

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 РП-18 г.о. Тольятти

Обучающийся

Д.И. Попов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., П.А. Николаев

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

Тольятти 2024

Аннотация

В работе проведена реконструкция схемы электрических соединений электрической части РП-18 номинального напряжения 6 кВ г. о. Тольятти.

Установлено, что данная реконструкция стала необходимой в связи с планируемым подключением новой нагрузки потребителей, для которых планируется установить новые ячейки в рассматриваемом РП-18 номинального напряжения 6 кВ.

Кроме того, проведена модернизация существующего устаревшего оборудования объекта исследования, в результате чего были выбраны новые ячейки РП-18, которые укомплектованы современными электрическими аппаратами напряжением 6 кВ. Также проведена модернизация релейной защиты и автоматики РП-18 с проверочным расчётом защитного контура заземления объекта исследования.

В работе решены основные задачи:

- определены цели и задачи реконструкции электрической части РП-18 номинального напряжения 6 кВ г.о. Тольятти, в результате чего проведён анализ исходных на выполнение работы, включая анализ исходных технических данных по схеме электрических соединений объекта исследования, а также анализ данных существующих и новых потребителей, которые планируется запитать от данного РП в связи с производственной необходимостью;
- предложены и обоснованы с использованием аналитического и расчётного методов мероприятия по реконструкции ячеек и их основного оборудования электрической части РП-18 номинального напряжения 6 кВ г. о. Тольятти;
- выбраны новые устройства системы релейной защиты, рассчитаны заземление электрической части РП-18.

Работа содержит 53 страницы расчётно-пояснительной записки (формат А4) и 6 чертежей демонстрационного материала (формат А1).

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ состояния схемы и оборудования РП-18.....	7
1.1 Технический анализ схемы и оборудования РП-18	7
1.2 Обоснование реконструкции схемы и модернизации оборудования РП-18	12
2 Реконструкция основных элементов электрической части РУ-6 кВ РП-18.	15
2.1 Расчёт электрических нагрузок РУ-6 кВ РП-18	15
2.2 Выбор и проверка проводников	19
2.3 Расчёт токов короткого замыкания.....	25
2.4 Выбор и компоновка ячеек 6 кВ РП-18	30
3 Релейная защита и заземление РУ-6 кВ РП-18	39
3.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	39
3.2 Расчёт контура заземления РП-18.....	43
Заключение	47
Список используемых источников.....	51

Введение

Реконструкция электрической части распределительных пунктов напряжением 6(10) кВ в Российской Федерации является актуальной задачей, обусловленной необходимостью повышения надежности и эффективности электроснабжения.

Многие распределительные пункты были построены несколько десятилетий назад и теперь требуют модернизации из-за износа оборудования и несоответствия современным техническим требованиям.

Важность этой реконструкции связана с ростом нагрузок на электрические сети вследствие развития промышленности и увеличения бытового потребления электроэнергии.

Устаревшие системы не способны обеспечить необходимый уровень безопасности и качества электроснабжения, что может приводить к аварийным ситуациям и перебоям в подаче энергии. Модернизация распределительных пунктов позволит внедрить современные технологии управления и защиты, повысить энергоэффективность и снизить эксплуатационные расходы.

Состояние вопроса на сегодняшний день характеризуется активным интересом со стороны государства и энергетических компаний к обновлению инфраструктуры. Реализуются проекты по замене морально и физически устаревшего оборудования на современные аналоги с использованием цифровых технологий и автоматизированных систем управления. Однако масштабность задач требует значительных финансовых вложений и координации усилий различных участников рынка.

Перспективы реконструкции распределительных пунктов связаны с дальнейшим развитием интеллектуальных энергосистем, интеграцией возобновляемых источников энергии и созданием гибких сетей, способных адаптироваться к меняющимся условиям потребления и генерации.

Внедрение инновационных решений в области релейной защиты,

автоматики и информационных технологий позволит повысить оперативность и точность управления энергетическими потоками, а также обеспечить высокий уровень кибербезопасности.

Государственная поддержка играет ключевую роль в стимулировании процессов модернизации. В рамках национальных программ и стратегий развития энергетики предусмотрены меры по финансированию проектов реконструкции, предоставлению льгот и субсидий, а также созданию благоприятных условий для привлечения инвестиций. Законодательные инициативы направлены на упрощение процедур согласования и лицензирования, что способствует ускорению реализации проектов [17], [18], [20].

Таким образом, реконструкция электрической части распределительных пунктов напряжением 6(10) кВ является стратегически важным направлением развития энергетического комплекса России. Ее успешная реализация обеспечит надежное и качественное электроснабжение, повысит конкурентоспособность экономики и создаст основу для устойчивого роста энергетической отрасли в долгосрочной перспективе.

Основной целью работы является разработка, обоснование и практическое подтверждение мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений электрической части РП-18 номинального напряжения 6 кВ г. о. Тольятти.

Установлено, что данная реконструкция стала необходимой в связи с планируемым подключением новой нагрузки потребителей, для которых планируется установить новые ячейки в рассматриваемом РП-18 номинального напряжения 6 кВ.

Кроме того, на данном объекте планируется проведение модернизации существующего устаревшего оборудования объекта исследования, в результате чего требуется выбрать новые ячейки РП-18, которые планируется укомплектовать современными электрическими аппаратами напряжением 6 кВ. Также требуется проведение модернизации релейной защиты и

автоматики РП-18 с проверочным расчётом защитного контура заземления на объекте исследования.

Объектом исследования являются схема электрических соединений и мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений электрической части РП-18 номинального напряжения 6 кВ г.о. Тольятти.

Предметом исследования выступают показатели и параметры надёжности, экономичности и безопасности электроснабжения потребителей при практическом внедрении мероприятий по реконструкции и модернизации электрической части РП-18 номинального напряжения 6 кВ г.о. Тольятти.

Таким образом, исходя из основной цели работы и плана по решению данной проблемы, в работе требуется провести решение таких основных задач:

- определить цели и задачи реконструкции электрической части РП-18 номинального напряжения 6 кВ г.о. Тольятти, в результате чего провести анализ исходных на выполнение работы, включая анализ исходных технических данных по схеме электрических соединений объекта исследования, а также анализ данных существующих и новых потребителей, которые планируется запитать от данного РП в связи с производственной необходимостью;
- предложить и обосновать с использованием аналитического и расчётного методов, мероприятия по реконструкции ячеек и их основного оборудования электрической части РП-18 номинального напряжения 6 кВ г.о. Тольятти;
- выбрать новые современные устройства системы релейной защиты, рассчитать заземление электрической части РП-18.

Таким образом, в результате выполнения работы и достижения её основной цели, ожидается повышение параметров и показателей надёжности, экономичности и безопасности электроснабжения на объекте исследования.

Все принятые решения в работе требуют подтверждения.

1 Анализ состояния схемы и оборудования РП-18

1.1 Технический анализ схемы и оборудования РП-18

Приводится характеристика оборудования распределительного устройства напряжением 6 кВ (далее – РУ-6 кВ) распределительного пункта №18 (далее – РП-18) и его схемы электрических соединений.

РУ-6 кВ РП-18 необходимо для приёма электроэнергии с последующей распределением её потребителям на напряжении 6 кВ. Конструктивно РУ-6 кВ РП-18 выполнено в виде закрытого распределительного устройства с применением ячеек типа КСО-272. Питание РУ-6 кВ РП-18 осуществляется от понизительной подстанции «Восточная» 110/6 кВ (Новозаводская улица, г. о. Тольятти) энергосистемы на напряжении 6 кВ двумя кабельными линиями марки АСБ-6 (3×120).

РП-6 кВ выполнено по схеме «Схема с одной системой сборных шин, секционированная выключателем» [14]. Такая схема электрических соединений обладает рядом значительных преимуществ в электрических сетях среднего напряжения [15]. Далее перечисляются её основные преимущества.

Во-первых, такая конфигурация повышает надежность электроснабжения за счет возможности изолировать поврежденный участок без прекращения подачи электроэнергии на остальные секции. Секционирование сборных шин позволяет оперативно отключать только ту часть системы, где произошло нарушение, что минимизирует время простоя и снижает негативное воздействие на потребителей.

Во-вторых, эта схема обеспечивает гибкость в управлении и эксплуатации электрической сети. Наличие секционного выключателя позволяет проводить плановые ремонтные работы и техническое обслуживание на отдельных участках без полного обесточивания объекта. Данный аспект существенно упрощает организацию ремонтных мероприятий и повышает общую эффективность эксплуатации оборудования. Кроме того,

схема с одной системой сборных шин, секционированная выключателем, экономически более выгодна по сравнению с более сложными конфигурациями, такими как схема с двумя системами шин. Рассматриваемая схема требует меньших капитальных вложений в оборудование и инфраструктуру, снижает затраты на монтаж и обслуживание, при этом обеспечивая достаточный уровень надежности и функциональности для большинства применений.

С точки зрения безопасности, такая схема способствует повышению оперативности реагирования на аварийные ситуации. Возможность быстрого отключения поврежденной секции снижает риски повреждения оборудования и повышает безопасность персонала. Также упрощается реализация селективной защиты, что способствует более точному и эффективному функционированию релейной защиты и автоматики.

Таким образом, схема с одной системой сборных шин, секционированная выключателем, представляет собой оптимальное решение для распределительных сетей, сочетая в себе простоту, надежность и экономическую эффективность. Она позволяет обеспечить высокое качество электроснабжения, гибкость управления и снижение эксплуатационных затрат, что отвечает современным требованиям к энергетической инфраструктуре. Следовательно, данная схема не нуждается в замене на рассматриваемом объекте [2].

Далее проводится характеристика основного оборудования РУ-6 кВ РП-18. В нём находится следующее коммутационное и защитное оборудование: выключатели высокого напряжения марки ВМП-10/630, разъединители марки РВ-10/400, трансформаторы напряжения марки НАМИ-6, трансформаторы тока марки ТПОЛ-10, трансформаторы собственных нужд марки ТМ-25/6, ограничители перенапряжения марки ОПН-П-6/6,0/10/0,6-III УХЛ2. Всё перечисленное оборудование установлено в ячейках типа КСО-272, компоновка которых представлена на рисунках 1-3. Компоновка ячеек КСО-

272 с выключателями и разъединителями (линейные, вводные и секционная ячейки) РУ-6 кВ РП-18 [4] показана в работе на рисунке 1.

