

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 совмещённой тягово-понижительной
подстанции Московского метрополитена

Обучающийся

А.Р. Фаттахов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И.В. Горохов

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

Тольятти 2022

Аннотация

Работа посвящена реконструкции электрической части совмещённой тягово-понижительной подстанции (далее – СТП) Московского метрополитена в связи с вводом в эксплуатацию подстанции собственных нужд (далее – ПСН-10/0,4 кВ) объекта, являющейся необходимым звеном в системе электроснабжения данной СТП, рассматриваемой в работе.

Осуществлён анализ характеристик схемы электрических соединений и оборудования элементов СТП, сетей и распределительных устройств, на основе чего установлены проблемы и предложены пути их решения.

На основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей и результатов расчётов токов короткого замыкания, с учётом схемы электрических соединений объекта, а также результатов анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования подстанций, на подстанции собственных нужд СТП Московского метрополитена проведены выбор и проверка силовых трансформаторов, проводников, а также новых современных электрических и коммутационных аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, обладающих повышенными показателями надёжности, безопасности и экономичности. Расчётным путём установлено, что выбранное современное оборудование распределительных удовлетворяет классов напряжения 10 кВ и 0,4 кВ, соответствует условиям всех проверок и может быть установлено на данной понижительной подстанции собственных нужд ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена.

Предложенные в работе практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции СТП Московского метрополитена в связи с вводом ПСН-10/0,4 кВ, позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности и экономичности объекта исследования.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных подстанции.....	6
1.1 Исходная характеристика схемы и оборудования подстанции	6
1.2 Нормы и требования к понижающим подстанциям систем электроснабжения метрополитенов	11
1.3 Обоснование мероприятий по реконструкции совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена	15
2 Разработка проекта реконструкции электрической части подстанции	19
2.1 Определение расчётных электрических нагрузок ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена	19
2.2 Выбор компенсирующих устройств	23
2.3 Выбор силовых трансформаторов подстанции.....	25
2.4 Выбор сечения проводников.....	30
2.5 Определение токов короткого замыкания.....	34
2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов	41
3 Разработка мероприятий по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования подстанции	49
3.1 Разработка мероприятий по монтажу оборудования подстанции	49
3.2 Разработка мероприятий по эксплуатации оборудования подстанции.....	49
3.3 Разработка мероприятий по ремонту оборудования подстанции.....	53
Заключение	55
Список используемых источников.....	59

Введение

Известно, что метрополитен в крупных городах создаёт условия, позволяющие осуществлять прорыв в перевозке пассажиров. При этом метрополитен имеет ряд значительных преимуществ перед наземным транспортом.

Сегодня подстанции метрополитенов являются важнейшим звеном для осуществления замкнутого цикла перевозки пассажиров. При этом, рассматривая весь цикл передачи и потребления электроэнергии, можно отметить то, что одним из основных элементов при передаче электроэнергии к потребителям в системах электроснабжения метрополитенов, являются тяговые и понизительные понижающие трансформаторные подстанции.

При этом данные типы подстанций могут быть реализованы в виде СТП.

Из всех типов подстанций, современные тяговые и понизительные трансформаторные подстанции переменного тока сегодня наиболее широко распространены в системах электроснабжения метрополитенов.

Основной целью работы является реконструкция электрической части совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена в связи с вводом в эксплуатацию подстанции собственных нужд ТП-10/0,4 кВ объекта, являющейся частью и необходимым звеном в системе электроснабжения данной СТП, рассматриваемой в работе.

Объектом исследования в данной работе является электрическая часть совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема (схема главных электрических соединений), а также электрические сети и аппараты распределительных устройств напряжением 10 кВ и 0,4 кВ объекта исследования.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью реконструкции понизительных подстанций энергосистемы всех типов,

которая обусловлена несоответствием схемы главных электрических соединений подстанций, применяемых для питания потребителей I и II категории надёжности.

В работе применяются следующие методы исследований: анализ нормативных документов и учебной технической литературы, индуктивный и дедуктивный методы анализа, методы расчёта электрических цепей, методы сравнения, аналитический метод.

Осуществлён анализ характеристик схемы электрических соединений и оборудования элементов СТП, сетей и распределительных устройств, на основе чего установлены проблемы и предложены пути их решения.

Для решения поставленной задачи, на основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей и результатов расчётов токов короткого замыкания, с учётом схемы электрических соединений объекта, а также результатов анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования подстанций, на подстанции собственных нужд ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена проводятся выбор и проверка силовых трансформаторов, проводников, а также новых современных электрических и коммутационных аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, обладающих повышенными показателями надёжности, безопасности и экономичности.

