

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 Реконструкция электрической части системы собственных нужд атомной
электрической станции мощностью 4000 МВт

Обучающийся

И. А. Кириченко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Кретов Д.А.

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

Тольятти 2023

Аннотация

В работе проведена реконструкция электрической части участка системы собственных нужд атомной электрической станции мощностью 4000 МВт, которая обусловлена внедрением новых потребителей в систему собственных нужд атомной электростанции.

В результате проведения исследований, проведено описание и анализ электрической части системы собственных нужд атомной электрической станции мощностью 4000 МВт на примере Балаковской АЭС.

Исходя из полученных результатов, обоснованы и предложены мероприятия по реконструкции участка системы собственных нужд объекта, в результате чего выбраны и проверены трансформаторы собственных нужд, проводники, электрические аппараты, а также система прибора учёта и контроля электроэнергии на объекте проектирования.

На основании проведённого расчёта электрических нагрузок, с учётом рассчитанных значений максимальных токов короткого замыкания в энергосистеме, осуществлена проверка принятых в работе технических решений.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской, а также графической частью, выполненной с непосредственным применением графического редактора AutoCAD.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходная характеристика системы собственных нужд атомной электростанции.....	6
1.1 Характеристика схемы и оборудования атомной электростанции.....	6
1.2 Характеристика схемы и оборудования системы собственных нужд атомной электростанции	8
1.3 Описание и исходная характеристика схемы и оборудования участка системы собственных нужд	12
2 Реконструкция электрической части участка собственных нужд атомной электрической станции.....	16
2.1 Расчётных электрических нагрузок участка собственных нужд	16
2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции собственных нужд	20
2.3 Выбор и проверка проводников	23
2.4 Расчёт токов короткого замыкания.....	28
2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения участка собственных нужд.....	33
3 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии в системе собственных нужд атомной электрической станции.....	44
Заключение	50
Список используемых источников.....	53

Введение

Учебное проектирование является эффективным средством к общему ознакомлению с оборудованием подстанций (станций), схемами их выполнения, а также решением практических задач по проектированию (реконструкции, модернизации) объектов энергетики.

В данной работе особое внимание уделяется реконструкции системы собственных нужд (СН) атомной электростанции (АЭС).

Система собственных нужд атомных электростанций (ССН АЭС) – это комплекс оборудования и систем, который обеспечивает надежное и бесперебойное функционирование всех систем и устройств на атомных электростанциях.

ССН АЭС состоит из различных систем, таких как система питания, система охлаждения, система водоподготовки, система кондиционирования воздуха, система пожаротушения, система обеспечения безопасности, система управления и многие другие.

Эти системы и оборудование используются для обеспечения нужд АЭС, таких как электроснабжение, охлаждение, водоснабжение, вентиляция и прочие аналогичные потребители.

ССН АЭС также включает в себя системы, которые необходимы для обеспечения безопасности и предотвращения аварийных ситуаций, такие как система аварийного охлаждения, система аварийного питания, система защиты реактора и др. Эти системы работают автономно и гарантируют безопасность на АЭС в любых условиях.

ССН АЭС является важным элементом системы безопасности на атомных электростанциях, который обеспечивает надежность, безопасность и бесперебойную работу АЭС.

Он предназначен для обеспечения собственных нужд АЭС и гарантирует, что все системы и устройства на АЭС работают эффективно и безопасно.

Основной целью работы является реконструкция электрической части участка системы собственных нужд атомной электрической станции мощностью 4000 МВт на примере Балаковской АЭС, которая обусловлена внедрением новых потребителей на данном участке системы собственных нужд атомной электростанции.

Объектом исследования является электрическая часть участка системы собственных нужд Балаковской АЭС.

Предметом исследования выступают схема электрических соединений участка системы собственных нужд объекта исследования, а также проводники питающей и распределительной сети и электрические аппараты, необходимые для их защиты.

Работа актуальна, так как позволяет повысить показатели надёжности не только системы собственных нужд, но и всей Балаковской АЭС и энергосистемы в целом.

В результате проведения исследований, проведено описание и анализ электрической части системы собственных нужд Балаковской АЭС.

Исходя из полученных результатов, обоснованы и предложены мероприятия по реконструкции участка системы собственных нужд объекта, в результате чего выбраны и проверены трансформаторы собственных нужд, проводники, электрические аппараты, а также система прибора учёта и контроля электроэнергии на объекте проектирования.

На основании проведённого расчёта электрических нагрузок, с учётом рассчитанных значений максимальных токов короткого замыкания в энергосистеме, осуществлена проверка принятых в работе технических решений.

Все принятые решения в работе должны быть подтверждены практическими расчётами и проверками.

1 Исходная характеристика системы собственных нужд атомной электростанции

1.1 Характеристика схемы и оборудования атомной электростанции

Атомная электростанция Балаковская (БалАЭС) находится на левом берегу Саратовского водохранилища, всего в 8 км от города Балаково в Саратовской области.

Она является крупнейшей атомной электростанцией в России по производству электроэнергии, производя более 30 млрд кВт·ч ежегодно.

Это составляет четверть производства электроэнергии в Приволжском федеральном округе и пятую часть выработки всех атомных электростанций в России.

БалАЭС занимает 51-е место среди крупнейших электростанций всех типов в мире.

Первый энергоблок БалАЭС был включен в Единую энергосистему СССР в декабре 1985 года. Четвертый блок стал первым, который был введен в эксплуатацию в России после распада СССР в 1993 году.

Филиалом концерна ОАО «Концерн Росэнергоатом» является Балаковская АЭС, на которой трудятся более 3770 человек, более 60% из которых имеют высшее или среднее профессиональное образование.

Атомная электростанция Балаковская (БалАЭС) расположена на левом берегу Саратовского водохранилища. Она находится в 8 км от города Балаково и в 150 км от областного центра, города Саратова.

Техническое водоснабжение, необходимое для работы водо-водяных энергетических реакторов, осуществляется по замкнутой схеме, используя водохранилище-охладитель, созданный путем отсечения дамбами мелководной части Саратовского водохранилища.

На Балаковской АЭС эксплуатируются четыре энергоблока, каждый из которых содержит реактор типа ВВЭР-1000. Этот реактор, имеющий

мощность 1000 мегаватт, работает на тепловых нейтронах и использует легкую воду в качестве замедлителя и теплоносителя.

В мире ВВЭР-1000 является наиболее распространенным типом реакторной установки, а зарубежный аналог этого типа носит аббревиатуру «PWR».

Каждый энергоблок на Балаковской АЭС представляет собой моноблок, состоящий из реакторного и турбинного отделений. Для обеспечения бесперебойного электропитания каждого энергоблока используется три независимых резервных дизельных электрических станции типа АСД-5600. Мощность каждой из этих РДЭС составляет 5,6 мегаватта.

Каждый блок на Балаковской АЭС использует двухконтурную технологическую схему, где первый контур является радиоактивным. В этот контур входит водо-водяной энергетический реактор с тепловой мощностью 3000 МВт и четыре циркуляционные петли охлаждения. Через активную зону теплоноситель, являющийся водой под давлением 16 МПа, прокачивается с помощью главных циркуляционных насосов.

Из электрической части, на Балаковской АЭС есть следующие распределительные устройства и оборудование:

- четыре турбогенератора;
- повышающие (блочные) трансформаторы – по два блока на один генератор (всего – восемь блочных трансформаторов);
- распределительное устройство 220 кВ;
- распределительное устройство 500 кВ;
- система собственных нужд генераторных блоков;
- система собственных нужд распределительных устройств 220 кВ и 500 кВ;
- резервная система собственных нужд;
- автотрансформатор связи 220/500 кВ.

Схема главных электрических соединений Балаковской АЭС представлена на рисунке 1.