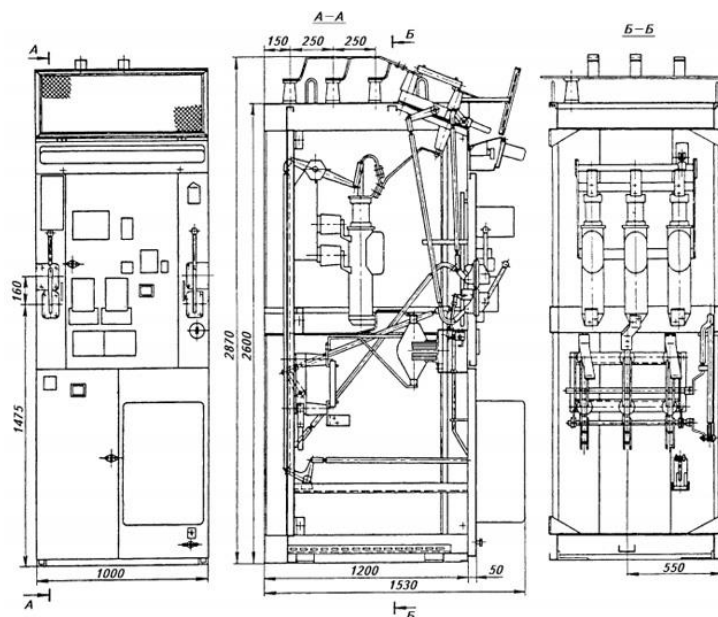


Рисунок 1 – Компоновка ячейки КСО-272 с выключателями и разъединителями (линейные, вводные и секционная ячейки) РУ-6 кВ РП-18

Компоновка ячеек КСО-272 с трансформаторами напряжения и предохранителями РУ-6 кВ РП-18 [4] показана на рисунке 2.

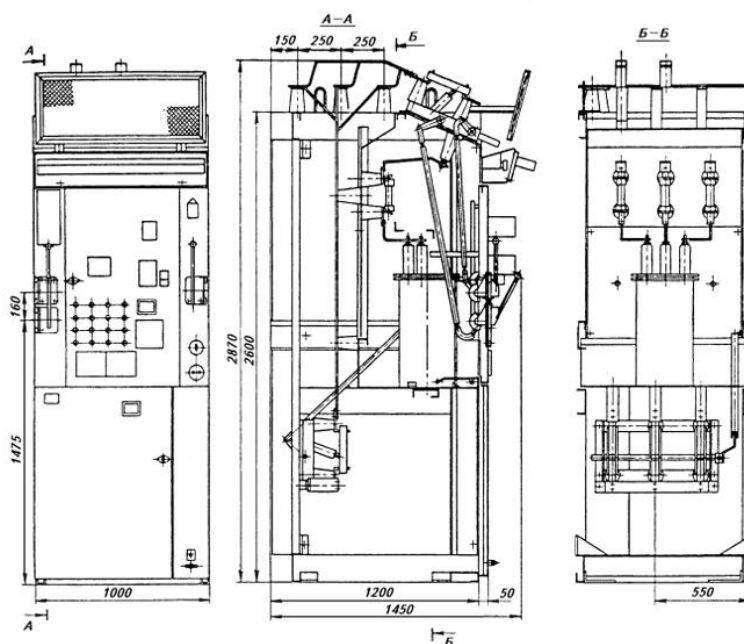


Рисунок 2 – Компоновка ячеек КСО-272 с трансформаторами напряжения и предохранителями РУ-6 кВ РП-18

Компоновка ячейки КСО-272 с секционным разъединителем РУ-6 кВ РП-18 [4] показана на рисунке 3.

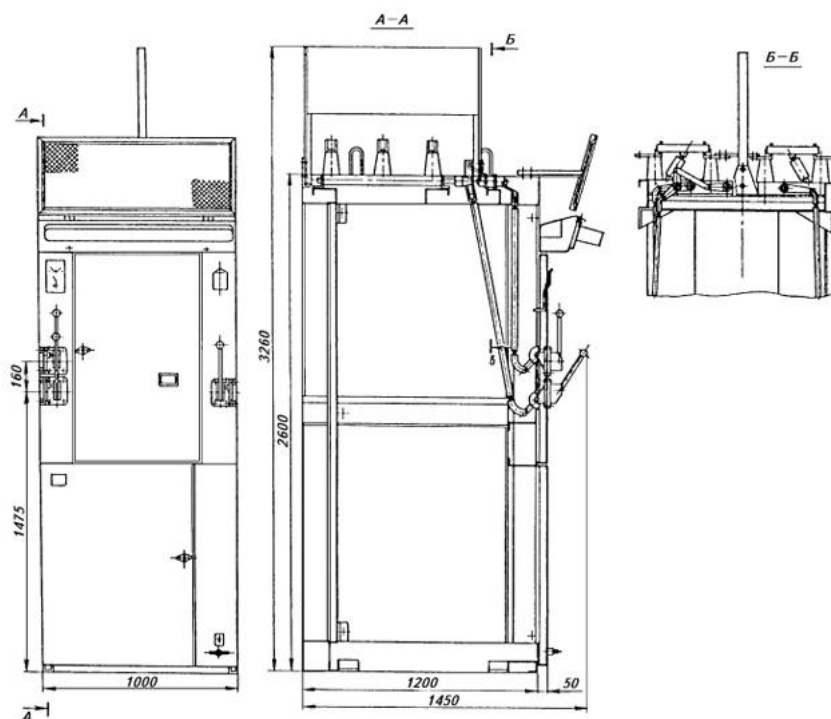


Рисунок 3 – Компоновка ячейки КСО-272 с секционным разъединителем РУ-6 кВ РП-18

Таким образом установлено, что многое оборудование, находящееся в исходной схеме РП-6 кВ требует замены на новые модификации.

Следовательно, в работе, помимо реконструкции схемы электрических соединений РП-6 кВ, также обоснована необходимость проведения модернизации его оборудования.

Далее в работе рассматриваются исходные данные потребителей РУ-6 кВ РП-18, включая данные о фактической нагрузке, не учтённой на стадии проектирования.

В результате проведения анализа установлено, что к потребителям РУ-6 кВ РП-18 относятся понизительные трансформаторные подстанции (далее – ТП-6/0,4 кВ), питающие бытовые и промышленные объекты, которые имеют различную мощность и категории надёжности.

Основу нагрузки РП-18 составляют потребители II категории надёжности, которых подавляющее большинство. Питание потребителей РУ-6 кВ РП-18 осуществляется на напряжении 6 кВ кабельными линиями марки АСБ-6 (3×50).

Установлено, что фактическая нагрузка потребителей увеличилась (вследствие ввода в работу новых потребителей как бытового, так и промышленного назначения). С учётом этого, необходимо провести реконструкцию схемы электрических соединений РУ-6 кВ РП-18, введя в эксплуатацию новые ячейки потребителей в количестве двух единиц. В работе необходимо провести проверку правильности выбора всех решений.

Исходные данные потребителей реконструируемого РУ-6 кВ РП-18, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные потребителей реконструируемого РУ-6 кВ РП-18

Наименование присоединения	Число кабелей, шт.	Марка питающего кабеля	Нагрузка проектная, $P_{мл.}$, кВт	Нагрузка фактическая, $P_{м.2.}$, кВт	Категория надёжности потребителей
СШ1, 6 кВ					
Ф-1, ТП-115	1	АСБ-6 (3×50)	400,0	550,0	2,3
Ф-2, ТП-138	1	АСБ-6 (3×50)	300,0	350,0	2,3
Ф-3, ТП-133	1	АСБ-6 (3×50)	400,0	450,0	2,3
Ф-4, ТП-118	1	АСБ-6 (3×50)	500,0	550,0	2,3
Ф-5, ТП-204	1	АСБ-6 (3×50)	300,0	350,0	2,3
Ф-6, Резерв	-	-	-	-	-
Ф-7, ТП-228	1	АСБ-6 (3×50)	400,0	450,0	2,3
Всего по СШ1, 6 кВ	6	6АСБ-6 (3×50)	2300,0	2700,0	2,3
СШ2, 6 кВ					
Ф-8, Резерв	-	-	-	-	-
Ф-9, ТП-118	1	АСБ-6 (3×50)	400,0	550,0	2,3
Ф-10, ТП-212	1	АСБ-6 (3×50)	300,0	350,0	2,3
Ф-11, ТП-133	1	АСБ-6 (3×50)	400,0	450,0	2,3
Ф-12, ТП-225	1	АСБ-6 (3×50)	500,0	550,0	2,3
Всего по СШ2, 6 кВ	4	4АСБ-6 (3×50)	1600,0	1900,0	2,3
Перспективная нагрузка					
ТП-124	-	-	-	500,0	2,3
ТП-125	-	-	-	500,0	2,3
Всего по РП-6 кВ	5	10 АСБ-6 (3×50)	3900,0	5600,0	2,3

Приведённые данные являются основанием для расчёта нагрузок далее.

1.2 Обоснование реконструкции схемы и модернизации оборудования РП-18

В результате проведения анализа потребителей реконструируемого РУ-6 кВ РП-18 установлено, что в схему присоединений данного объекта требуется подключить два новых присоединения, питающие ТП-124 и ТП-125 на номинальном напряжении 6 кВ.

Установлено, что нагрузка каждого присоединения составляет 500 кВт, следовательно, суммарная перспективная нагрузка реконструируемого РУ-6 кВ РП-18 составит 1000 кВт (1 МВт).

Кроме того, на всех присоединениях объекта увеличилось значение фактической нагрузки. Исходя из этого установлено, что суммарное увеличение нагрузки потребителей РУ-6 кВ РП-18 составило 1700 кВт (нагрузка повысилась с 3900 кВт до 5600 кВт).

Для решения поставленной задачи предлагается два присоединения перспективной нагрузки запитать от ячеек «Резерв» СШ1 и СШ2 6 кВ.

