим коллективом энергетиков, программистов и экономистов.

Таким образом, исходя из приведённой информации, установлено, что на сегодняшний день АИISKУЭ «Пирамида-2» является одной из лучших разработок на отечественном рынке.

Структура АИISKУЭ «Пирамида-2», выбранная для установки в системе электроснабжения предприятия ООО «Фитнес Фуд», представлена на рисунке 8.



Рисунок 8 – Структура АИИСКУЭ «Пирамида-2», выбранная для установки в системе электроснабжения предприятия ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти)

Такая система обеспечивает полный контроль и учёт как поступающей, так и потребляемой электроэнергии, что также позволяет контролировать и вести учёт не только электроэнергии и параметров системы, но и потерь электроэнергии в системе электроснабжении объекта. Кроме того, в такой АИИСКУЭ «Пирамида-2» можно устанавливать лимиты потребления электроэнергии. Питание АИИСКУЭ «Пирамида-2» осуществляют трансформаторы тока, через которые в сеть и на выводы поступает нормированный допустимый рабочий ток системы [9].

Также система АИИСКУЭ контролирует параметры РЗА, телеуправления и сигнализации [2]. Следует уделить особое внимание подготовке персонала, так как от его квалификации будет зависеть

«человеческий фактор» при передаче и сборе базы данных по объектам предприятия. Информация, которая вводится для расчетов, условно подразделяется на категории:

- обязательная (должна задаваться обязательно);
- необязательно 1 рода (может не задаваться, будет рассчитана программой, но возможно значительное искажение результата);
- необязательная 2 рода (может не задаваться, будет рассчитан программой, возможно незначительное искажение результата).

То есть программа будет давать значительную погрешность при работе с малым набором данных, что является ее существенным недостатком.

Кроме того, максимальное и минимальное значение суммарной нагрузки берется по сети в целом, что вносит свою погрешность при расчете определенного участка сети. Также данная система имеет следующие минусы и недостатки:

- не учитывается увеличение потерь от нагрева проводов и кабелей, изменение эквивалентного сопротивления в зависимости от температуры воздуха;
- часто нужен дополнительный расчёт отпусков абонентам на напряжении до 1 кВ в виду «торможения» программы при имеющемся большом объеме чисел либо многослойной задаче со многими неизвестными;
- программа ограничена лимитом расчета: в данных, например, должно быть не более 500 фидеров, 120 линий;
- программа позволяет более точно рассчитывать потери в фидерах, имеющих учет в «голове» (в начале), для других случаев расчеты более сложные и имеют большую погрешность;
- при проверочном расчёте, сумма базовых потоков степеней напряжения может не равняться суммарному базовому потоку, в виду «застревания» программы на расчёте потерь в многочисленных узлах и ветвях (при наличии таковых).

- в программе учтено только влияние температуры, при этом берутся среднестатистические данные за последние годы (в лучшем случае). Другие метеоусловия не учитываются.

Базовым для прогнозирования является годовой расчет.

Базовым потоком для базового и расчетного годов является поступление в сеть. В программе заложено два алгоритма. Первый алгоритм использует две величины – базовый поток за базовый год и базовый поток за расчетный период (месяц или квартал). Отмечается лучшее использование второго, более сложного алгоритма, где базовые потоки делятся по уровню напряжения. Причем на напряжение 0,38-35 кВ можно брать для каждой ступени как базовый поток одну и ту же величину – суммарное поступление в сеть. Результаты расчета могут заноситься в архив, например, для дальнейшего суммирования по подразделениям для расчета норматива объединения или расчета суммарного норматива за прошедший период с нарастающим итогом с учетом результатов данного расчета. Не взирая на приведённые недостатки, данное программное обеспечение АИИСКУЭ «Пирамида-2» хорошо зарекомендовало себя при работе в сетях выше 1 кВ.