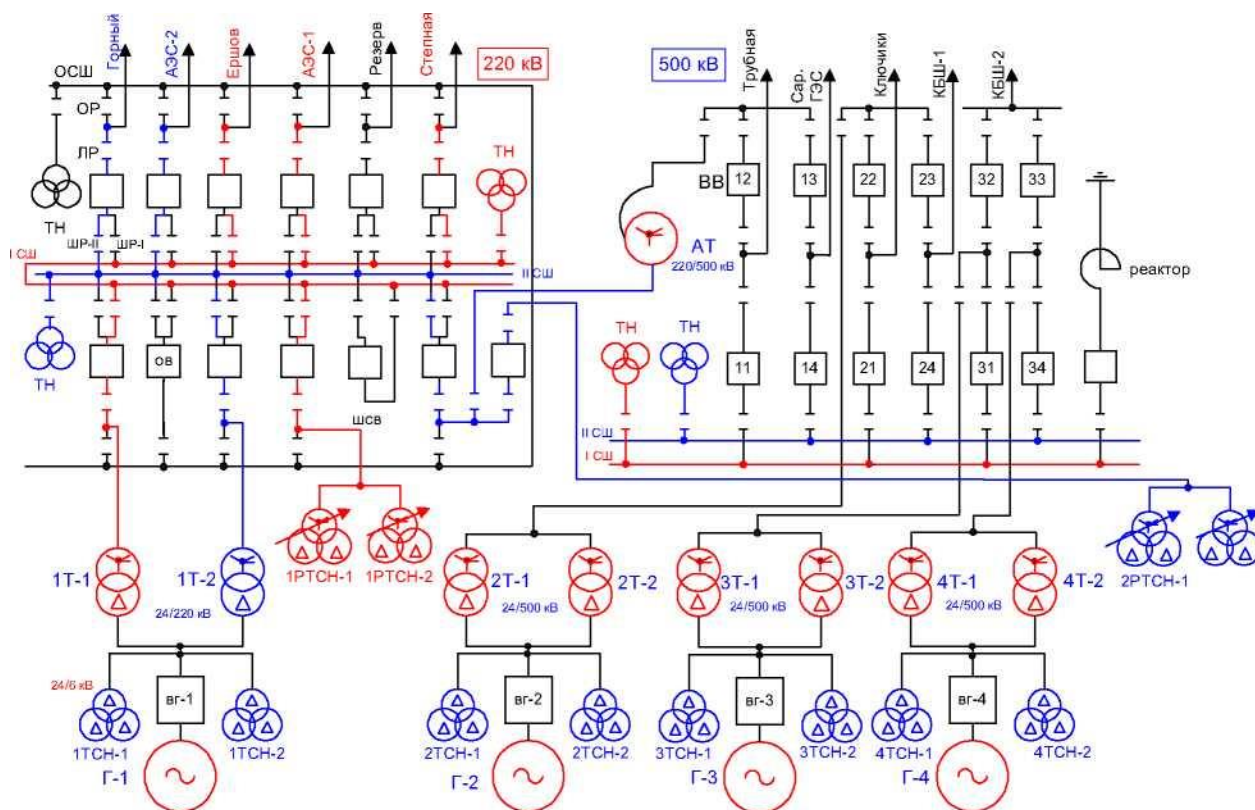


Рисунок 1 – Схема главных электрических соединений Балаковской АЭС

Исходя из краткой приведённой информации по объекту, с учётом рассмотренной схемы главных электрических соединений Балаковской АЭС, далее в работе проводится характеристика и анализ системы собственных нужд объекта проектирования.

1.2 Характеристика схемы и оборудования системы собственных нужд атомной электростанции

Система собственных нужд АЭС включает в себя различные системы и оборудование, которые необходимы для обеспечения нормальной работы электростанции.

Это могут быть системы электроснабжения, водоснабжения и водоотведения, системы кондиционирования и вентиляции, системы пожаротушения, системы контроля и управления, системы связи и диспетчерского управления, а также другое технологическое и необходимое оборудование.

Кроме того, в систему собственных нужд АЭС могут входить медицинские и лабораторные учреждения, жилые здания для персонала, склады и технические помещения.

Исходя из анализа схемы главных электрических соединений Балаковской АЭС, установлено, система собственных нужд данной атомной электрической станции состоит из следующих основных составляющих:

- система собственных нужд генераторных блоков;
- система собственных нужд распределительных устройств 220 кВ и 500 кВ;
- резервная система собственных нужд.

Структурная схема питающей сети 6 кВ системы собственных нужд Балаковской АЭС, представлена в работе на рисунке 2.

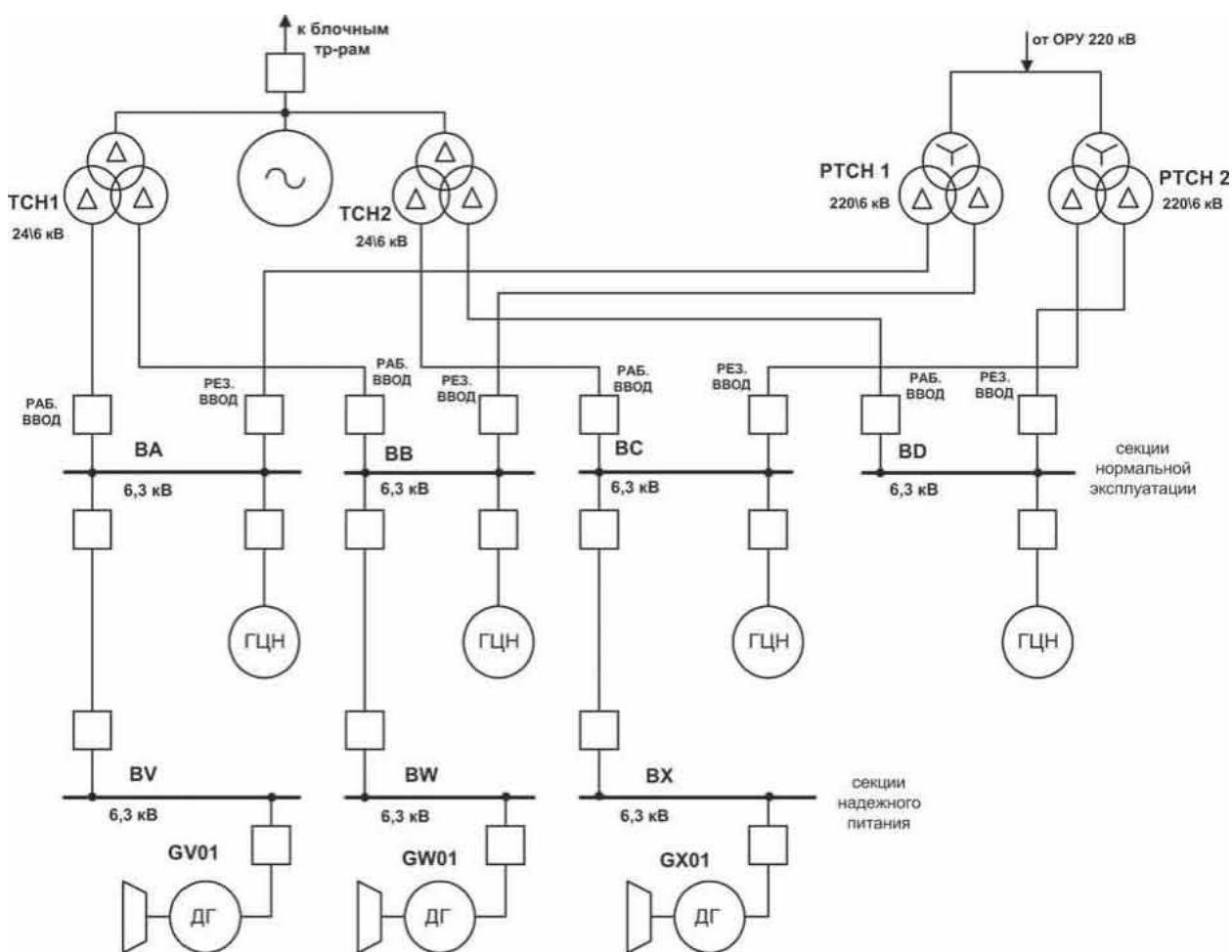


Рисунок 2 – Структурная схема питающей сети 6 кВ системы собственных нужд Балаковской АЭС

Далее, от питающей сети на напряжении 0,38/0,22 кВ, через силовые понижающие трансформаторы собственных нужд (ТСН), получают питание потребители СН.

Таким образом, для питания основной части потребителей системы собственных нужд Балаковской АЭС, используется напряжение 6 кВ.

Исключение составляют высоковольтные электродвигатели, которые входят в систему собственных нужд АЭС и используются для привода различных механизмов и агрегатов, таких как насосы, вентиляторы, компрессоры и прочих аналогичных механизмов.

Двигатели работают от электросети высокого напряжения и имеют высокую энергоэффективность. Для защиты двигателей от перегрузок и коротких замыканий применяются специальные реле и выключатели. Кроме того, высоковольтные двигатели могут использоваться для аварийного запуска генераторов электростанции в случае потери внешнего питания.

Как правило, потребители системы собственных нужд по назначению делятся на три категории согласно надёжности и условия технологического процесса.

При этом к I категории относится наиболее важное оборудование, которое не должно аварийно отключаться и иметь минимум два независимых источника питания. Из первой категории выделяют группу особой категории, которая отвечает за электроснабжение важнейших механизмов на Балаковской АЭС, поэтому должна иметь ещё и дополнительный (третий) источник бесперебойного питания.

Важнейшим оборудованием системы собственных нужд АЭС являются дизель-генераторы (ДГУ) и резервные аккумуляторные батареи. ДГУ обеспечивают аварийное питание электрооборудования АЭС в случае отключения основного и резервного питания. Резервные аккумуляторные батареи используются для обеспечения питания систем управления, автоматики и защиты в случае отключения электроснабжения, а также для пуска и запуска ДГУ.

Также к важнейшему оборудованию системы собственных нужд АЭС можно отнести систему охлаждения, системы вентиляции, системы противопожарной защиты и систему подачи воды в реакторы.

Потребители СН II категории надёжности, обеспечивают питание ответственных, но менее важных устройств и механизмов. К таким объектам на территории Балаковской АЭС относятся лаборатории контроля и измерений, резервная система питания, и прочие механизмы.

Менее важные потребители II категории надёжности собственных нужд АЭС могут включать в себя различные устройства и оборудование, такие как насосы для водоснабжения и охлаждения, компрессоры для сжатия воздуха, системы вентиляции и кондиционирования воздуха, системы освещения и автоматического управления, а также системы контроля и диагностики оборудования. Все эти устройства и оборудование играют важную роль в обеспечении эффективной и безопасной работы АЭС.

Кроме того, к таким потребителям, как правило, в последнее время относят и складские помещения АЭС.

Как было указано ранее, питание распределительной системы потребителей СН на территории Балаковской АЭС, возможно с использованием двух схем:

- напрямую от шин 6 кВ питающей системы СН;
- с использованием понижающих трансформаторов 6/0,4 кВ, получающих питание от питающей системы СН.

Первый вариант схемы применяется для конечных потребителей СН с напряжением 6 кВ, второй вариант используется для питания потребителей СН напряжением 0,4 кВ.

Таким образом, в работе проведено описание и разделение на категории надёжности потребителей системы собственных нужд Балаковской АЭС.

С учётом данной информации, далее в работе приводится описание и характеристика участка системы собственных нужд, которая подлежит реконструкции в данной работе.