Таким образом, будут внесены изменения в существующую схему электрических присоединений РУ-6 кВ РП-18. Данный фактор лежит в основе реконструкции данного объекта.

Кроме того, при проведении анализа состояния оборудования РУ-6 кВ РП-18 было установлено, что в нём находится устаревшее и ненадёжное оборудование, которое выработало свой ресурс и требует замены на современные типы, лишённые данных недостатков. Кроме того, предлагается заменить ячейки КСО-272 на современные ячейки типа КРУ, выбор которых необходимо провести в работе. Также замене подлежит устаревшая и неэффективная система релейной защиты объекта. Таким образом, в работе планируется полная модернизация оборудования РУ-6 кВ РП-18.

Актуальность замены этого оборудования на новое обусловлена несколькими существенными факторами.

Во-первых, устаревшее оборудование повышает риск отказов и аварийных ситуаций, что негативно сказывается на надёжности электроснабжения потребителей и может приводить к значительным экономическим потерям. Во-вторых, морально и физически изношенные устройства зачастую не соответствуют современным техническим требованиям и стандартам безопасности, что создаёт потенциальную угрозу для персонала и окружающей среды.

Кроме того, эксплуатация устаревшего оборудования сопряжена с увеличением затрат на обслуживание и ремонт из-за частых неисправностей и сложности в приобретении запасных частей, производство которых может быть прекращено.

Низкая энергоэффективность таких устройств ведёт к дополнительным потерям электроэнергии, что противоречит современным тенденциям энергосбережения и устойчивого развития. Замена оборудования на современное позволит внедрить передовые технологии управления и защиты, повысить надёжность и эффективность работы распределительного пункта.

Современные устройства обладают улучшенными эксплуатационными характеристиками, повышенной точностью и быстродействием, а также возможностью интеграции в автоматизированные системы управления и мониторинга. Данный фактор обеспечит стабильное и бесперебойное электроснабжение, снизит эксплуатационные расходы и повысит общий уровень безопасности.

Таким образом, замена устаревшего и ненадёжного оборудования в РУ-6 кВ РП-18 на новое является актуальной и необходимой мерой для обеспечения надёжной, безопасной и эффективной работы электроэнергетической системы, соответствующей современным стандартам и требованиям отрасли.

При решении приведённых поставленных задач, в схеме электрических соединений РУ-6 кВ РП-18 будут значительно повышены условия надёжности, секционирования и резервирования, а также экономичности.

Выводы по разделу 1.

В результате анализа потребителей реконструируемого РУ-6 кВ РП-18 установлена необходимость подключения двух новых присоединений, питающих трансформаторные подстанции ТП-124 и ТП-125 на номинальном напряжении 6 кВ. Установлено, что нагрузка каждого присоединения составляет 500 кВт, что приводит к увеличению суммарной перспективной нагрузки реконструируемого распределительного пункта на 1000 кВт (1 МВт). Кроме того, зафиксировано увеличение фактической нагрузки на всех присоединениях объекта, в результате чего общее повышение нагрузки потребителей РУ-6 кВ РП-18 составило 1700 кВт, то есть с 3900 кВт до 5600 кВт.

Для решения возникшей задачи предлагается запитать два новых присоединения перспективной нагрузки от ячеек «Резерв» секций шин СШ1 и СШ2 напряжением 6 кВ. Реализация указанного мероприятия потребует внесения изменений в существующую схему электрических присоединений РУ-6 кВ РП-18, что служит основанием для его реконструкции.

Кроме того, анализ состояния оборудования РУ-6 кВ РП-18 показал наличие устаревших и ненадёжных элементов, выработавших свой ресурс и требующих замены на современные аналоги, лишённые данных недостатков. В частности, предлагается заменить ячейки типа КСО-272 на современные ячейки типа КРУ, выбор которых будет осуществлён в рамках данной работы.

Также планируется замена устаревшей и неэффективной системы релейной защиты объекта. Таким образом, в работе предусмотрена полная модернизация оборудования РУ-6 кВ РП-18.

В результате реализации поставленных задач в схеме электрических соединений РУ-6 кВ РП-18 значительно повысятся показатели надёжности, секционирования, резервирования и экономичности. Все предложенные решения планируется подтвердить расчётным путём в ходе дальнейшего выполнения работы.

2 Реконструкция основных элементов электрической части РУ-6 кВ РП-18

2.1 Расчёт электрических нагрузок РУ-6 кВ РП-18

Расчёт электрических нагрузок распределительного устройства 6 кВ РП-18 с учётом новой перспективной нагрузки является актуальной задачей в контексте модернизации и повышения эффективности электроснабжения. Важность этого расчёта обусловлена необходимостью обеспечения надёжной работы энергетической системы при увеличении потребления электроэнергии и подключении новых объектов.

Увеличение нагрузок на распределительное устройство требует детального анализа существующих электрических параметров и прогнозирования будущих изменений. Точный расчёт электрических нагрузок позволяет определить оптимальные параметры оборудования, выбрать соответствующие защитные устройства и обеспечить стабильное функционирование системы без перегрузок и аварийных ситуаций.

Алгоритм расчёта включает в себя сбор и обработку данных о текущих нагрузках на РП-18, а также прогнозирование перспективной нагрузки с учётом планируемого подключения новых потребителей. Необходимо учитывать характеристики новых присоединений, такие как значение максимальной фактической нагрузки, режим работы и особенности потребления электроэнергии.

Затем проводится суммирование всех нагрузок с корректировкой на коэффициенты одновременности, что позволяет получить общую расчетную нагрузку на распределительное устройство 6 кВ.

Далее следует анализ пропускной способности существующего оборудования РП-18 и оценка его соответствия новым нагрузочным условиям.

При необходимости разрабатываются рекомендации по модернизации или замене оборудования, обеспечивающие надёжную работу системы при

повышенных нагрузках. Кроме того, расчёт электрических нагрузок служит основой для проектирования системы релейной защиты и автоматики, что является ключевым фактором безопасности и стабильности электроснабжения.

Таким образом, проведение расчёта электрических нагрузок с учётом новой перспективной нагрузки РУ-6 кВ РП-18 является критически важным этапом в процессе реконструкции схемы электрических присоединений данного объекта и модернизации энергетической инфраструктуры.

По результатам анализа потребителей реконструируемого РУ-6 кВ РП-18 установлена необходимость подключения двух новых присоединений, питающих трансформаторные подстанции ТП-124 и ТП-125 с номинальным напряжением 6 кВ. Нагрузка каждого присоединения составляет 500 кВт, что приводит к увеличению суммарной перспективной нагрузки на реконструируемый распределительный пункт на 1000 кВт (1 МВт). Кроме того, отмечено увеличение фактической нагрузки на всех присоединениях объекта, вследствие чего общее повышение нагрузки потребителей РУ-6 кВ РП-18 составило 1700 кВт, то есть с 3900 кВт до 5600 кВт.

Для решения данной задачи предлагается запитать два новых присоединения перспективной нагрузки от ячеек «Резерв» секций шин СШ1 и СШ2 напряжением 6 кВ. Реализация этого мероприятия потребует внесения изменений в существующую схему электрических присоединений РУ-6 кВ РП-18, что служит основанием для его реконструкции.

С учётом изложенных рекомендаций, проводится расчёт электрических нагрузок РУ-6 кВ РП-18. Используется рекомендованный метод коэффициента спроса.

Максимальная расчётная активная нагрузка для каждого присоединения РУ-6 кВ РП-18 с учётом соответствующего коэффициента спроса, кВт, вычисляется так [7]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (1)$$

где P_n – «номинальная (паспортная) активная нагрузка, кВт;
 K_c – значение коэффициента спроса» [7].

Максимальная расчётная полная нагрузка для каждого присоединения РУ-6 кВ РП-18 с учётом соответствующих коэффициентов спроса и мощности, кВА, вычисляется так [7]:

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

где P_P - расчётная активная нагрузка, кВт;
 $\cos \varphi$ - «соответствующий коэффициент активной мощности, о.е.»
[7].

Соответственно, максимальная расчётная реактивная нагрузка для каждого присоединения РУ-6 кВ РП-18 с учётом соответствующего коэффициента спроса, квар, вычисляется так [7]:

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

Максимальная групповые расчётные нагрузки секций сборных шин и всей РУ-6 кВ РП-18 (соответственно, активная, реактивная и полная) определяются как полная сумма соответствующих нагрузок присоединений, питающихся от них, с учётом коэффициента одновременности максимума нагрузок на сборных шинах K_o :

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

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

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

При этом значение расчётного тока на всех звеньях цепи РП-18 вычисляется по известной формуле [7]:

$$I_{p.} = \frac{S_{p.}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.}}, \quad (7)$$

где « $U_{н.}$ – номинальное напряжение, кВ» [7].

На примере первого присоединения напряжением 6 кВ РУ-6 кВ РП-18 Ф-1, ТП-115, по приведённым условиям (1) – (3) и (7), проводится расчёт электрических нагрузок.