Работа состоит из трёх разделов и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик и нормативных положений основных документов.

Результатом работы является разработанный технический комплекс мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений подстанции СТП Московского метрополитена в связи с вводом ПСН-10/0,4 кВ, которые позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности и экономичности объекта исследования.

Все принятые решения подтверждаются на основании полученных результатов расчётов с применением аналитического метода анализа.

Анализ исходных данных подстанции

Исходная характеристика схемы и оборудования подстанции

В работе детально рассматривается совмещённая тягово-понижительная подстанция Московского метрополитена.

Такая совмещённая тягово-понижительная подстанция совмещает две составляющие, а именно:

- тяговая подстанция – предназначенная для питания тяговой сети метрополитена. Потребляет из сети переменное напряжение, далее его понижает, выпрямляет и распределяет его тяговым потребителям на постоянном напряжении;
- понижительная подстанция – как правило, предназначена для питания потребителей собственных нужд и сторонних потребителей. Потребляет из сети переменное напряжение, далее его понижает и распределяет его потребителям также на переменном напряжении.

Далее в работе, согласно заданию, необходимо привести исходную характеристику распределительных устройств и входящих в них коммутационных и защитных электрических аппаратов рассматриваемой в работе совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена до проведения реконструкции.

Проводится анализ исходных данных электрической части совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Рассматриваемая в работе понижительная подстанция переменного напряжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена является одной из узловых подстанций, обеспечивая качественной электроэнергией, с одной стороны, тяговых потребителей подвижного состава метрополитена на постоянном напряжении, а с другой

стороны – своих потребителей собственных нужд на номинальном переменном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Совмещении таких функций присущи совмещённым тягово-понижительным подстанциям, что является их отличительной особенностью [12].

Рассматриваемая в работе понижительная подстанция переменного напряжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена по месту расположения в схеме электроснабжения объекта, является узловой распределительной понижающей подстанцией совмещённого типа и играет важное значение в системе электроснабжения метрополитена.

Она находится на полном балансе данной организации, поэтому полностью обслуживается и ремонтируется работниками Московского метрополитена.

Совмещённая тягово-понижительная подстанция Московского метрополитена является двухтрансформаторной комплектной подстанцией с резервированием на сторонах 10 кВ (ВН) и 0,66 кВ (НН).

Конструктивно СТП Московского метрополитена выполнена в виде комплектной трансформаторной подстанции наружной установки киоскового типа.

Питание СТП Московского метрополитена осуществляется двумя кабельными линиями электропередачи 10 кВ марки АСБГ-3х120-10 от питающей подстанции энергосистемы.

На СТП Московского метрополитена находится два силовых трансформатора сухого типа ТСЗ-1000/10, обеспечивающих питание всей системы и оборудования данной подстанции.

Основными потребителями СТП Московского метрополитена являются тяговые потребители подвижного состава. Они получают питание от двух трансформаторов подстанции на постоянном токе 0,6 кВ.

Для преобразования переменного напряжения в постоянное на СТП Московского метрополитена за силовыми трансформаторам установлены выпрямители серии В-ТПЕД, применяемые для питания тяговых подстанций.

После преобразования переменного напряжения в постоянное через выпрямители серии В-ТПЕД, это напряжение поступает на секции распределительного устройства (далее – РУ) низшего напряжения СТП Московского метрополитена.

В системе электроснабжения тяговых потребителей СТП Московского метрополитена предусмотрены следующие шины, от которых получают непосредственное питание сами тяговые потребители:

- рабочая положительная шина постоянного тока +600 В (0,6 кВ);
- запасная положительная шина постоянного тока +600 В (0,6 кВ);
- рабочая отрицательная шина постоянного тока минус 600 В (0,6 кВ).

От данных шин получают питание РУ потребителей тягового состава и тяговой сети, к которым относятся: РУ катодные №1 и №2, линейные РУ, резервные РУ, РУ ВШ (рабочие, резервные и заземлители).

На питающих линиях в РУ-10 кВ переменного напряжения на совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, установлены следующие защитные и коммутационные аппараты (основное оборудование):

- выключатели высокого напряжения;
- разъединители;
- трансформаторы тока.

В питающем РУ-10 кВ переменного напряжения объекта также установлены два трансформатора напряжения.

Всё оборудование РУ-10 кВ переменного напряжения находится в удовлетворительном техническом состоянии.