1.3 Описание и исходная характеристика схемы и оборудования участка системы собственных нужд

Далее в работе необходимо провести описание и исходную характеристику схемы и оборудования участка системы собственных нужд Балаковской АЭС, с конечной постановкой проблемы и путями её решения.

В работе рассматривается участок системы собственных нужд Балаковской АЭС, который относится ко II категории надёжности. Таким образом, оборудование на рассматриваемом участке не относится к важнейшему или к особой группе надёжности.

Всё оборудование рассматриваемого участка системы собственных нужд Балаковской АЭС, работает на напряжении 0,338/0,22 кВ и получает питание от трансформаторной подстанции собственных нужд (ТПСН).

ТПСН выполнена в виде подстанции закрытого типа с герметичным исполнением и применением комплектных распределительных устройств напряжением 6 кВ (шкафы КРУ) и 0,4 кВ (шкафы НН).

На ТПСН установлены два силовые трансформатора сухого типа марки ТСГЛ-630/6. Такие трансформаторы, в отличие от масляных трансформаторов, более безопасны в плане пожаро- и взрывоопасности. Поэтому их применение на ТПСН обосновано.

В схеме ТПСН применяется необходимая степень резервирования с питанием от двух независимых источников питания. Секционный автомат на стороне 0,4 кВ в нормальной схеме отключён, включаясь автоматически под действием автоматического включения резерва (АВР), таким образом, питая потребители секции сборных шин 0,4 кВ, оставшейся без питания.

От ТПСН-6/0,4 кВ рассматриваемого участка системы собственных нужд Балаковской АЭС получают питание следующие потребители лабораторий. Далее проводится их краткое описание. Лаборатории на АЭС предназначены для обеспечения проведения необходимых анализов и

контроля качества материалов, топлива, воды, а также хранения соответствующих материалов.

На Балаковской АЭС имеются следующие лаборатории:

- лаборатория радиационного контроля (ЛРК), занимается мониторингом радиационного загрязнения внутри и вокруг АЭС, контролирует уровень радиации у персонала и оборудования.
- лаборатория химического анализа (ЛХА), отвечает за контроль качества воды, топлива, масел и других материалов, которые используются на АЭС.
- лаборатория метрологии и калибровки (ЛМК), обеспечивает калибровку и проверку точности измерительных приборов.

При этом планируется ввести в эксплуатацию новое оборудование СН, подключив его к существующей системе СН. Распределение потребителей осуществляется от щитов собственных нужд, которые получают питание от двух секций сборных шин 6 кВ ТПСН. При этом от первой секции сборных шин ТПСН получают питание такие потребители:

- ЩСН-ЛРК-1 – первый щит собственных нужд лаборатории радиационного контроля;
- ЩСН-ЛРК-2 – второй щит собственных нужд лаборатории радиационного контроля.

От второй секции сборных шин ТПСН получают питание такие потребители:

- ЩСН-ЛХА – щит собственных нужд лаборатории химического анализа;
- ЩСН-ЛМК – второй щит собственных нужд метрологии и калибровки.

Исходные данные потребителей, с указанием их установленных номинальных мощностей, получающих питание от ТПСН-6/0,4 кВ рассматриваемого участка системы собственных нужд Балаковской АЭС, представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные потребителей (включая новые), получающих питание от ТПСН-6/0,4 кВ рассматриваемого участка системы собственных нужд Балаковской АЭС

Наименование потребителя	$P_{\text{ном}}$, кВт	Существующий/ новый (РЩ)
СШ-1 6 кВ		
ЩСН-ЛРК-1		
РЩ-1	11,0	Существующий
РЩ-2	50,0	Существующий
РЩ-3	30,0	Существующий
РЩ-4	1,5	Существующий
РЩ-5	1,5	Новый
Всего по ЩСН-ЛРК-1	94,0	-
ЩСН-ЛРК-2		
РЩ-6	11,0	Существующий
РЩ-7	50,0	Существующий
РЩ-8	30,0	Существующий
РЩ-9	1,5	Существующий
РЩ-10	1,5	Существующий
РЩ-11	5,50	Новый
РЩ-12	37,0	Новый
Всего по ЩСН-ЛРК-2	136,5	-
Всего по СШ-1-6 кВ	230,5	-
СШ-2 6 кВ		
ЩСН-ЛХА		
РЩ-13	15,0	Существующий
РЩ-14	15,0	Существующий
РЩ-15	7,5	Существующий
РЩ-16	5,5	Существующий
РЩ-17	7,5	Новый
РЩ-18	1,5	Новый
РЩ-19	5,5	Новый
Всего по ЩСН-ЛХА	57,5	-
ЩСН-ЛМК		
РЩ-20	30,0	Существующий
РЩ-21	30,0	Существующий
РЩ-22	110,0	Существующий
Всего по ЩСН-ЛМК	170,0	-
Всего по СШ-2-6 кВ	227,5	-
Освещение	18,5	-
Всего по ТПСН	402,6	-

С учётом приведённых данных по оборудованию и схеме участка СН Балаковской АЭС, далее в работе решаются поставленные задачи по реконструкции схемы СН, которая обусловлена подключением новых потребителей к РЩ системы СН.

Выводы по разделу.

Для решения поставленных задач, в работе приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений Балаковской АЭС.

Рассмотрена структурная схема питающей сети 6 кВ системы собственных нужд Балаковской АЭС, а также способы питания потребителей СН от системы собственных нужд АЭС.

Проведено описание и разделение на категории надёжности потребителей системы собственных нужд Балаковской АЭС.

Осуществлено описание и характеристика участка системы собственных нужд, которая подлежит реконструкции в данной работе.

Установлено, что питание данного участка СН осуществляется от двухтрансформаторной ТПСН, на которой находятся два силовых трансформатора сухого типа марки ТСГЛ-630/6.

Определено, что данная ТПСН питает потребители лабораторий Балаковской АЭС и относится ко II категории надёжности.

Установлено, что реконструкция схемы электрических соединений ТПСН-6/0,4 кВ в работе обусловлена подключением дополнительной нагрузки на шины 0,4 кВ данной подстанции.

С учётом данных фактов, далее в работе решаются поставленные задачи по решению поставленных в работе задач.

2 Реконструкция электрической части участка собственных нужд атомной электрической станции

2.1 Расчётных электрических нагрузок участка собственных нужд

Для полного расчета электрических нагрузок участка собственных нужд необходимо выполнить следующие шаги [14]:

- определить общую потребляемую мощность участка собственных нужд. Для этого необходимо проанализировать все электроприборы и оборудование, которые используются на участке, и определить их потребляемую мощность. Сумма всех потребляемых мощностей даст общую потребляемую мощность;
- оценить максимальную мощность, которую может потреблять участок собственных нужд во время пиковых нагрузок. Для этого нужно оценить максимальную мощность, которая может потребляться, например, в течение часа, когда на участке одновременно используются все приборы и оборудование;
- рассчитать среднесуточную потребляемую мощность, которая используется на участке собственных нужд. Для этого необходимо знать, сколько времени в среднем в день используется каждый прибор или оборудование, и умножить его потребляемую мощность на время использования. Сумма всех таких расчетов даст среднесуточную потребляемую мощность;
- рассчитать годовую потребляемую мощность. Для этого нужно умножить среднесуточную потребляемую мощность на количество дней в году;
- определить необходимую мощность генератора, который будет обеспечивать электроснабжение участка собственных нужд. Необходимая мощность генератора должна быть больше или равна

максимальной мощности, которую может потреблять участок собственных нужд во время пиковых нагрузок;

- выбрать и установить генератор с необходимой мощностью;
- при необходимости, установить автоматический переключатель, который будет переключать электроснабжение на генератор в случае отключения основной электросети.

Эти шаги помогут определить необходимые электрические нагрузки для участка собственных нужд и выбрать генератор с необходимой мощностью для обеспечения электроснабжения.

Так как в работе в исходных данных заданы установленные проектные мощности электрических нагрузок электрической части участка собственных нужд атомной электрической подстанции, следовательно, большинство вопросов, которые необходимо решить при полном расчёте нагрузок, уже присутствуют в исходных данных, поэтому в работе применяется упрощённый метод расчёта электрических нагрузок объекта – «метод упорядоченных диаграмм» [17].

Алгоритм расчёта состоит в следующем: в начале определяются расчётные нагрузки всех отдельных РЩ, далее – соответствующих ЩСН, и затем – секций сборных шин 6 кВ питающей ТПСН-6/0,4 кВ, а также суммарная нагрузка самой подстанции СН.

Активная расчётная нагрузка электрической части участка собственных нужд атомной электрической станции [11]:

$$P_{p.1} = K_3 \cdot P_{уст.}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $P_{уст.}$ – номинальная паспортная мощность потребителей СН;

« K_3 – коэффициент загрузки» [6].

Реактивная расчётная нагрузка электрической части участка собственных нужд атомной электрической станции [11]:

$$Q_{p.1} = P_{p.1} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где « $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности» [8].

Полная расчётная нагрузка электрической части участка собственных нужд атомной электрической станции [11]:

$$S_{p.1} = \sqrt{P_{p.1}^2 + Q_{p.1}^2}. \quad (3)$$

Расчётный ток электрической части участка собственных нужд атомной электрической станции [11]:

$$I_{np} = \frac{S_{np}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (4)$$

где $U_{ном.}$ – «номинальное напряжение сети, кВ» [1].

«На основании известных выражений (1) – (4) для расчёта электрических нагрузок, проводится практический расчёт активной, реактивной, полной нагрузок, а также расчётного тока нагрузки нормального режима, для всех одиночных присоединений потребителей электрической части участка собственных нужд атомной электрической подстанции» [11].