По условию (1) с учётом $K_c = 1$ (все присоединения работают в непрерывном режиме при максимальной нагрузке):

$$P_p = 550 \cdot 1 = 550 \text{ кВт},$$

По условию (2):

$$S_p = \frac{550}{0,85} = 647,1 \text{ кВА},$$

По условию (3):

$$Q_p = \sqrt{647,1^2 - 550^2} = 340,9 \text{ квар},$$

По условию (7):

$$I_{p.} = \frac{647,1}{\sqrt{3} \cdot 6} = 62,3 \text{ А}.$$

Результаты расчёта электрических нагрузок РУ-6 кВ РП-18 после реконструкции схемы электрических соединений, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок РУ-6 кВ РП-18 после реконструкции схемы электрических соединений

Наименование присоединения	$P_{p,}$ кВт	$\cos \varphi$	$Q_{p,}$ квар	$S_{p,}$ кВА	$I_{p,}$ А
СШ-1 6 кВ					
Ф-1, ТП-115	550,0	0,85	340,9	647,1	62,3
Ф-2, ТП-138	350,0	0,85	217,0	411,8	39,6
Ф-3, ТП-133	450,0	0,85	278,9	529,4	50,9
Ф-4, ТП-118	550,0	0,85	340,9	647,1	62,3
Ф-5, ТП-204	350,0	0,85	217,0	411,8	39,6
Ф-6, ТП-124	500,0	0,85	309,8	588,2	56,6
Ф-7, ТП-228	450,0	0,85	278,9	529,4	50,9
Всего по СШ-1 6 кВ	3200,0	0,85	1983,4	3764,8	362,4
СШ-2 6 кВ					
Ф-8, ТП-125	500,0	0,85	309,8	588,2	56,6
Ф-9, ТП-118	550,0	0,85	340,9	647,1	62,3
Ф-10, ТП-212	350,0	0,85	217,0	411,8	39,6
Ф-11, ТП-133	450,0	0,85	278,9	529,4	50,9
Ф-12, ТП-225	550,0	0,85	340,9	647,1	62,3
Всего по СШ-2 6 кВ	2400,0	0,85	1487,5	2823,6	271,8
Всего по РП-18 (с учётом $K_o=0,85$)	4760,0	0,85	2942,6	5596,1	538,6

Результаты расчёта электрических нагрузок используются далее.

2.2 Выбор и проверка проводников

Проводится непосредственная проверка существующих и выбор новых проводников, которые планируется установить на РУ-6 кВ РП-18 после реконструкции схемы электрических соединений.

До проведения реконструкции объекта, в РУ-6 кВ РП-18 были использованы следующие типы проводников:

- питающая кабельная линия 6 кВ, выполненная с применением двух силовых кабелей марки АСБ-6 (3×120) и получающая питание от понизительной подстанции 110/6 кВ «Восточная», находящейся на Новозаводской улице г. о. Тольятти;

– десять отходящих кабельных линий марки АСБ-6 (3×120), необходимых для питания потребителей РП-18 на номинальном напряжении 6 кВ.

Все перечисленные проводники необходимо проверить в работе на соответствие расчётным параметрам электрической сети.

В результате проведения реконструкции схемы электрических соединений в работе необходимо выбрать и проверить сечение двух новых кабельных линий 6 кВ, подключённых на ячейки «Резерв», которые получают питание от двух различных секций сборных шин 6 кВ после реконструкции РП-18.

Как было указано выше, на объекте используются кабельные линии марки АСБ-6. После реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования РУ-6 кВ РП-18 замена кабелей марки АСБ-6 не требуется, что обосновывается несколькими существенными аргументами.

Во-первых, кабели АСБ-6 обладают высокими эксплуатационными характеристиками, соответствующими требованиям современного электроэнергетического оборудования [9].

Их конструкция обеспечивает надёжность передачи электроэнергии при напряжении 6 кВ, а также устойчивость к электрическим и механическим нагрузкам, что подтверждается длительным периодом их эксплуатации без существенных нареканий.

Во-вторых, проведённые испытания и диагностика существующих кабелей показали отсутствие критических дефектов и износа, которые могли бы повлиять на их дальнейшую работоспособность.

Изоляция кабелей находится в удовлетворительном состоянии, а электрические параметры соответствуют нормативным значениям. Данный факт свидетельствует о том, что кабели АСБ-6 способны обеспечить безопасную и эффективную передачу электроэнергии в новых условиях эксплуатации после модернизации оборудования.

Кроме того, использование существующих кабелей позволяет значительно сократить финансовые затраты и время, связанные с проведением работ по замене кабельных линий. Учитывая экономическую эффективность и отсутствие технической необходимости в замене, продолжение эксплуатации кабелей АСБ-6 является рациональным решением. Данный аспект также минимизирует перерывы в электроснабжении и снижает риски, связанные с монтажом новых кабелей, включая возможные ошибки при установке и подключении [10].

С точки зрения совместимости, кабели АСБ-6 полностью соответствуют модернизированной системе и не требуют дополнительных мероприятий по адаптации или переоборудованию. Их технические характеристики обеспечивают полную функциональность в сочетании с новым оборудованием РУ-6 кВ РП-18, что подтверждается соответствующими расчетами и техническими обоснованиями.

Таким образом, сохранение кабелей марки АСБ-6 для дальнейшего использования на данном объекте является технически обоснованным и экономически целесообразным решением, которое обеспечивает надёжность и эффективность работы электроэнергетической системы без необходимости дополнительных инвестиций и вмешательств в существующую инфраструктуру.

Проводится непосредственная проверка и выбор кабелей РУ-6 кВ РП-18 на примере питающей кабельной линии 6 кВ (далее – КЛ-6 кВ).

Известно, что выбор рационального сечения проводников напряжением выше 1 кВ осуществляется по экономической плотности тока [12]:

$$F_3 = \frac{I_{p.}}{j_3}, \quad (8)$$

где $I_{p.}$ - расчётный ток, А;

« j_3 – экономическая плотность тока, А/мм² (для силовых кабелей марки АСБ-6 принимается $j_3=1,4$ А/мм²)» [12].

Принимается значение максимального рабочего тока питающей КЛ-6 кВ большим в 1,4 раза тока нормального режима [13]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot I_p, \quad (9)$$

где « S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [13].

«Проверка выбранного сечения провода в нормальном режиме» [13]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (10)$$

где « $I_{\text{доп}}$ – допустимое справочное значение тока проводника, А» [13].

В максимальном режиме [13]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\max}. \quad (11)$$

«Проверка по механической прочности» [10]:

$$F_{\text{ст}} \geq F_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (12)$$

Расчётный ток нормального режима для данной линии принимается с учётом рассчитанного ранее тока в результате её реконструкции. Он был рассчитан ранее и составляет 538,6 А. Так как питание РП-18 осуществляется от ПС-110/6 кВ «Восточная» по двум силовым кабелям 6 кВ, на каждый из них приходится половина суммарной нагрузки. Следовательно, условно можно принять для каждого кабеля следующее соотношение:

$$I_p = \frac{I_{p.\Sigma}}{2}, \text{ А}, \quad (13)$$

где $I_{p.\Sigma}$ - расчётный суммарный ток РП-18, А.

Значит:

$$I_{p.} = \frac{538,6}{2} = 269,3 \text{ А.}$$

Сечение питающей кабельной линии КЛ-6 кВ РП-18:

$$F_{\text{э}} = \frac{269,3}{1,4} \approx 192,4 \text{ мм}^2.$$

Исходя из полученного результата, принимается сечение питающих кабелей напряжением 6 кВ равным 240 мм² с длительным допустимым током 385 А [1].

Сечение данного проводника не совпадает с сечением кабеля, установленного на питающей линии до проведения реконструкции.

Таким образом, предварительно кабели питающей КЛ-6 кВ необходимо заменить с марки АСБ-6 (3×120) на марку АСБ-6 (3×240) [3].

Проверяется выбранное сечение проводников КЛ-6 кВ.

Расчётный ток максимального режима на стороне 6 кВ РП-18 с учётом резервирования (для каждого кабеля питающей линии 6 кВ):

$$I_{p.\text{max}} = 1,4 \cdot 269,3 = 377,02 \text{ А.}$$

Проверка выбранного сечения КЛ-6 кВ по току, соответственно, нормального и максимального режима выполняется:

$$385 \text{ А} \geq 269,3 \text{ А,}$$

$$385 \text{ А} \geq 377,02 \text{ А.}$$

Условия механической прочности для питающей КЛ-6 кВ также соблюдены:

$$240 \text{ мм}^2 \geq 25 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, для применения на питающей КЛ-6 кВ окончательно принимается два силовых кабеля марки АСБ-6 (3×240) с длительным допустимым током 385 А [1].

Результаты выбора остальных кабелей распределительной сети 6 кВ РП-18 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты выбора кабелей питающей и распределительной сети 6 кВ РП-18

Наименование присоединения	I_p , А	$I_{p.max}$, А	$S_{ст}$, мм ²	Марка кабеля	$I_{доп.}$, А
Питающая КЛ-6 кВ					
РУ-6 кВ ПС «Восточная» - Ввод 1	269,3	377,02	240	АСБ-6 (3×240)	385,0
РУ-6 кВ ПС «Восточная» - Ввод 2	269,3	377,02	240	АСБ-6 (3×240)	385,0
СШ-1 6 кВ					
Ф-1, ТП-115	62,3	87,2	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
Ф-2, ТП-138	39,6	55,4	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
Ф-3, ТП-133	50,9	71,3	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
Ф-4, ТП-118	62,3	87,2	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
Ф-5, ТП-204	39,6	55,4	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
Ф-6, ТП-124	56,6	79,2	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
Ф-7, ТП-228	50,9	71,3	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
СШ-2 6 кВ					
Ф-8, ТП-125	56,6	79,2	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
Ф-9, ТП-118	62,3	87,2	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
Ф-10, ТП-212	39,6	55,4	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
Ф-11, ТП-133	50,9	71,3	50	АСБ-6 (3×50)	149,0
Ф-12, ТП-225	62,3	87,2	50	АСБ-6 (3×50)	149,0

В результате проведения выбора и проверки сечения проводников на реконструируемом РП-18, обосновано применение следующих кабелей:

- для применения на питающей КЛ-6 кВ окончательно принимается два силовых кабеля марки АСБ-6 (3×240) с длительным допустимым током 385 А, которые не совпадают с ранее установленными

силовыми кабелями марки АСБ-6 (3×120). Таким образом, ранее установленные кабели указанной марки требуется демонтировать с заменой на новое сечение, так как существующее до реконструкции сечение КЛ-6 кВ не соответствует нагрузочной и перегрузочной способности для питания объекта в связи с существенным увеличением его нагрузки;

- на всех отходящих кабельных линиях для питания потребителей РП-18 на номинальном напряжении 6 кВ, были выбраны, проверены и подтверждены силовые кабели марки АСБ-10 (3×50), включая две новые кабельные линии для питания потребителей, введённые в эксплуатацию после проведения реконструкции схемы объекта.

2.3 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания в распределительном устройстве 6 кВ РП-18 является актуальной и важной задачей в процессе модернизации и обеспечения надёжной работы электрической сети.