Таким образом, выбранная система АИИСКУЭ «Пирамида-2» характеризуется надёжностью, экономичностью, точностью, экологичностью и безопасностью, а также удобством эксплуатации [14]. В виду этого, она может быть рекомендована к установке на объекте исследования (в СЭС предприятия) с целью обеспечения контроля, учёта и управления электроснабжением и техническими параметрами электрических сетей.

Выводы по разделу 4.

На основе расчётных и аналитических данных, для установки в системе электроснабжения предприятия выбрана АИИСКУЭ «Пирамида-2», которая имеет значительные преимущества перед аналогичными разработками.

Заключение

В результате выполнения работы проведена разработка проекта модернизации системы электроснабжения предприятия по производству спортивного и диетического питания ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти).

В работе было приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения предприятия, которое является одним из флагманов отечественного производства продуктов диетического и спортивного питания.

Обусловлена актуальность выбора темы с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей. Проведено описание существующей системы электроснабжения объекта проектирования с указанием проблем, которые имеют место и требуют решения в работе (в частности, модернизации оборудования питающей сети предприятия, а именно – главной понизительной подстанции объекта проектирования).

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения предприятия, в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 35 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ и двумя силовыми трансформаторами.

Рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном и минимальном режиме работы системы электроснабжения предприятия.

На основании полученных результатов установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти), на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/35/10). Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС объекта проектирования (всего предусмотрено четыре ЦТП-10/0,4 кВ). Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения

предприятия для питающих ВЛ-35 кВ принята марка инновационного провода HVCRC-148 с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{don} = 450$ А. Для питания всех ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей АСШв-10(3×50).

Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ системы электроснабжения объекта проектирования:

- в ЗРУ-35 кВ – выключатели высокого напряжения ВВН-СЭЩ-П-35 УХЛ1, разъединители РДЗ – 35/1000 У1 с одним и двумя заземляющими ножами-контактами, ограничители перенапряжения ОПН-У/TEL 35/40,5 УХЛ1, трансформаторы тока ТГФМ-35-У3;
- в РУ-10 кВ: выключатели высокого напряжения вводные и секционный ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48, выключатели линейные ВВ/TEL-10-20-630-У2-48, ограничители перенапряжения ОПН-РС/TEL 6/7,6 УХЛ1, трансформаторы напряжения НАМИ-10-95 и трансформаторы тока ТПК-10-У3.

Выбраны трансформаторы собственных нужд марки ТМ-25/10.

Проведён расчёт и проверка выбранных уставок токовых защит силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ, а также секционного и вводных выключателей. Все выбранные устройства РЗА выполнены на базе терминалов релейной защиты типа Seram и MICOM. На основе расчётных и аналитических данных, для установки в системе электроснабжения предприятия, выбрана АИИСКУЭ «Пирамида-2», которая имеет значительные преимущества перед аналогичными разработками.

Таким образом, на основании проведённых расчётов и полученных результатов, установлено, что модернизированная система электроснабжения ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти) отвечает всем критериям по надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности.

Список используемых источников

1. АИИСКУЭ «Пирамида-2.0». [Электронный ресурс]: URL: <https://simenergo.com/catalog/askue/sicon/po/pyramida20/> (дата обращения: 15.03.2023).
2. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 15.03.2023).
3. Иванов А.А. Модернизация промышленных предприятий на базе современных систем автоматизации и управления. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 384 с.
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
5. Неизолированные провода воздушных линий электропередачи: проблема выбора (аналитический обзор). [Электронный ресурс]: URL: <https://mobile.ruscable.ru/article/1326/> (дата обращения: 15.03.2023).
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
7. ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти). [Электронный ресурс]: URL: <https://www.fitnes-food.com/> (дата обращения: 15.03.2023).
8. Организация ООО «Фитнес Фуд» (г. Тольятти). [Электронный ресурс]: URL: <https://sbis.ru/contragents/6324078738/632401001> (дата обращения: 15.03.2023).
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.

11. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.
12. Роголев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.
13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
14. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.
15. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.
16. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 384 с.
17. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2018. 368 с.
18. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с.
20. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2018. 596 с.