На примере РЩ-1:

$$P_p = 11 \cdot 1 = 11 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 11 \cdot 1,17 = 14,63 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{11^2 + 14,63^2} = 18,3 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{18,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 28,16 \text{ А.}$$

«Аналогично проведён расчёт нагрузок остальных присоединений потребителей электрической части участка собственных нужд атомной электрической подстанции с приведением результатов в таблице 2» [10].

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок электрической части участка собственных нужд атомной электрической подстанции

Наименование потребителя	Исходные данные	Расчётные данные			
	$P_{ном, кВт}$	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
СШ-1 6 кВ					
ЩСН-ЛРК-1					
РЩ-1	11	11	14,63	18,30	28,16
РЩ-2	50	50	58,50	76,96	118,39
РЩ-3	30	30	35,10	46,17	71,04
РЩ-4	1,5	1,5	1,76	2,31	3,55
РЩ-5	1,5	1,5	1,13	1,88	2,88
Всего по ЩСН-ЛРК-1	94,0	94,0	111,11	145,54	223,91
ЩСН-ЛРК-2					
РЩ-6	11	11	14,63	18,30	28,16
РЩ-7	50	50	58,50	76,96	118,39
РЩ-8	30	30	35,10	46,17	71,04
РЩ-9	1,5	1,5	1,76	2,31	3,55
РЩ-10	1,5	1,5	1,13	1,88	2,88
РЩ-11	5,50	5,50	6,44	8,47	13,02
РЩ-12	37,00	37,00	27,75	46,25	71,15
Всего по ЩСН-ЛРК-2	136,50	136,50	145,30	199,36	306,70
Всего по СШ-1-6 кВ	230,5	230,5	256,41	344,78	530,43
СШ-2 6 кВ					
ЩСН-ЛХА					
РЩ-13	15	15	19,95	24,96	38,40
РЩ-14	15	15	17,55	23,09	35,52
РЩ-15	7,5	7,5	8,78	11,54	17,76
РЩ-16	5,5	5,5	6,44	8,47	13,02
РЩ-17	7,5	7,5	5,63	9,38	14,42
РЩ-18	1,5	1,5	1,76	2,31	3,55
РЩ-19	5,5	5,5	4,13	6,88	10,58
Всего по ЩСН-ЛХА	57,50	57,50	64,22	86,20	132,61
ЩСН-ЛМК					
РЩ-20	30	30	39,90	49,92	76,80
РЩ-21	30	30	35,10	46,17	71,04
РЩ-22	110	110	128,70	169,30	260,47
Всего по ЩСН-ЛМК	170	170	203,70	265,32	408,18
Всего по СШ-2-6 кВ	227,5	227,5	267,92	351,49	540,74
Всего по ТПСН	458	458	524,33	696,19	1071,1
Освещение	18,5	18,5	7,40	19,93	30,65
Всего ТПСН с освещением	476,5	476,5	531,73	714,00	1098,45

После выполнения расчета электрических нагрузок атомной электрической станции необходимо, на основании полученных значений мощности выполнить выбор и проверку трансформаторов подстанции.

2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции собственных нужд

Выбор и проверка силовых трансформаторов для подстанции собственных нужд требует внимательного анализа технических характеристик и условий эксплуатации трансформатора.

Приводятся несколько основных шагов, которые влияют на выбор и проверку силовых трансформаторов ТПСН:

- требуемые характеристики трансформатора, такие как номинальная мощность, номинальное напряжение, ток и частота;
- условия эксплуатации, такие как температура окружающей среды, влажность, высота над уровнем моря и другие факторы, которые могут повлиять на работу трансформатора;
- соответствие выбранного трансформатора требованиям стандартов и нормативных документов, таких, как приведены в [7];
- качество и надежность производителя трансформатора, а также его репутацию на рынке;
- техническую документацию на трансформатор, включая сертификаты качества и испытательные протоколы;
- испытания трансформатора, включая испытания на нагрузку, тесты на короткое замыкание и измерения параметров трансформатора;
- соответствие параметров трансформатора требованиям проектной документации и действующим нормам и стандартам;

При необходимости провести дополнительные испытания и проверки, например, на выдержку времени или на работу в условиях перегрузки.

Важно помнить, что выбор и проверка силовых трансформаторов – это сложный процесс, который требует высокой квалификации и опыта в области электроэнергетики. На питающей ТПСН-6/0,4 кВ установлены два силовых трансформатора ТСГЛ-630/6 (сухого типа). Номинальная мощность трансформатора для установки на ТПСН-6/0,4 кВ выбирается, исходя из известного условия [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p + P_{\text{ст.}}}{N\beta_T}, \text{ кВА}, \quad (5)$$

где « $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора ТПСН-6/0,4 кВ» [13];

« $S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность трансформатора, установленного на ТПСН-6/0,4 кВ» [13];

« P_p – суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от ТПСН-6/0,4 кВ» [13];

« $P_{\text{ст.}}$ – суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от ТПСН-6/0,4 кВ» [13].

Таким образом, для ТПСН-6/0,4 кВ участка СН АЭС:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{476,5}{2 \cdot 0,7} = 340,36 \text{ кВА}.$$

Исходя из результатов расчёта, для установки на ТПСН-6/0,4 кВ, предлагается в работе оставить два сухих силовых трансформатора марки ТСГЛ-630/6, которые на данный момент установлены на питающей подстанции СН. Суммарная активная нагрузка, приходящаяся на каждый трансформатор ТПСН-6/0,4 кВ, будет лежать в допустимых пределах, следовательно, силовые трансформаторы перегружены не будут.

Принятые трансформаторы ТПСН-6/0,4 кВ необходимо проверить в

нормальном и послеаварийном режимах работы. «Проверка выбранного типа силового трансформатора в нормальном режиме работы» [12]:

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (6)$$

«Проверка выбранных трансформаторов на ТПСН-6/0,4 кВ в нормальном режиме выполняется» [12]:

$$K_3^H = \frac{714}{630 \cdot 2} = 0,57 \leq 0,8.$$

«Проверка силового трансформатора ТПСН-6/0,4 кВ в максимальном режиме проводится по условию» [12]:

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (7)$$

«Проверка трансформаторов ТПСН-6/0,4 кВ в максимальном режиме также выполняется» [12]:

$$K_3^{n.ав} = \frac{714}{630 \cdot (2-1)} = 1,13 \leq 1,4.$$

Таким образом, в работе установлено, что находящиеся на ТПСН-6/0,4 кВ системы электроснабжения участка СН Балаковской АЭС силовые трансформаторы марки ТСГЛ-630/6, выдержат нормальную и послеаварийную нагрузки с учётом подключения дополнительных потребителей к системе электроснабжения собственных нужд данного объекта. Конструкция сухого трансформатора марки ТСГЛ-630/6 приведена в работе в графической части.

2.3 Выбор и проверка проводников

Выбор и проверка проводников для системы собственных нужд АЭС требует соблюдения строгих нормативных требований, учитывающих особенности работы и безопасности ядерной энергетики.

Приводятся несколько основных шагов, которые применяются при выборе и проверке проводников для системы собственных нужд АЭС:

- определить требуемые характеристики проводников, такие как номинальный ток, напряжение, сечение и материал проводника;
- определить условия эксплуатации, такие как температура окружающей среды, вибрации, излучение и другие факторы, которые могут повлиять на работу проводников;
- проверить соответствие выбранных проводников требованиям стандартов и нормативных документов, таких как [14], [19] и других;
- проверить качество и надежность производителя проводников, а также его репутацию на рынке;
- проверить техническую документацию на проводник, включая сертификаты качества и испытательные протоколы;
- провести испытания проводника, включая испытания на нагрузку, тесты на короткое замыкание и измерения параметров проводника;
- проверить соответствие параметров проводника требованиям проектной документации и действующим нормам и стандартам.

При необходимости провести дополнительные испытания и проверки, например, на выдержку времени или на работу в условиях высокой радиационной обстановки.

Важно помнить, что выбор и проверка проводников для системы собственных нужд АЭС – это сложный процесс, который требует высокой квалификации и опыта в области ядерной энергетики.

Далее необходимо провести выбор и проверку проводников системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС.

Исходя из рекомендаций, приведённых выше, принимается использование для питающей и распределительной сетей системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС, выполненные кабельными линиями электропередачи:

- напряжением 6 кВ: питающая кабельная линия (для питания ТПСН-6/0,4 кВ от шин РУ СН-6 кВ;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: питающая и распределительная сеть для обеспечения питания потребителей СН объекта.

Далее необходимо и важно выбрать способ прокладки (канализации) проводников.

Известно, что прокладка кабелей в системе собственных нужд АЭС является важным этапом строительства и эксплуатации АЭС, так как от правильности прокладки зависят надежность и безопасность работы системы.

При этом рекомендовано в СН применять скрытый способ прокладки кабельных линий, что значительно уменьшает вероятность пожара и взрыва.

С учётом этого, применяется несколько основных современных способов прокладки кабелей в системе собственных нужд АЭС:

- в кабельных каналах. Прокладка кабелей в кабельных каналах предусматривает прокладку кабелей в специальных каналах из бетона, железобетона или пластика, которые обеспечивают защиту от механических повреждений, коррозии и воздействия окружающей среды.
- в трубах. Прокладка кабелей в трубах предусматривает прокладку кабелей в металлических или пластиковых трубах, которые защищают кабели от воздействия окружающей среды, коррозии и механических повреждений.
- в кабельных лотках закрытого типа. Прокладка кабелей в кабельных лотках осуществляется в специальных металлических или

пластиковых лотках, которые защищают кабели от воздействия окружающей среды, коррозии и механических повреждений.