Точное определение параметров короткого замыкания необходимо для правильного выбора и настройки защитного оборудования, оценки термических и динамических воздействий на элементы системы, а также для обеспечения безопасности эксплуатации электроустановок.

Актуальность данного расчёта обусловлена увеличением нагрузок и изменением схемы электрических соединений после реконструкции и модернизации оборудования РУ-6 кВ РП-18. Новые условия эксплуатации требуют пересмотра ранее рассчитанных параметров, так как изменения в конфигурации сети и характеристиках оборудования могут существенно влиять на величины токов короткого замыкания. Несоответствие защитных устройств фактическим параметрам короткого замыкания может привести к неправильной работе релейной защиты, увеличению риска аварий и повреждению оборудования.

Важность расчёта токов короткого замыкания заключается в необходимости обеспечения селективной и надёжной работы системы релейной защиты и автоматики. Данный аспект позволяет минимизировать последствия аварийных ситуаций, ограничивая зону повреждения и быстро отключая повреждённые участки сети. Кроме того, знание точных значений токов короткого замыкания необходимо для выбора коммутационного и защитного оборудования с соответствующими номинальными параметрами, что обеспечивает долговечность и безопасность эксплуатации.

Последовательность расчёта токов короткого замыкания включает в себя сбор и анализ исходных данных, таких как схема электрической сети, параметры линий и прочих элементов системы.

Затем выполняется моделирование сети с учётом возможных режимов работы и типов коротких замыканий (в качестве основного принимается трёхфазное симметричное КЗ).

Далее, с использованием методов электротехнических расчётов, определяются значения максимальных и минимальных токов короткого замыкания в различных точках сети.

Результаты расчётов анализируются для принятия решений по выбору и настройке защитных устройств, а также для оценки устойчивости и надёжности работы системы в целом.

Таким образом, расчёт токов короткого замыкания в РУ-6 кВ РП-18 является важным этапом в обеспечении эффективной и безопасной работы электроэнергетической системы, отвечающей современным стандартам и требованиям нормативных документов.

При этом, как было указано ранее, в расчётную схему включаются также параметры питающей энергосистемы в виде её обобщённого сопротивления.

Кроме того, известен ток трёхфазного КЗ на шинах энергосистемы (на выводах РУ-6 кВ питающей ПС-110/6 кВ «Восточная»).

Таким образом, в работе, исходя из поставленных задач, предполагается расчёт токов КЗ провести в сети 6 кВ (точка К1), которая находится на выводах РУ-6 кВ РП-18.

Расчётная схема, построенная по однолинейной схеме СЭС объекта исследования и представленная на рисунке 4, визуализирует конфигурацию сети и способствует более точным расчётам, что имеет большое значение для успешной реконструкции и модернизации системы электроснабжения объекта исследования.

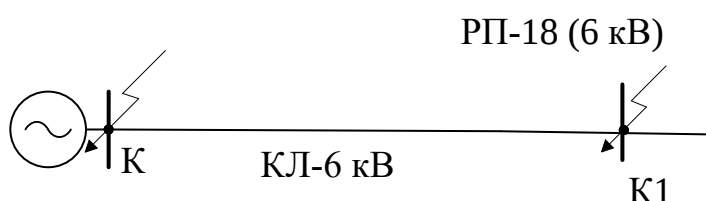


Рисунок 4 – Схема для расчётов токов КЗ на выводах РУ-6 кВ РП-18

Эквивалентная схема замещения для определения токов КЗ на выводах РУ-6 кВ РП-18 представлена в работе на рисунке 5.

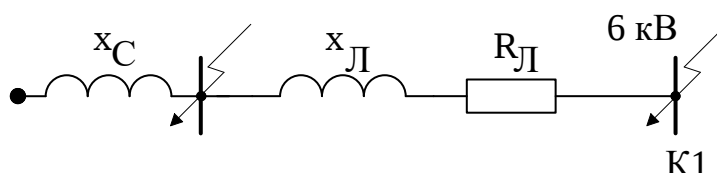


Рисунок 5 – Эквивалентная схема замещения для определения токов КЗ на выводах РУ-6 кВ РП-18

Расчёт токов трёхфазного короткого замыкания выполняется в именованных единицах.

В качестве базисного напряжения принимается напряжение в максимальном режиме работы на шинах 6 кВ РП-18, равное $U_6 = 6,3$ кВ.

Ток короткого замыкания на шинах энергосистемы в точке К составляет 2,5 кА при максимальной нагрузке.

Определяются параметры схемы замещения.

«Сопротивление энергосистемы» [11]:

$$X_C = \frac{U_C}{\sqrt{3} \cdot I_{К.макс}^{(3)}}, \quad (14)$$

$$X_C = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 2,5} = 1,45 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления питающей кабельной линии электропередачи напряжением 6,3 кВ, выбранной после реконструкции» [11]:

$$R_{Л} = r_{уд} \cdot L, \quad (15)$$

где « $r_{уд}$ - удельное активное сопротивление КЛ, Ом/км;

L - суммарная длина КЛ, км» [11].

$$X_{Л} = x_{уд} \cdot L, \quad (16)$$

где « $x_{уд}$ - удельные реактивное сопротивления КЛ, Ом/км» [11].

Питающая КЛ-6 кВ выполнена силовыми кабелями марки АСБ-6 (3×240) и имеет длину 2 км, поэтому величина её активного и индуктивного сопротивлений:

$$R_{Л} = 0,164 \cdot 2 = 0,328 \text{ Ом,}$$

$$X_{Л} = 0,073 \cdot 2 = 0,146 \text{ Ом.}$$

«Суммарное сопротивление до расчётной точки К1» [11]:

$$X_{\Sigma} = X_C + X_{Л}, \text{ Ом,} \quad (17)$$

$$R_{\Sigma} = R_{Л}, \text{ Ом,} \quad (18)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}, \quad (19)$$

$$X_{\Sigma} = 1,45 + 0,146 = 1,596 \text{ Ом},$$

$$R_{\Sigma} = 0,328 \text{ Ом}.$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{1,596^2 + 0,328^2} = 1,629 \text{ Ом}.$$

«Ток трехфазного короткого замыкания» [11]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}, \text{ А.} \quad (20)$$

«Искомый ток трёхфазного КЗ точке К1» [11]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 1,629} = 2,24 \text{ кА}.$$

Ударный ток короткого замыкания в распределительном устройстве 6 кВ (РУ-6 кВ) РП-18 представляет собой важный параметр, определяющий динамические и термические нагрузки на оборудование в момент аварии. Актуальность исследования этого тока обусловлена необходимостью обеспечения надёжности и безопасности работы электрооборудования, а также правильного выбора и настройки аппаратов защиты и коммутации.

Значение ударного тока короткого замыкания необходимо для расчёта механических сил, действующих на элементы электрической сети, такие как шины, кабели, трансформаторы и выключатели. Превышение допустимых нагрузок может привести к повреждению оборудования, выходу его из строя и созданию опасных ситуаций для персонала и окружающей среды. Поэтому точное определение ударного тока является ключевым фактором при реконструкции и модернизации электрических сетей.

Таким образом, расчёт ударного тока короткого замыкания в РУ-6 кВ РП-18 является неотъемлемой частью процесса обеспечения безопасной и эффективной работы электроэнергетической системы, позволяя предотвратить аварийные ситуации и продлить срок службы оборудования.

«Ударный ток короткого замыкания» [11]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{уд} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА}, \quad (21)$$

где « $\kappa_{уд}$ » – ударный коэффициент тока короткого замыкания» [11].

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 2,24 = 4,43 \text{ кА}.$$

Расчётным путём определено, что значения трёхфазного тока КЗ на выводах РУ-6 кВ РП-18, будут равны 2,24 кА, а ударного тока трёхфазного КЗ – 4,43 кА.

Рассчитанные значения тока КЗ и ударного тока на выводах РУ-6 кВ РП-18 используются при проверке оборудования на термическую и электродинамическую устойчивость, а также для проверки высоковольтных выключателей 6 кВ на отключающую способность.

2.4 Выбор и компоновка ячеек 6 кВ РП-18

Ранее в работе было установлено, что в распределительном устройстве 6 кВ РП-18 находится следующее коммутационное и защитное оборудование: выключатели высокого напряжения марки ВМП-10/630, разъединители марки РВ-10/400, трансформаторы напряжения марки НАМИ-6, трансформаторы тока марки ТПОЛ-10, трансформаторы собственных нужд марки ТМ-25/6, ограничители перенапряжения марки ОПН-П-6/6,0/10/0,6-III УХЛ2.

Всё перечисленное оборудование установлено в ячейках типа КСО-272 [4], которые также устарели и требуют замены.

Таким образом установлено, что многое оборудование, находящееся в исходной схеме РУ-6 кВ РП-18 требует замены на новые модификации. Следовательно, в работе, помимо реконструкции схемы электрических соединений РУ-6 кВ, также обоснована необходимость проведения модернизации оборудования в РУ-6 кВ РП-18.

Выбор новых современных модификаций электрических аппаратов для установки в РУ-6 кВ РП-18 обусловлен необходимостью повышения надежности и безопасности энергосистемы.

Современные электрические аппараты обладают улучшенными техническими характеристиками и повышенной надежностью, что снижает риск аварий и сбоев в работе, обеспечивая стабильное и бесперебойное электроснабжение потребителей [10].

Таким образом, в работе в первую очередь требуется выбрать новые современные ячейки для применения в РУ-6 кВ РП-18 и далее укомплектовать их современными электрическими аппаратами.

Для применения в РУ-6 кВ РП-18 выбирается современное вакуумное комплектное распределительное устройство с выкатным элементом КРУ-ZETO-10, произведенное ЗАО «ЗЭТО» [16].

Современное вакуумное комплектное распределительное устройство с выкатным элементом КРУ-ZETO-10, произведённое ЗАО «ЗЭТО», представляет собой высокотехнологичное решение для распределения электроэнергии в сетях среднего напряжения. Основной особенностью конструкции данного устройства является использование вакуумных выключателей, которые обеспечивают высокую надёжность коммутационных операций и длительный срок службы без необходимости частого обслуживания.

Конструкция КРУ-ZETO-10 предусматривает выкатной элемент, что значительно упрощает монтаж, эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования. Выкатной модуль позволяет быстро производить замену или ремонт выключателя без необходимости полного отключения

распределительного устройства, что повышает оперативность и безопасность работы персонала.

Преимущества данного устройства включают компактность и модульность конструкции, что способствует оптимальному использованию пространства в распределительном пункте и облегчает возможное расширение системы в будущем. Высокая электрическая и механическая прочность обеспечивается за счёт применения современных материалов и технологий производства, что гарантирует устойчивость к динамическим и термическим воздействиям при аварийных режимах работы.

КРУ-ZETO-10 оснащено современной системой релейной защиты и автоматики, интегрированной в общую конструкцию устройства. Данный аспект повышает уровень надёжности и безопасности эксплуатации, позволяя эффективно реагировать на нештатные ситуации и предотвращать развитие аварий.

Использование высококачественной изоляции и продуманной системы воздушных зазоров обеспечивает высокий уровень электрической прочности и минимизирует риски пробоев.

Кроме того, устройство соответствует современным стандартам и требованиям экологической безопасности. Применение вакуумных выключателей исключает использование элегаза, что снижает негативное воздействие на окружающую среду и упрощает утилизацию оборудования после окончания срока службы.

Таким образом, внедрение современных ячеек КРУ-ZETO-10 в РУ-6 кВ РП-18 позволит значительно повысить надёжность и эффективность распределения электроэнергии, обеспечить высокий уровень безопасности для персонала и оборудования, а также соответствовать современным техническим и экологическим стандартам.

На следующем этапе необходимо провести компоновку выбранных ячеек КРУ-ZETO-10 в РУ-6 кВ РП-18 электрическими аппаратами.

Выбор аппаратов для данной цели проводится по источнику [16], который предусматривает компоновку именно указанного типа ячеек.

Результаты выбора и проверки всех аппаратов показаны в табличной форме. При выборе принимаются максимальные значения токов 6 кВ на шинах РП-18, рассчитанные в работе ранее.

Известно, что важнейшими коммутационными и защитными электрическими аппаратами являются выключатели высокого напряжения. Результаты выбора новых выключателей напряжением 6 кВ для применения на РП-18, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора новых выключателей напряжением 6 кВ для применения на РП-18

Наименование и марка аппарата (модуля)	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные аппарата (модуля)
Вводы 1 и 2 РП-18: выключатели вакуумные VF-12- 31,5/1000 [16]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 269,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 2,24 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,43 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 81 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,24^2 \cdot 3 =$ $= 15,05 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 \approx$ $\approx 2977 \text{ кА}^2\text{с}$
Секционное присоединение РП-18: выключатель вакуумный VF-12- 31,5/1000 [16]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 192,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 2,24 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,43 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 81 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,24^2 \cdot 3 =$ $= 15,05 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 \approx$ $\approx 2977 \text{ кА}^2\text{с}$
Линейные присоединения РП-18: выключатели вакуумный VF-12- 31,5/1000 [16]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 87,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 2,24 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,43 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 81 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,24^2 \cdot 3 =$ $= 15,05 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 \approx$ $\approx 2977 \text{ кА}^2\text{с}$

Новые ячейки РУ-6 кВ оснащены втычными контактами, которые выполняют роль разъединителя, размыкая цепь при выводе ячеек в ремонтное положение. Таким образом, разъединители марки РВ-10/400 из старых ячеек необходимо демонтировать, так как в модернизированном варианте ячеек они не устанавливаются.

Проводится выбор измерительных трансформаторов, к которым относятся трансформаторы напряжения (ТН) и трансформаторы тока (ТТ).

Согласно исходной схеме электрических соединений, трансформаторы напряжения установлены в ячейках РУ-6 кВ РП-18. С учётом этого, проводится их проверка. Ячейки комплектуются новыми трансформаторами напряжения марки ЗНОЛ.06-6 [16].

Результаты проверки трансформаторов напряжения для применения на стороне 6 кВ РП-18, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты проверки трансформаторов напряжения для применения на стороне 6 кВ РП-18

Наименование и марка аппарата (модуля)	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные аппарата (модуля)
Трансформаторы напряжения марки ЗНОЛ.06-6 [16]	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 269,3 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 500 \text{ А}$
	$S_{вт.цепей} \leq S_{обм.ном}$	$S_{вт.цепей} = 40 \text{ ВА}$	$S_{обм.ном} = 75 \text{ ВА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,43 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,24^2 \cdot 3 = 15,05 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Ячейки комплектуются новыми трансформаторами тока марки ТОЛ 6 0,5S/10P 5/2 О [16]. Известно, что для измерительных трансформаторов тока важно выбрать ближайший номинальный первичный ток, чтобы уменьшить погрешность всей системы измерений, поэтому в работе их выбор проводится для каждого линейного присоединения (с разными токами). Результаты выбора и проверки новых трансформаторов тока для применения в РП-18, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора и проверки новых трансформаторов тока для применения в РП-18

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Вводы 1 и 2 РП-18: трансформаторы тока ТОЛ 6 0,5S/10P 5/2 О [16]	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 269,3 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 300 \text{ А}$
	$S_{вт.цепей} \leq S_{обм.ном}$	$S_{вт.цепей} = 10 \text{ ВА}$	$S_{об.ном} = 50 \text{ ВА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,43 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,24^2 \cdot 3 = 15,05 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Секционное присоединение РП-18: трансформаторы тока ТОЛ 6 0,5S/10P 5/2 О [16]	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 192,4 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 200 \text{ А}$
	$S_{вт.цепей} \leq S_{обм.ном}$	$S_{вт.цепей} = 10 \text{ ВА}$	$S_{об.ном} = 50 \text{ ВА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,43 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,24^2 \cdot 3 = 15,05 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Линейные присоединения РП-18: трансформаторы тока ТОЛ 6 0,5S/10P 5/2 О [16]	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$S_{вт.цепей} \leq S_{обм.ном}$	$S_{вт.цепей} = 10 \text{ ВА}$	$S_{об.ном} = 50 \text{ ВА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,43 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,24^2 \cdot 3 = 15,05 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Ф-1, ТП-115	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 87,2 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 100 \text{ А}$
Ф-2, ТП-138	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 55,4 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 75 \text{ А}$
Ф-3, ТП-133	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 71,3 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 75 \text{ А}$
Ф-4, ТП-118	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 87,2 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 100 \text{ А}$
Ф-5, ТП-204	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 55,4 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 75 \text{ А}$
Ф-6, ТП-124	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 79,2 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 80 \text{ А}$
Ф-7, ТП-228	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 71,3 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 75 \text{ А}$
Ф-8, ТП-125	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 79,2 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 80 \text{ А}$
Ф-9, ТП-118	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 87,2 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 100 \text{ А}$
Ф-10, ТП-212	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 55,4 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 75 \text{ А}$
Ф-11, ТП-133	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 71,3 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 75 \text{ А}$
Ф-12, ТП-225	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 87,2 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 100 \text{ А}$

Таким образом, выбранные первичные номинальные токи ТТ применяются в схемах РЗиА, телемеханики и измерений на РП-18.

Ограничители перенапряжения являются важным элементом в составе ячеек КРУ-ZETO-10, используемых в распределительном пункте РП-18. Их основная функция заключается в защите электрооборудования от опасных воздействий атмосферных и коммутационных перенапряжений, возникающих в сетях среднего напряжения.

В условиях эксплуатации распределительных устройств напряжением 6 кВ перенапряжения могут возникать вследствие грозовых разрядов или коммутационных процессов, приводя к резкому увеличению электрического потенциала, что способно повредить изоляцию оборудования и вывести его из строя.

Установка ограничителей перенапряжения непосредственно в ячейках КРУ-ZETO-10 обеспечивает эффективное подавление высоковольтных импульсов, ограничивая амплитуду перенапряжений до безопасных уровней.

Таким образом, ограничители перенапряжения защищают не только отдельные устройства, но и всю электрическую систему от возможных аварийных ситуаций.

Кроме того, ограничители перенапряжения способствуют повышению надёжности и долговечности работы оборудования. Они уменьшают нагрузку на изоляционные материалы и предотвращают их преждевременный износ, что снижает частоту технического обслуживания и затрат на ремонт.

В контексте модернизации РП-18, использование ограничителей перенапряжения соответствует современным требованиям к безопасности и эффективности эксплуатации электроэнергетических объектов.

Таким образом, роль ограничителей перенапряжения в ячейках КРУ-ZETO-10 в РП-18 заключается в комплексной защите оборудования и обеспечении надёжного и безопасного электроснабжения.

Результаты проверки ограничителей перенапряжения для применения в РП-18 представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты проверки ограничителей перенапряжения для применения в РП-18

Наименование и марка аппарата (модуля)	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные аппарата (модуля)
ОПНп-6 УХЛ1 [19]	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 269,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{макс.проп.}$	$I_{н.т} = 2,24 \text{ кА}$	$I_{макс.проп.} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,43 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$

Кроме того, комплектация ячеек КРУ-ZETO-10 предполагает использование сухих трансформаторов собственных нужд (ТСН), поэтому в РП-18 осуществляется замена масляных ТСН марки ТМ-25/6 на сухие ТСН марки ТСЛ-25/6 (количество – 2 единицы) [16].

Таким образом, в результате выбора и проверки электрических аппаратов, в связи с реконструкцией схемы электрических соединений и модернизацией оборудования 6 кВ РП-18, приняты решения по выбору нового оборудования и проверке существующего оборудования, которое находится в нормальном техническом состоянии и не требует замены.

Выводы по разделу 2.

Осуществлён расчёт максимальных индивидуальных нагрузок всех присоединений, а также групповых расчётных нагрузок секций сборных шин и всей РУ-6 кВ РП-18.