С учётом приведенной информации, в работе выбирается совмещённый способ прокладки всех кабельных линий участка системы собственных нужд Балаковской АЭС – в железобетонных блоках с применением монтажа кабелей в гибких полиэтиленовых трубах с негорючей изоляцией. Такой способ прокладки – современный, и максимально ограничивает и предотвращает вероятность возникновения пожара на АЭС.

Выбор питающей кабельной линии (для питания ТПСН-6/0,4 кВ от шин РУ СН-6 кВ осуществляется по известному критерию экономической плотности тока [3]. В связи с этим, далее в работе проводится расчёт данной линии по принятой методике [20].

«Расчётный рабочий ток линии» [7]:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (8)$$

«Максимальный расчётный ток линии» [11]:

$$I_{p.маx} = 1,4 I_{p.маx} \quad (9)$$

«Проверка кабельной линии по условию нагрева максимальным рабочим током» [11]:

$$I_{дон} \geq I_{p.маx} \quad (10)$$

где « $I_{дон}$ – длительно – допустимый ток кабеля, А» [1];

« $I_{p.маx}$ – максимальный ток участка (линии), А» [1].

«Условие выбора сечения по экономической плотности тока» [2]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{э}}}. \quad (11)$$

Расчётный ток нормального режима питающей кабельной линии:

$$I_{\text{р.}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А.}$$

Таким образом:

$$F_{\text{э}} = \frac{36,4}{1,6} = 22,7 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, для питания ТПСН-6/0,4 кВ, принимается к установке силовой кабель марки АСБл-10 (3×25) с предельным допустимым током нагрева при прокладке в земле $I_{\text{дон}}=115 \text{ А}$ » [12].

«Максимальный ток кабельной линии 6 кВ ТПСН-6/0,4 кВ» [12]:

$$I_{\text{р. max}} = 1,4 \cdot 36,4 \approx 51 \text{ А.}$$

«Условия проверки питающей кабельной линии 6 кВ ТПСН-6/0,4 кВ по условию допустимого нагрева в послеаварийном режиме выполняется» [12]:

$$90 \text{ А} \geq 51 \text{ А.}$$

«Окончательно выбирается силовой кабель марки АСБл-10 (3×25)» [15].

«Выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ для питающей сети участка системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС осуществляется по условиям допустимого перегрева (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты выбора сечения кабелей питающей сети СН

Потребитель	I_p, A	Марка силового кабеля	$I_{доп}, A$
СШ-1 6 кВ			
ЩСН-ЛРК-1	223,91	ВВГнг-LS (5×70)	237
ЩСН-ЛРК-2	306,70	ВВГнг-LS (5×120)	321
СШ-2 6 кВ			
ЩСН-ЛХА	132,61	ВВГнг-LS (5×35)	158,0
ЩСН-ЛМК	408,18	ВВГнг-LS (5×240)	468,0

Для распределительной сети выбраны четырёхжильные кабели марки ВВГнг-LS.

«Выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ для распределительной сети участка системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС представлен в форме таблицы 4» [12].

Таблица 4 – Результаты выбора сечения кабелей распределительной сети участка СН Балаковской АЭС

Наименование потребителя	I_p, A	Марка силового кабеля	$I_{доп}, A$
РЩ-1	18,30	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-2	76,96	ВВГнг-LS (4×10)	84,0
РЩ-3	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	64,0
РЩ-4	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-5	1,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-6	18,30	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-7	76,96	ВВГнг-LS (4×10)	84,0
РЩ-8	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЩ-9	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-10	1,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-11	8,47	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-12	46,25	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЩ-13	24,96	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-14	23,09	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-15	11,54	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-16	8,47	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-17	9,38	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-18	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-19	6,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-20	49,92	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЩ-21	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЩ-22	169,30	ВВГнг-LS (4×50)	196,0
ЩРО	19,930	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
ЩАО	1,99	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0

2.4 Расчёт токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания в системе собственных нужд АЭС необходим для обеспечения безопасной и надежной работы системы электроснабжения.

Расчет токов короткого замыкания в системе СН АЭС необходимо выполнять по следующему алгоритму:

- определить электрические параметры системы электроснабжения, такие как номинальное напряжение и мощность генераторов, характеристики трансформаторов и распределительных устройств;
- определить точки короткого замыкания в системе, то есть места, где возможно возникновение короткого замыкания;
- определить параметры короткого замыкания, такие как величину короткого замыкания тока, время срабатывания защитных устройств;
- рассчитать значение сопротивления в цепи короткого замыкания, включая сопротивление проводников, контактов и элементов защиты;
- рассчитать значение тока короткого замыкания, используя законы Кирхгофа и Ома;
- проверить полученные значения на соответствие действующим нормативным требованиям и стандартам;
- определить необходимые параметры защитных устройств, такие как токовые реле, предохранители и автоматические выключатели;
- проверить общую надежность и безопасность системы электроснабжения в случае возникновения короткого замыкания.

Важно помнить, что расчет токов короткого замыкания в системе собственных нужд АЭС является сложным процессом, который требует высокой квалификации и опыта в области электроэнергетики и ядерной энергетики.

«Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ТПСН-6/0,4 кВ представлена на рисунке 3» [5].

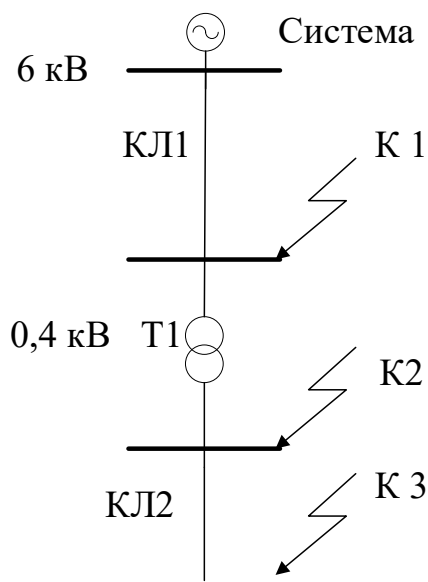


Рисунок 3 – «Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС» [5]

«Составляется также исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения собственных нужд АЭС (рисунок 4).

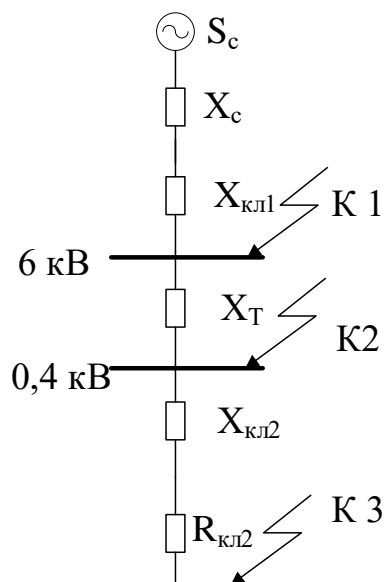


Рисунок 4 – «Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС» [5]

Принимаются базисные условия и проводится расчёт параметров схемы замещения.

«Базисная мощность» [5]:

$$S_{\bar{o}} = 630 \text{ кВА} = 0,63 \text{ МВА.}$$

«Базисное напряжение» [6]:

$$U_{\bar{o}.} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}}, \text{кВ.} \quad (12)$$

$$U_{\bar{o}.1} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{кВ.}$$

$$U_{\bar{o}.2} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{кВ.}$$

«Базисный ток» [8]:

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}}}. \quad (13)$$

$$I_{\bar{o}.1} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,03 \text{ кА.}$$

$$I_{\bar{o}.2} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,9 \text{ кА.}$$

«Сопротивление кабельных линий» [16]:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{\text{уд.}W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_B^2}. \quad (14)$$

$$X_{\text{кЛ1}} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,005 \text{ о.е.}$$

$$X_{\text{кЛ2}} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,0135 \text{ о.е.}$$

«Активное сопротивление кабельных линий» [16]:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{y\partial.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_B^2}. \quad (15)$$

$$R_{KL1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,006 \text{ о.е.}$$

$$R_{KL2} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,093 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [16]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{H.T}}. \quad (16)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,63}{0,63} = 0,0525 \text{ о.е.}$$

«Ток трёхфазного КЗ» [16]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E}{z_{\kappa 1}} \cdot I_{\bar{\sigma}}, \text{ кА.} \quad (17)$$

«Полное сопротивление цепи КЗ» [16]:

$$Z_{\Sigma \kappa 1} = \sqrt{(X_c + X_{KL1})^2 + R_{KL2}^2}. \quad (18)$$

$$Z_{\Sigma \kappa 1} = \sqrt{(0,005 + 0,005)^2 + 0,006^2} = 0,012 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,03 = 1,25 \text{ кА.}$$

«Полное сопротивление цепи КЗ до расчётной точки К2 и ток КЗ в точке К2» [16]:

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T)^2 + R_{KЛ2}^2}. \quad (19)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525)^2 + 0,006^2} = 0,062 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,062} \cdot 0,9 = 3,71 \text{ кА.}$$

Аналогично в точке К3:

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T + X_{KЛ2})^2 + (R_{KЛ1} + R_{KЛ2})^2}. \quad (20)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525 + 0,0135)^2 + (0,006 + 0,093)^2} = 0,125 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{1}{0,125} \cdot 0,9 = 1,84 \text{ кА.}$$

«Ударный ток» [16]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (21)$$

$$i_{y\partial.\kappa 1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 2,47 \text{ кА.}$$

$$i_{y\partial.\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,71 = 5,25 \text{ кА.}$$

$$i_{y\partial.\kappa 3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,84 = 2,6 \text{ кА.}$$

«Двухфазный несимметричный ток КЗ» [16]:

$$I_{\kappa}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА.} \quad (22)$$

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,25 = 1,09 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = 0,87 \cdot 3,71 = 3,23 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,84 = 1,60 \text{ кА.}$$

«Дальнейший расчет сопротивлений цепи питания КЗ и расчётов токов КЗ для других точек выполнен аналогично с приведением полученных результатов в форме таблицы 5» [16].