В результате проведения выбора и проверки сечения проводников на реконструируемом РП-18, обосновано применение следующих кабелей:

- для применения на питающей КЛ-6 кВ окончательно принимается два силовых кабеля марки АСБ-6 (3×240) с длительным допустимым током 385 А, которые не совпадают с ранее установленными силовыми кабелями марки АСБ-6 (3×120). Таким образом, ранее установленные кабели указанной марки требуется демонтировать с заменой на новое сечение, так как существующее до реконструкции сечение КЛ-6 кВ не соответствует нагрузочной и перегрузочной

способности для питания объекта в связи с существенным увеличением его нагрузки;

- на всех отходящих кабельных линиях для питания потребителей РП-18 на номинальном напряжении 6 кВ, были выбраны, проверены и подтверждены силовые кабели марки АСБ-10 (3×50), включая две новые кабельные линии для питания потребителей, введённые в эксплуатацию после проведения реконструкции схемы объекта.

Расчётным путём определено, что значения трёхфазного тока КЗ на выводах РУ-6 кВ РП-18, будут равны 2,24 кА, а ударного тока трёхфазного КЗ – 4,43 кА. Рассчитанные значения тока КЗ и ударного тока на выводах РУ-6 кВ РП-18 используются при проверке оборудования на термическую и электродинамическую устойчивость, а также для проверки высоковольтных выключателей 6 кВ на отключающую способность.

Для применения в РУ-6 кВ РП-18 выбраны ячейки современного вакуумного комплектного распределительного устройства с выкатным элементом КРУ-ZETO-10, произведенное ЗАО «ЗЭТО». Проведена компоновка выбранных ячеек следующими электрическими аппаратами, выбранных по каталогу, который предусматривает компоновку именно указанного типа ячеек:

- вакуумными выключателями VF-12-31,5/1000;
- трансформаторами тока ТОЛ 6 0,5S/10P 5/2 О;
- трансформаторами напряжения марки ЗНОЛ.06-6;
- ограничителями перенапряжения марки ОПНп-6 УХЛ1.

Кроме того, комплектация ячеек КРУ-ZETO-10 предполагает использование сухих трансформаторов собственных нужд (ТСН), поэтому в РП-18 осуществляется замена масляных ТСН марки ТМ-25/6 на сухие ТСН марки ТСЛ-25/6 (количество – 2 единицы). Таким образом, всё выбранное оборудование, проходит все требуемые проверки, следовательно, оно подходит для компоновки РУ-6 кВ 6 кВ РП-18 после реконструкции.

3 Релейная защита и заземление РУ-6 кВ РП-18

3.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Известно, что выбор устройств релейной защиты и автоматики для установки в ячейках КРУ-ZETO-10 в РП-18 является ключевым этапом в обеспечении надёжной и эффективной работы электроэнергетической системы.

При этом необходимо учитывать технические характеристики оборудования, совместимость с существующей инфраструктурой, а также соответствие современным стандартам и нормативным требованиям.

Основной задачей релейной защиты является быстрое и селективное отключение повреждённого участка сети при возникновении аварийных ситуаций, что предотвращает распространение повреждений и обеспечивает безопасность персонала и оборудования.

Важно отметить, что микропроцессорные устройства релейной защиты обеспечивают возможность дистанционного мониторинга и управления, а также интеграцию в автоматизированные системы диспетчерского управления.

Данный аспект позволяет оперативно реагировать на изменения в сети, проводить анализ аварийных событий и оптимизировать режимы работы оборудования.

При выборе конкретных моделей устройств релейной защиты и автоматики необходимо учитывать номинальные параметры сети, конфигурацию распределительного пункта, а также требования по электромагнитной совместимости и устойчивости к внешним воздействиям.

Следует обеспечить совместимость с измерительными трансформаторами тока и напряжения, установленными в ячейках, а также предусмотреть возможность расширения функционала в будущем.

Кроме того, выбор устройств должен основываться на экономической эффективности, включая затраты на приобретение, установку и последующую эксплуатацию оборудования.

Предпочтение следует отдавать устройствам с длительным сроком службы, минимальными требованиями к техническому обслуживанию и наличием сервисной поддержки со стороны производителя.

Таким образом, грамотный выбор устройств релейной защиты и автоматики для установки в ячейках КРУ-ZETO-10 в РП-18 является важным условием для обеспечения надёжного и безопасного электроснабжения, соответствующего современным техническим требованиям, нормативам и стандартам.

Для достижения поставленной цели предпочтительно использовать современные микропроцессорные устройства релейной защиты, которые обладают высокой точностью, быстродействием и широкими функциональными возможностями.

В ячейках КРУ-ZETO-10 рекомендуется устанавливать микропроцессорные блоки релейной защиты марки IPR-A, которые производятся отечественным предприятием ЗАО «Элтехника» и зарекомендовали себя как надёжные и эффективные устройства [6].

Данные блоки позволяют реализовать комплекс защитных функций, включая защиту от коротких замыканий, перегрузок, перенапряжений и других ненормальных режимов работы.

Кроме того, они поддерживают функции автоматизации, такие как автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматическое включение резерва (АВР), что повышает общую устойчивость энергосистемы.

Основной вид данных микропроцессорных блоков [6] представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – «Микропроцессорный блок РЗиА марки IPR-A (производитель – ЗАО «Элтехника»)» [9]

Микропроцессорные блоки релейной защиты и автоматики марки IPR-A, производимые ЗАО «Элтехника», представляют собой современное решение для обеспечения надёжной защиты и автоматизации в электрических сетях среднего напряжения.

Данные устройства интегрируют в себе передовые технологии обработки сигналов и управления, что позволяет реализовать широкий спектр защитных функций с высокой точностью и быстродействием.

Основной особенностью блоков IPR-A является их многофункциональность и возможность комплексной защиты электрооборудования.

Такие современные устройства обеспечивают токовую отсечку, максимальную токовую защиту, защиту от перенапряжений, дифференциальную защиту и другие необходимые функции, что способствует повышению надёжности и безопасности работы энергосистемы.

Высокая адаптивность устройств РЗиА позволяют учитывать специфические условия эксплуатации на конкретном объекте, обеспечивая оптимальную селективность защит.

Применение блоков IPR-A в ячейках КРУ-ZETO-10 в РП-18 обосновано их полной совместимостью с данным типом оборудования и способностью интегрироваться в существующую инфраструктуру.

Устройства поддерживают современные протоколы связи, такие как IEC 61850, что позволяет включить их в автоматизированные системы диспетчерского управления и мониторинга.

Наличие данной функции обеспечивает оперативный контроль состояния системы, быструю диагностику и возможность удалённого управления, что существенно повышает эффективность эксплуатации.

Кроме того, блоки IPR-A характеризуются высокой надёжностью и устойчивостью к внешним воздействиям, таким как электромагнитные помехи и климатические факторы. Они оснащены функциями самодиагностики и регистрации аварийных событий, что облегчает техническое обслуживание и позволяет своевременно обнаруживать и устранять неисправности. Данный аспект снижает риск развития аварийных ситуаций и сокращает время простоя оборудования.

Установка микропроцессорных блоков IPR-A в ячейках КРУ-ZETO-10 способствует повышению общей эффективности и безопасности работы распределительного пункта РП-18.

Они обеспечивают современный уровень защиты, соответствуют актуальным стандартам и нормативным требованиям в области электроэнергетики, а также позволяют реализовать концепцию «умной» энергосистемы с возможностью гибкого управления и мониторинга.

Таким образом, выбор устройств марки IPR-A для релейной защиты и автоматики в ячейках КРУ-ZETO-10 является технически обоснованным и перспективным решением, направленным на повышение надёжности, безопасности и эффективности работы энергосистемы в целом.

3.2 Расчёт контура заземления РП-18

Расчёт контура заземления распределительного пункта РП-18 является неотъемлемой частью проектирования и эксплуатации электроэнергетических объектов.

Необходимость этого расчёта обусловлена критической ролью заземляющих устройств в обеспечении электробезопасности, надёжности работы оборудования и соответствия нормативным требованиям.

Заземление служит для защиты персонала от поражения электрическим током, предотвращения повреждений оборудования из-за перенапряжений и обеспечения корректной работы систем релейной защиты и автоматики [8].

Актуальность проведения расчёта контура заземления возрастает в условиях модернизации и реконструкции энергетических объектов, таких как РП-18.

Изменение конфигурации оборудования, увеличение нагрузок и внедрение новых технологий требуют пересмотра существующей системы заземления.

Несоответствие параметров заземляющего контура современным стандартам может привести к серьёзным аварийным ситуациям, выходу из строя дорогостоящего оборудования и созданию опасных условий для работы обслуживающего персонала.

Практическая ценность расчёта контура заземления заключается в возможности оптимизировать его параметры для обеспечения минимального сопротивления растеканию тока замыкания на землю.

Данный фактор достигается путём определения оптимальной конфигурации заземлителей, их количества, глубины заложения и материалов изготовления с учётом геологических и климатических условий местности.

Точный расчёт позволяет обеспечить эффективное функционирование заземляющей системы при минимальных затратах ресурсов и материалов.

Кроме того, корректно спроектированный контур заземления способствует снижению уровня электромагнитных помех, что особенно важно при использовании современных микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики. Данный аспект повышает надёжность функционирования защитных систем, уменьшает риск ложных срабатываний и обеспечивает стабильность работы всего электроэнергетического комплекса.

В процессе расчёта учитываются такие факторы, как удельное сопротивление грунта, наличие агрессивных сред, глубина промерзания, а также взаимодействие с другими заземляющими устройствами и коммуникациями.

Комплексный подход позволяет создать заземляющую систему, способную эффективно функционировать на протяжении длительного времени без необходимости частого обслуживания или модернизации.

Таким образом, расчёт контура заземления РП-18 не только обеспечивает соответствие нормативным требованиям и стандартам безопасности, но и играет ключевую роль в повышении общей эффективности и надёжности работы электроэнергетической системы.

Инвестиции в качественное проектирование и реализацию заземляющей системы окупаются за счёт снижения эксплуатационных рисков, продления срока службы оборудования и обеспечения безопасности персонала и потребителей электроэнергии.