Таблица 5 – «Результаты расчетов токов короткого замыкания в расчётных точках системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС» [16]

Параметр	Единица измерения	Числовое значение параметра		
		Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_{к3}^{(3)}$	кА	1,25	3,71	1,84
$I_{к3}^{(2)}$	кА	1,09	3,23	1,60
$i_{уд.к}$	кА	2,47	5,25	2,60

Результаты расчета токов короткого замыкания и других параметров на шинах 6 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы ТПСН-6/0,4 кВ используются для проверки нового оборудования распределительных устройств подстанции и уставок релейной защиты силовых трансформаторов и питающих линий на стороне 6 кВ объекта.

Все мероприятия проводятся с техническим обоснованием.

2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения участка собственных нужд

Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения участка собственных нужд требует выполнения нескольких важных этапов, включающих:

- определение технических требований к аппарату, таких как номинальное напряжение, ток, мощность, частота, класс точности и другие характеристики;
- определение условий эксплуатации, включая температурные режимы, влажность, механические нагрузки и другие факторы, которые могут повлиять на работу аппарата;

- проверка соответствия выбранного аппарата нормативным требованиям и стандартам, таким как [7] и другим;
- проверка качества и надежности производителя аппарата, а также его репутации на рынке;
- проверка технической документации на аппарат, включая сертификаты качества и испытательные протоколы;
- проведение испытаний аппарата на соответствие требованиям, включая испытания на нагрузку, на температуру, на изоляцию, на воздействие механических нагрузок и другие испытания, предусмотренные стандартами и нормативами;
- проверка соответствия параметров аппарата требованиям проектной документации и действующим нормам и стандартам;
- при необходимости проведение дополнительных проверок и испытаний, например, на выдержку времени, на работу в условиях перегрузки или на работу в агрессивных условиях среды.

Важно помнить, что выбор и проверка электрических аппаратов – это сложный процесс, который требует высокой квалификации и опыта в области электротехники.

Далее в работе, на основании технических исходных данных подстанции и полученных расчётных результатов электрических нагрузок, рабочих и максимальных токов, а также токов трёхфазного КЗ, проводится непосредственный выбор и проверка основного оборудования распределительных устройств участка системы собственных нужд Балаковской АЭС.

В работе выбираются электрические аппараты напряжением 6 кВ (для установки на ТПСН-6/0,4 кВ со стороны ВН), а также аппаратура низковольтных сетей СН (для установки в РУ-0,4 кВ ТПСН-6/0,4 кВ, а также для защиты отходящих линий СН).

Выключатели высокого напряжения (ВВН) являются важным элементом системы электроснабжения собственных нужд, так как они

позволяют отключать и подключать электрические цепи высокого напряжения без прерывания работы всей системы.

ВВН выполняют в системе электроснабжения СН следующие основные функции [17]:

- разделение электрических цепей. Выключатели высокого напряжения позволяют разделять и изолировать электрические цепи в системе электроснабжения, что обеспечивает безопасность и надежность работы системы.
- отключение цепей при авариях. В случае возникновения аварии в системе электроснабжения, выключатели высокого напряжения позволяют быстро отключать поврежденные участки цепи и предотвращать дополнительные повреждения.
- обеспечение удобства обслуживания. Выключатели высокого напряжения позволяют обслуживать и ремонтировать электрические цепи без необходимости полного выключения всей системы.
- регулирование нагрузки. Выключатели высокого напряжения позволяют регулировать нагрузку в системе электроснабжения, переключая цепи на другие источники питания или отключая их при необходимости.
- управление резервными источниками питания. Выключатели высокого напряжения позволяют переключать электрические цепи на резервные источники питания в случае отключения основного источника.

Важно помнить, что правильный выбор и эксплуатация выключателей высокого напряжения являются ключевыми факторами обеспечения надежности и безопасности работы системы электроснабжения собственных нужд. Для обеспечения оптимальной работы системы необходимо проектировать, устанавливать и эксплуатировать выключатели высокого напряжения в соответствии с требованиями стандартов и нормативных документов [8].

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

– «по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (23)$$

где « $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя)» [18];

– «по максимальному рабочему току» [18]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (24)$$

где « $I_{раб.макс}$, I_n – соответственно максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя)» [18];

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

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (25)$$

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

« $I_{откн.н}$ – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА» [18];

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (26)$$

где « $i_{ат}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [18];

« β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [18];

« τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [18]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (27)$$

где « $t_{з.мин}$ – минимальное время действия релейной защиты, с» [18];

« $t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя, с» [18];

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

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (28)$$

где « $i_{нр.с}$ – 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]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (29)$$

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

« I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$ » [18];

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

«Тепловой импульс» [18]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (30)$$

Результаты выбора выключателей высокого напряжения представлены в работе в форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты выбора выключателей ТПСН-6/0,4 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Выключатели VD-4-10-20/630-У2-48	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А.}$	$I_{ном} = 630 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,25 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,47 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 32 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,25^2 \cdot 3 =$ $= 4,69 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Выбранные выключатели удовлетворяют всем требуемым условиям.

Совместно с данными выключателями в ячейках также устанавливаются ограничители перенапряжения марки ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.

Известно, что ограничители перенапряжения (ОПН) являются важным элементом системы электроснабжения собственных нужд, так как они защищают оборудование и электрические сети от повреждений, вызванных перенапряжениями.

ОПН в системе электроснабжения выполняют следующие функции:

- защита оборудования от перенапряжений. Ограничители перенапряжения защищают оборудование от повреждений, вызванных перенапряжениями, такими как напряжения, возникающие при молниях, скачки напряжения, вызванные коммутационными процессами;
- защита электрических сетей от перенапряжений. Ограничители перенапряжения защищают электрические сети от повреждений, вызванных перенапряжениями, такими как повреждения изоляции проводников, короткие замыкания;
- увеличение надежности системы электроснабжения. Ограничители перенапряжения увеличивают надежность системы

- электроснабжения, защищая оборудование и сети от повреждений, которые могут привести к отключению всей системы;
- снижение затрат на обслуживание и ремонт. Ограничители перенапряжения позволяют снизить затраты на обслуживание и ремонт системы электроснабжения, так как защищают оборудование и сети от повреждений, которые могут привести к необходимости замены или ремонта;
 - обеспечение безопасности работы системы. Ограничители перенапряжения обеспечивают безопасность работы системы электроснабжения, защищая оборудование и сети от повреждений, которые могут привести к возникновению опасных ситуаций для людей и окружающей среды.

Также вместе с высоковольтными выключателями и ограничителями перенапряжения, на стороне 6 кВ ТПСН-6/0,4 кВ для питания вторичных цепей применяются измерительные трансформаторы тока (таблица 7).

Таблица 7 – «Результаты выбора трансформаторов тока для установки в ячейках РУ-6 кВ питающей ТПСН-6/0,4 кВ» [14]

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Трансформаторы тока ТПОЛМ-10	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А.}$	$I_{ном} = 100 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,47 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,25^2 \cdot 3 =$ $= 4,69 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС.

Для защиты и коммутации питающей и распределительной сетей 0,38/0,22 кВ участка системы собственных нужд АЭС, на объекте применяются автоматические выключатели.

Автоматические выключатели являются важным элементом системы собственных нужд АЭС и выполняют несколько функций, включая:

- защиту от перегрузок. Автоматические выключатели обеспечивают защиту электрических цепей от перегрузок, которые могут возникнуть в результате превышения номинального тока;
- защиту от коротких замыканий. Автоматические выключатели защищают электрические цепи от коротких замыканий, которые могут возникнуть в результате повреждения изоляции проводников или других неисправностей;
- управление электрическими цепями. Автоматические выключатели позволяют управлять электрическими цепями, переключая их в различные режимы работы, например, в зависимости от потребности в энергии;
- обеспечение безопасности. Автоматические выключатели обеспечивают безопасность работы системы, так как они автоматически отключают электрические цепи при возникновении перегрузок или коротких замыканий;
- удобство обслуживания и ремонта. Автоматические выключатели обеспечивают удобство обслуживания и ремонта электрических цепей, так как они позволяют легко отключать и подключать электрические цепи без прерывания работы всей системы.

Важно помнить, что правильный выбор и эксплуатация автоматических выключателей являются ключевыми факторами обеспечения надежности и безопасности работы системы собственных нужд АЭС.

Для обеспечения оптимальной работы системы необходимо проектировать, устанавливать и эксплуатировать автоматические выключатели в соответствии с требованиями стандартов и нормативных документов.

Проводится непосредственный выбор и проверки автоматических выключателей участка СН.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя автомата» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p \cdot \quad (31)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p \cdot \quad (32)$$

«Ток электромагнитного расцепителя» [15]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k \cdot \quad (33)$$

«Если автомат выполнен с регулируемым электромагнитным расцепителем» [15]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}, \quad (34)$$

где « K – кратность тока уставки ЭМ-расцепителя» [19].

В работе принимаются современные автоматы марки ВА с регулируемыми тепловым и электромагнитным расцепителями.

«Результаты выбора автоматических выключателей системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС для защиты и управления питающей сети её потребителей представлены в форме таблицы 8» [15].

Таблица 8 – «Результаты выбора автоматов ввода и секционного автомата питающей КТП-6/0,4 кВ, а также питающей сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС»

Потребитель	I_p, A	Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р}, A$	$I_{у.э.р}, A$
Вводные автоматы ТПСН	969,2	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секционный автомат ТПСН	860,12	ВА 55-41	1000	1000	3000
Вводной автомат ЩСН-ЛРК-1	223,91	ВА 52-35	250	200	600
Вводной автомат ЩСН-ЛРК-2	306,70	ВА 52-37	400	320	960
Вводной автомат ЩСН-ЛХА	132,61	ВА 52-35	250	200	600

Вводной автомат ЩСН-ЛМК	408,18	ВА 57-39	630	630	1890
-------------------------	--------	----------	-----	-----	------

«Результаты выбора автоматических выключателей системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС для защиты и управления распределительной сети представлены в таблице 9» [6].

Таблица 9 – «Результаты выбора трёхфазных автоматов распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС» [6]

Потребитель	I_p , А	Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.э.р.}$, А
РЩ-1	18,30	ВА 47-29	25	25	75
РЩ-2	76,96	ВА 52-31	100	100	300
РЩ-3	46,17	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-4	2,31	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-5	1,88	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-6	18,30	ВА 47-29	25	25	75
РЩ-7	76,96	ВА 52-31	100	100	300
РЩ-8	46,17	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-9	2,31	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-10	1,88	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-11	8,47	ВА 47-29	10	10	30
РЩ-12	46,25	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-13	24,96	ВА 47-29	25	25	75
РЩ-14	23,09	ВА 47-29	25	25	75
РЩ-15	11,54	ВА 47-29	16	16	48
РЩ-16	8,47	ВА 47-29	10	10	30
РЩ-17	9,38	ВА 47-29	10	10	30
РЩ-18	2,31	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-19	6,88	ВА 47-29	10	10	30
РЩ-20	49,92	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-21	46,17	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-22	169,30	ВА 52-35	250	200	600
ЩРО	19,93	ВА 47-29	25	25	75
ЩАО	1,99	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9

После выбора и проверки, все электрические аппараты представлены в графической части работы.

Выводы по разделу.

В результате внедрения практических мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС, обусловленных вводом в эксплуатацию новых потребителей СН с подключением их к данному участку,

выполнены важнейшие расчётные мероприятия по решению поставленных задач.

Были выполнены практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений участка системы собственных нужд Балаковской АЭС, связанные с подключением новых потребителей.

В результате проведенных работ были выполнены расчёты нагрузок отдельных присоединений потребителей, секций сборных шин, и всей трансформаторной подстанции ТПСН-6/0,4 кВ в целом.

Также были выбраны силовые трансформаторы сухого типа марки ТСЗЛ-6530/6, которые также проверены на загрузку мощностью в нормальном режиме работы, и выбраны сечения проводников трансформаторной подстанции, питающей и распределительной сетей.

Был проведён расчёт максимальных токов короткого замыкания и выбраны вакуумные выключатели нового образца для установки в новых ячейках КРУ типа КРУ К-213.

Проверено оборудование для установки в РУ-0,4 кВ трансформаторной подстанции, а также в питающей и распределительной системе электроснабжения организации напряжением 0,38/0,22 кВ.

Таким образом, в работе была решена важная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы нормального режима участка системы собственных нужд Балаковской АЭС.

3 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии в системе собственных нужд атомной электрической станции

Далее в работе проводится выбор системы учёта и контроля электроэнергии на участке системы собственных нужд атомной электрической станции Балаковской АЭС.

В связи с развитием научных технических технологий, автоматизации учёта и контроля электроэнергии стала основным направлением, позволяющим контролировать и управлять параметрам энергетических систем.

Основные виды систем автоматизации учёта и контроля электроэнергии представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Основные виды систем автоматизации учёта и контроля электроэнергии

Известно, что в системе собственных нужд атомной электрической станции используются различные виды систем учёта и контроля электроэнергии.

Наиболее распространённые из них, следующие [17]:

- системы учёта электроэнергии по счётчикам. Данные системы позволяют измерять и регистрировать потребление электроэнергии на отдельных участках системы электроснабжения, а также контролировать расходы электроэнергии;
- автоматизированные системы учёта и контроля электроэнергии. Данные системы включают в себя различные сенсоры, датчики и измерительные приборы, которые позволяют непрерывно мониторить параметры электроэнергии в системе электроснабжения и выявлять неисправности и нарушения в работе системы;
- системы управления энергопотреблением. Данные системы позволяют оптимизировать потребление электроэнергии в системе электроснабжения путём автоматического переключения между различными режимами работы и управления нагрузками в соответствии с потребностями и требованиями системы;
- системы мониторинга качества электроэнергии. Данные системы позволяют измерять и контролировать качество электроэнергии в системе электроснабжения, а также выявлять и устранять неисправности и помехи, которые могут повлиять на качество электроэнергии и негативно сказаться на работе системы;
- системы диагностики и прогнозирования электроэнергетических систем. Данные системы используют различные методы анализа данных и прогнозирования, чтобы оптимизировать работу системы электроснабжения и предотвратить возможные аварии и сбои в работе системы.

Каждая из систем учёта и контроля электроэнергии имеет свои преимущества и недостатки, и выбор подходящей системы зависит от требований и потребностей конкретной системы электроснабжения.

В результате проведения сравнительного анализа основных типов систем учёта и контроля электроэнергии, в работе в качестве системы учёта и контроля электроэнергии в системе собственных нужд атомной электрической

станции Балаковская АЭС, предложено использовать АИИСКУЭ (автоматизированная информационная система коммерческого учёта электроэнергии).

Известно, что АИИСКУЭ – это система, предназначенная для учёта и контроля потребления электроэнергии на объектах промышленности и энергетики. Такая система особенно хорошо себя проявила благодаря простоте и надёжности.

Основные типы АИИСКУЭ:

- одготарифные системы. В данной системе используется только один тариф, который действует круглосуточно. Данный тип системы удобен для объектов с постоянной нагрузкой и однотипным потреблением электроэнергии;
- многотарифные системы. В данной системе используются несколько тарифов, которые применяются в зависимости от времени суток. Например, в пиковые часы тариф может быть выше, а в ночное время – ниже. Данный тип системы удобен для объектов с изменяющейся нагрузкой и разным потреблением электроэнергии в разное время;
- интегрированные системы. Данный тип системы объединяет в себе не только учёт потребления электроэнергии, но и других видов ресурсов, таких как вода, газ, пар и прочие энергоносители. Это позволяет более точно контролировать и оптимизировать потребление ресурсов на объектах;
- системы с дистанционным доступом. Данный тип системы позволяет получать данные о потреблении электроэнергии на объектах из любого места, где есть доступ к интернету. Это позволяет оперативно контролировать и управлять потреблением электроэнергии на объектах из любой точки мира.

Каждый тип АИИСКУЭ имеет свои преимущества и недостатки, и выбор подходящего типа зависит от требований и потребностей конкретной системы учёта и контроля потребления электроэнергии.

Таким образом, в работе, исходя из поставленной задачи, предлагается выбрать для применения в качестве системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд атомной электрической станции Балаковская АЭС, АИИСКУЭ второго типа (с многотарифным учётом), так как остальные виды энергоносителей непосредственно на ТПСН-6/0,4 кВ участка СН Балаковской АЭС учитывать нет необходимости.

Структурная схема выбранного типа АИИСКУЭ второго типа (с многотарифным учётом) представлена в работе на рисунке 6.