«Проводится расчёт контура защитного заземления РП-18. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта с учётом коэффициентов вертикальных и горизонтальных заземлителей (соответственно K_v и K_z)» [5]:

$$\rho_{p,z} = \rho_{y\partial} \cdot K_{n,z}, \quad (22)$$

где « $\rho_{y\partial}$ – значения удельного сопротивления грунта, Ом;

$K_{n,z}$ – коэффициент использования горизонтальных электродов» [5].

$$\rho_{p.в} = \rho_{уд} \cdot K_{н.в} , \quad (23)$$

где $K_{н.в}$ – коэффициент использования вертикальных электродов» [5]

$$\rho_{p.з} = 100 \cdot 1,2 = 120 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{p.в} = 100 \cdot 1,1 = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Определяется сопротивление растекания одного вертикального электрода» [5]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}, \quad (24)$$

где « l, t, d – принятые габариты и размеры электродов, м» [5].

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{110}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,016} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 48,5 \text{ Ом}.$$

«Число вертикальных заземлителей» [5]:

$$n = \frac{R_{О.В}}{K_{В.} R_{з.норм}}, \text{ шт}, \quad (25)$$

$$N = \frac{48,5}{0,66 \cdot 4} = 18,4 \text{ шт}.$$

«Принимается $n = 18$ шт.

Уточнённые значения расчётных параметров контура заземления, с учётом нормированного сопротивления» [5]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{н.з} \cdot 2\pi \cdot l_z} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot t}, \text{ Ом}, \quad (26)$$

$$R_r = \frac{120}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 22,3 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{в.з.}} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом}, \quad (27)$$

$$R_{\text{в.з.}} = \frac{22,3 \cdot 4}{22,3 - 4} = 4,87 \text{ Ом}.$$

«Уточнённое значение количества электродов» [5]:

$$n = \frac{R_{\text{О.В.}}}{K_{\text{В.}} R_{\text{В.Е}}}, \text{ шт}, \quad (28)$$

$$N = \frac{48,5}{0,66 \cdot 4,87} = 15,1 \text{ шт}.$$

Окончательно принято 16 вертикальных электродов для установки в контуре заземления РП-18.

Выводы по разделу 3.

В ячейках КРУ-ZETO-10 выбраны для установки микропроцессорные блоки релейной защиты марки IPR-A, которые производятся отечественным предприятием ЗАО «Элтехника» и зарекомендовали себя как надёжные и эффективные устройства. Данные блоки позволяют реализовать комплекс защитных функций, включая защиту от коротких замыканий, перегрузок, перенапряжений и других ненормальных режимов работы. Кроме того, они поддерживают функции автоматизации, такие как автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматическое включение резерва (АВР), что повышает общую устойчивость энергосистемы.

Окончательно принято 16 вертикальных электродов для установки в контуре заземления РП-18.

Заключение

В рамках данной работы проведена реконструкция схемы электрических соединений электрической части РП-18 номинальным напряжением 6 кВ в городском округе Тольятти.

Установлено, что необходимость данной реконструкции обусловлена планируемым подключением новой нагрузки потребителей, для которых предполагается установка новых ячеек в рассматриваемом РП-18 с номинальным напряжением 6 кВ.

Кроме того, была осуществлена модернизация существующего устаревшего оборудования объекта исследования, в результате чего выбраны новые ячейки РП-18, оснащённые современными электрическими аппаратами напряжением 6 кВ.

Также проведена модернизация релейной защиты и автоматики РП-18 с выполнением проверочного расчёта защитного контура заземления исследуемого объекта.

В результате анализа потребителей реконструируемого РУ-6 кВ РП-18 установлена необходимость подключения двух новых присоединений, питающих трансформаторные подстанции ТП-124 и ТП-125 на номинальном напряжении 6 кВ.

Установлено, что нагрузка каждого присоединения составляет 500 кВт, что приводит к увеличению суммарной перспективной нагрузки реконструируемого распределительного пункта на 1000 кВт (1 МВт).

Кроме того, зафиксировано увеличение фактической нагрузки на всех присоединениях объекта, в результате чего общее повышение нагрузки потребителей РУ-6 кВ РП-18 составило 1700 кВт, то есть с 3900 кВт до 5600 кВт.

Для решения возникшей задачи предлагается запитать два новых присоединения перспективной нагрузки от ячеек «Резерв» секций шин СШ1 и СШ2 напряжением 6 кВ.

Реализация указанного мероприятия потребует внесения изменений в существующую схему электрических соединений РУ-6 кВ РП-18, что служит основанием для его реконструкции.

Кроме того, анализ состояния оборудования РУ-6 кВ РП-18 показал наличие устаревших и ненадёжных элементов, выработавших свой ресурс и требующих замены на современные аналоги, лишённые данных недостатков.

В частности, предложено заменить ячейки типа КСО-272 на современные ячейки типа КРУ, выбор которых будет осуществлён в рамках данной работы.

Также планируется замена устаревшей и неэффективной системы релейной защиты объекта. Таким образом, в работе предусмотрена полная модернизация оборудования РУ-6 кВ РП-18.

Осуществлён расчёт максимальных индивидуальных нагрузок всех соединений, а также групповых расчётных нагрузок секций сборных шин и всей РУ-6 кВ РП-18.

В результате проведения выбора и проверки сечения проводников на реконструируемом РП-18, обосновано применение следующих кабелей:

- для применения на питающей КЛ-6 кВ окончательно принимается два силовых кабеля марки АСБ-6 (3×240) с длительным допустимым током 385 А, которые не совпадают с ранее установленными силовыми кабелями марки АСБ-6 (3×120). Таким образом, ранее установленные кабели указанной марки требуется демонтировать с заменой на новое сечение, так как существующее до реконструкции сечение КЛ-6 кВ не соответствует нагрузочной и перегрузочной способности для питания объекта в связи с существенным увеличением его нагрузки;
- на всех отходящих кабельных линиях для питания потребителей РП-18 на номинальном напряжении 6 кВ, были выбраны, проверены и подтверждены силовые кабели марки АСБ-10 (3×50), включая две

новые кабельные линии для питания потребителей, введенные в эксплуатацию после проведения реконструкции схемы объекта.

Расчётным путём определено, что значения трёхфазного тока КЗ на выводах РУ-6 кВ РП-18, будут равны 2,24 кА, а ударного тока трёхфазного КЗ – 4,43 кА.

Рассчитанные значения тока КЗ и ударного тока на выводах РУ-6 кВ РП-18 используются при проверке оборудования на термическую и электродинамическую устойчивость, а также для проверки высоковольтных выключателей 6 кВ на отключающую способность.

Для применения в РУ-6 кВ РП-18 выбраны ячейки современного вакуумного комплектного распределительного устройства с выкатным элементом КРУ-ZETO-10, произведенное ЗАО «ЗЭТО».

Проведена компоновка выбранных ячеек следующими электрическими аппаратами, выбранных по каталогу, который предусматривает компоновку именно указанного типа ячеек:

- вакуумными выключателями VF-12-31,5/1000;
- трансформаторами тока ТОЛ 6 0,5S/10P 5/2 О;
- трансформаторами напряжения марки ЗНОЛ.06-6;
- ограничителями перенапряжения марки ОПНп-6 УХЛ1.

Кроме того, комплектация ячеек КРУ-ZETO-10 предполагает использование сухих трансформаторов собственных нужд (ТСН), поэтому в РП-18 осуществляется замена масляных ТСН марки ТМ-25/6 на сухие ТСН марки ТСЛ-25/6 (количество – 2 единицы).

Таким образом, всё выбранное оборудование, проходит все требуемые проверки, следовательно, оно подходит для компоновки РУ-6 кВ 6 кВ РП-18 после реконструкции.

В ячейках КРУ-ZETO-10 выбраны для установки микропроцессорные блоки релейной защиты марки IPR-A, которые производятся отечественным предприятием ЗАО «Элтехника» и зарекомендовали себя как надёжные и эффективные устройства.

Данные блоки позволяют реализовать комплекс защитных функций, включая защиту от коротких замыканий, перегрузок, перенапряжений и других ненормальных режимов работы.

Кроме того, они поддерживают функции автоматизации, такие как автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматическое включение резерва (АВР), что повышает общую устойчивость энергосистемы.

Окончательно принято 16 вертикальных электродов для установки в контуре заземления РП-18.

Таким образом, в результате реализации поставленных задач, в схеме электрических соединений РУ-6 кВ РП-18 значительно повысились показатели надёжности, секционирования, бесперебойности питания потребителей, а также условия резервирования и экономичности.

Все предложенные решения подтверждены расчётным путём в ходе выполнения работы.

Список используемых источников

1. АСБ длительно допустимый ток [Электронный ресурс]: URL: <https://elmarts.ru/blog/spravochnik/asb-dlitelno-dopustimyy-tok/> (дата обращения: 03.10.2024).
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: 03.10.2024).
3. Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами [Электронный ресурс]: <https://www.ruscable.ru/info/pue/1-3.html> (дата обращения: 14.10.2024).
4. Камера КСО-272 [Электронный ресурс]: URL: <https://se33.ru/menu-kso/45-kso/290-kso-272.html> (дата обращения: 03.10.2024).
5. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
6. Микропроцессорный блок РЗА IPR-A [Электронный ресурс]: URL: https://eltehnika.nt-rt.ru/images/manuals/Operating_manual_IPR_new.pdf (дата обращения: 03.10.2024).
7. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.
10. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
11. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]:

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 03.10.2024).

12. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

13. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.

14. Схемы распределительных сетей 6-10 кВ [Электронный ресурс]: URL: <https://forca.ru/knigi/arhiv/elektrosnabzhenie-promyshlennyh-predpriyatiy-7.html> (дата обращения: 03.10.2024).

15. Типовые схемы РУ 35-750 кВ [Электронный ресурс]: URL: https://powersystem.info/index.php/Типовые_схемы_РУ_35-750_кВ (дата обращения: 03.10.2024).

16. Устройства комплектные распределительные КРУ ZETO на 6(10) и 20 кВ. [Электронный ресурс]: URL: https://zaokurs.ru/files/catalog/elektrotehnika/catalogi_bukleti/KRU_ZETO_catalog.pdf (дата обращения: 03.10.2024).

17. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 03.10.2024).

18. 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» (с изменениями на 13 июня 2023 года). [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (дата обращения: 03.10.2024).

19. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение

Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва: Министерство
энергетики, 2020. 142 с.