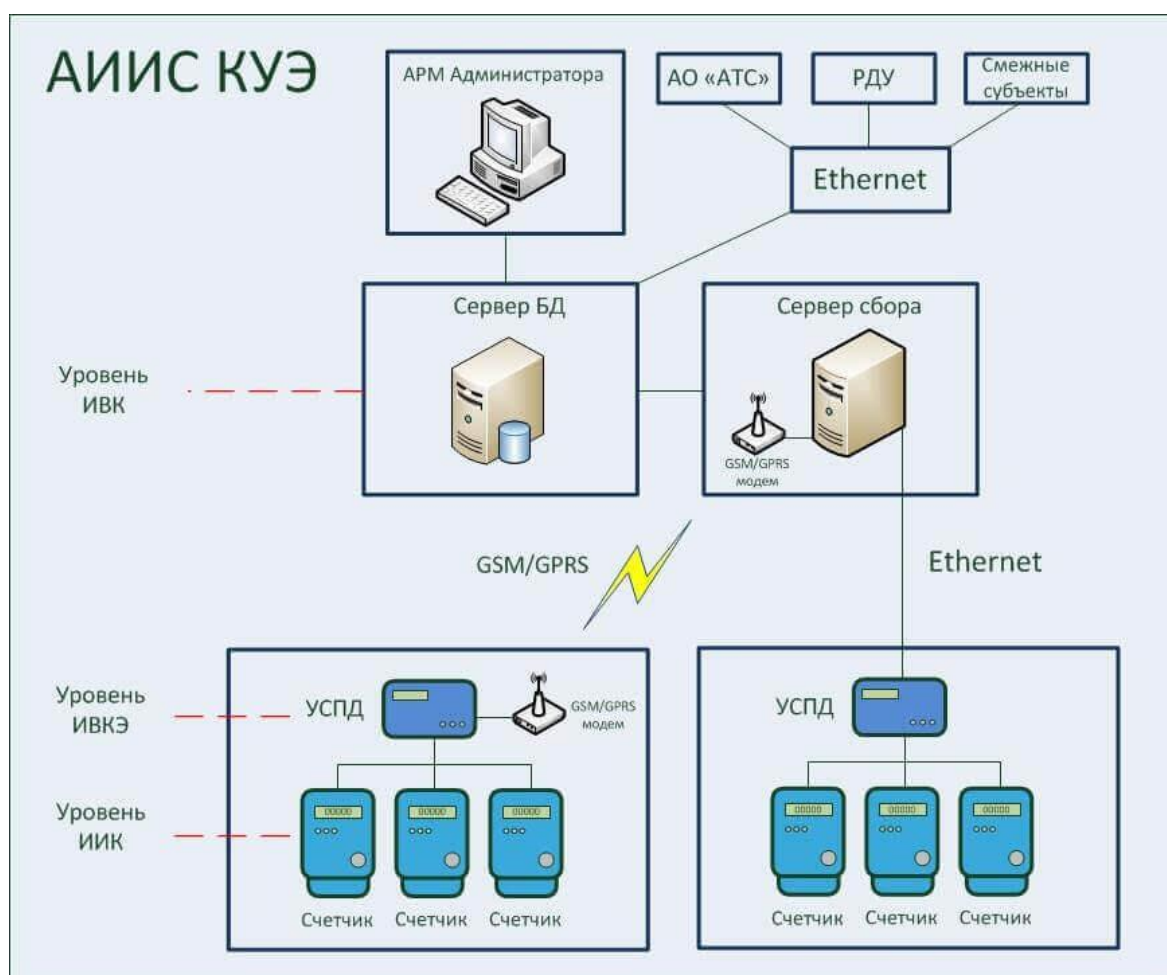


Рисунок 6 – Структурная схема выбранного типа АИИСКУЭ второго типа (с многотарифным учётом)

Далее выбирается марка и производитель выбранного типа АИИСКУЭ для применения в качестве системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд атомной электрической

станции Балаковская АЭС. В России на сегодняшний день существует множество марок и производителей АИИСКУЭ. Выбор наиболее подходящей марки зависит от требований и потребностей конкретной системы учёта и контроля потребления электроэнергии. Некоторые из наиболее известных марок АИИСКУЭ, применяемые сегодня в России [14]:

- «СЕРВИСПРОМЭНЕРГО» - производитель, специализирующийся на разработке и производстве систем учёта и контроля потребления электроэнергии.
- «Energometa» - производитель с большим опытом работы на рынке систем учёта энергоресурсов, включая электроэнергию.
- «ЛЕНТА-Энерго» - компания, которая производит и поставляет различное оборудование для измерения и контроля потребления электроэнергии.
- «ЛидерТех» - производитель и поставщик систем учёта и контроля потребления энергоресурсов.
- «Schneider Electric» - мировой лидер в области электротехнического оборудования и систем управления энергопотреблением.

Конечный выбор марки АИИСКУЭ зависит от конкретных потребностей и требований системы, а также от бюджета, который вы готовы выделить на приобретение данного оборудования.

Исходя из результатов анализа наиболее известных марок АИИСКУЭ в России, предлагается в качестве системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд атомной электрической станции Балаковская АЭС, применить систему АИИСКУЭ с двухтарифным учётом электроэнергии, марки Energy Management and Control System (EMCS) в базовой комплектации с использованием определённых функций АИИСКУЭ, необходимых для применения на объекте проектирования.

Производитель данной продукции – Schneider Electric.

Такая система является автоматизированной системой диспетчерского управления энергоснабжением, поэтому она может быть применена в

перспективе в более широком диапазоне на объекте проектирования в системе собственных нужд Балаковской АЭС.

Схема выбранного типа АИИСКУЭ для применения на объекте проектирования, представлена в работе в графической части.

Выводы по разделу.

В работе, основываясь на приведённых аналитических данных, а также учитывая специфику объекта проектирования, осуществлён аргументированный выбор системы учёта и контроля электроэнергии на участке системы собственных нужд атомной электрической станции Балаковской АЭС.

Исходя из поставленной задачи, предложено выбрать для применения в качестве системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд атомной электрической станции Балаковская АЭС, АИИСКУЭ второго типа (с многотарифным учётом), так как остальные виды энергоносителей непосредственно на ТПСН-6/0,4 кВ участка СН Балаковской АЭС учитывать нет необходимости.

Исходя из результатов анализа наиболее известных марок АИИСКУЭ в России, предложено в качестве системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд атомной электрической станции Балаковская АЭС, применить систему АИИСКУЭ с двухтарифным учётом электроэнергии, марки Energy Management and Control System (EMCS) в базовой комплектации с использованием определённых функций АИИСКУЭ, необходимых для применения на объекте проектирования.

Производитель данной продукции – Schneider Electric.

Такая система является автоматизированной системой диспетчерского управления энергоснабжением, поэтому она может быть применена в перспективе в более широком диапазоне на объекте проектирования в системе собственных нужд Балаковской АЭС.

Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка проекта реконструкция электрической части участка системы собственных нужд атомной электрической станции мощностью 4000 МВт на примере Балаковской АЭС, которая обусловлена внедрением новых потребителей на данном участке системы собственных нужд атомной электростанции.

Для решения поставленных задач, в работе приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений Балаковской АЭС.

Рассмотрена структурная схема питающей сети 6 кВ системы собственных нужд Балаковской АЭС, а также способы питания потребителей СН от системы собственных нужд АЭС.

Проведено описание и разделение на категории надёжности потребителей системы собственных нужд Балаковской АЭС.

Осуществлено описание и характеристика участка системы собственных нужд, которая подлежит реконструкции в данной работе.

Установлено, что питание данного участка СН осуществляется от двухтрансформаторной ТПСН, на которой находятся два силовых трансформатора сухого типа марки ТСГЛ-630/6.

Определено, что данная ТПСН питает потребители лабораторий Балаковской АЭС и относится ко II категории надёжности.

Установлено, что реконструкция схемы электрических соединений ТПСН-6/0,4 кВ в работе обусловлена подключением дополнительной нагрузки на шины 0,4 кВ данной подстанции.

В результате внедрения практических мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения участка системы собственных нужд Балаковской АЭС, обусловленных вводом в эксплуатацию новых потребителей СН с подключением их к данному участку, выполнены важнейшие расчётные мероприятия по решению поставленных задач.

Были выполнены практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений участка системы собственных нужд Балаковской АЭС, связанные с подключением новых потребителей.

В результате проведенных работ были выполнены расчёты нагрузок отдельных присоединений потребителей, секций сборных шин, и всей трансформаторной подстанции ТПСН-6/0,4 кВ в целом.

Также были выбраны силовые трансформаторы сухого типа марки ТСЗЛ-6530/6, которые также проверены на загрузку мощностью в нормальном режиме работы, и выбраны сечения проводников трансформаторной подстанции, питающей и распределительной сетей.

Был проведён расчёт максимальных токов короткого замыкания и выбраны вакуумные выключатели нового образца для установки в новых ячейках КРУ типа КРУ К-213.

Проверено оборудование для установки в РУ-0,4 кВ трансформаторной подстанции, а также в питающей и распределительной системе электроснабжения организации напряжением 0,38/0,22 кВ.

В работе, основываясь на приведённых аналитических данных, а также учитывая специфику объекта проектирования, осуществлён аргументированный выбор системы учёта и контроля электроэнергии на участке системы собственных нужд атомной электрической станции Балаковской АЭС.

Исходя из поставленной задачи, предложено выбрать для применения в качестве системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд атомной электрической станции Балаковская АЭС, АИИСКУЭ второго типа (с многотарифным учётом), так как остальные виды энергоносителей непосредственно на ТПСН-6/0,4 кВ участка СН Балаковской АЭС учитывать нет необходимости.

Исходя из результатов анализа наиболее известных марок АИИСКУЭ в России, предложено в качестве системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд атомной электрической

станции Балаковская АЭС, применить систему АИИСКУЭ с двухтарифным учётом электроэнергии, марки Energy Management and Control System (EMCS) в базовой комплектации с использованием определённых функций АИИСКУЭ, необходимых для применения на объекте проектирования.

Производитель данной продукции – Schneider Electric, мировой лидер в данной отрасли.

Такая система является автоматизированной системой диспетчерского управления энергоснабжением, поэтому она может быть применена в перспективе в более широком диапазоне на объекте проектирования в системе собственных нужд Балаковской АЭС.

Таким образом, в работе была решена важная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы нормального режима участка системы собственных нужд Балаковской АЭС.

Все принятые в работе решения были подтверждены расчётным путём с применением современных расчётных методик и алгоритмов.

Список используемых источников

1. Балаковская АЭС [Электронный ресурс]: URL: <https://newsedoma.com.ua/251633-balakovskaya-aes-42foto.html> (дата обращения: 27.03.2023).
2. Балаковская АЭС электрооборудование - главная схема электрических соединений АЭС [Электронный ресурс]: URL: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/balakovskaya-aes-elektrooborudovanie/Page-2.html> (дата обращения: 27.03.2023).
3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
4. Китунович Ф.Г. Энергетика России. 1920-2020 гг. В 4 томах. М.: Энергия, 2020. 1072 с.
5. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие. М.: Юрайт, 2016. 180 с.
6. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2020. 320 с.
7. 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.
8. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.

12. Продукция Schneider Electric Energy Management and Control System (EMCS) [Электронный ресурс]: URL: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Schneider_Electric_Energy_Management_and_Control_System_%28EMCS%29 (дата обращения: 27.03.2023).

13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.

14. Свириденко Э.А. Основы электротехники и электроснабжения. М.: Техноперспектива, 2018. 436 с.

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

16. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 27.03.2023).

17. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 24.03.2023).

18. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 22.03.2023).

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

20. Ячейки К-213. [Электронный ресурс]: URL: <http://dakenergo.com/yacheyka-raspredelitelnogo-ustroystv/> (дата обращения: 27.03.2023).