На питающих и отходящих линиях в РУ-0,4 кВ переменного напряжения на совмещённой тягово-понижительной подстанции

Московского метрополитена установлены следующие защитные и коммутационные аппараты (основное оборудование) [1]:

- автоматические выключатели;
- предохранители;
- рубильники.

Всё оборудование РУ-0,4 кВ переменного напряжения находится в удовлетворительном техническом состоянии.

На питающих и отходящих линиях в РУ-0,6 кВ постоянного напряжения на совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена установлены следующие защитные и коммутационные аппараты (основное оборудование) [4]:

- автоматические выключатели;
- рубильники;
- коммутирующее оборудование.

Всё оборудование РУ-0,6 кВ постоянного напряжения находится в удовлетворительном техническом состоянии.

Также для измерений и управления оборудованием, в цепях переменного и постоянного тока на совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена установлены амперметры, вольтметры, счётчики активной электроэнергии, ваттметры.

Оперативный ток на совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена – переменный, напряжением 380/220 В. Собственные нужды подстанции также питаются на этом напряжении.

Питание оперативных вторичных цепей и собственных нужд осуществляется от силовых трансформаторов СТП на напряжении 0,38/0,22 кВ.

При этом к оборудованию оперативных вторичных цепей и собственных нужд относятся многие ответственные устройства и механизмы, относящиеся к I и II категориям надёжности (источник бесперебойного питания, схемы управления, АСКУЭ, пожарная сигнализация, охранная сигнализация,

розеточные группы, освещение наружное, освещение внутреннее, отопление и кондиционирование).

Такая схема экономичная, однако пригодна только для обеспечения электроснабжения потребителей III категории надёжности исходя из требований [10]. Все потребители оперативных вторичных цепей и собственных нужд СТП работают на трёхфазном переменном напряжении 0,22/0,38 кВ промышленной частоты 50 Гц. Высоковольтные и транзитные потребители в системе электроснабжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена отсутствуют.

Исходя из количества и фактических нагрузок, в таблице 1 работы приводятся исходные данные потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд рассматриваемой в работе совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Таблица 1 – Характеристика потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена

Наименование потребителя	Совокупные параметры и характеристики оборудования (потребителей)		
	$P_{\text{сум}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, кВ	$\cos \varphi$
Источник бесперебойного питания	3,0	0,38/0,22	0,91
Схемы управления	0,5	0,38/0,22	0,88
АСКУЭ	0,5	0,38/0,22	0,92
Пожарная сигнализация	0,5	0,38/0,22	0,90
Охранная сигнализация	0,5	0,38/0,22	0,90
Розеточные группы	1,5	0,38/0,22	0,95
Освещение наружное	0,5	0,38/0,22	0,88
Освещение внутреннее	0,2	0,38/0,22	0,92
Отопление	3,0	0,38/0,22	0,98
Кондиционирование	2,5	0,38/0,22	0,92
Всего по СТП Московского метрополитена	12,2	0,38/0,22	-

На основании исходных данных нагрузок потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, приведённых в таблице 1 работы, проводится обоснование реконструкции схемы электрических соединений

совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Исходная схема электрических соединений совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена до проведения реконструкции приведена на графическом листе 1.

Н

о

Известно, что совмещённые трансформаторные подстанции систем электроснабжения метрополитенов, являются важнейшим звеном и относятся к I и II категориям надёжности [17].

Поэтому они требуют двух источников питания, а также необходимого уровня автоматизации и резервирования на всех звеньях цепи.

При этом, как известно, совмещённые трансформаторные подстанции систем электроснабжения метрополитенов включают в себя две большие разнородные составляющие: первая – это питание тяговых потребителей, а вторая – питание потребителей оперативных цепей и собственных нужд.

При этом основные документы предписывают и рекомендуют разделять эти две составляющие, питая их по возможности, от разных источников питания (силовых трансформаторов).

Следовательно, на совмещённых трансформаторных подстанциях систем электроснабжения метрополитенов должна быть предусмотрена отдельная система (подсистема) электроснабжения для питания отдельно тяговых потребителей на постоянном токе, а отдельно – всех остальных потребителей на переменном токе [16].

Такая система будет удовлетворять всем требованиям нормативных документов с учётом питания разноимённых потребителей, относящихся к I и II категориям надёжности [18].

Известно, что основные нормы и требования, которые предъявляются проектированию трансформаторных подстанций систем электроснабжения

и

ж

а

метрополитенов, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований [2]:

- надёжности отдельных элементов, узлов и всей системы электроснабжения в целом;
- экономичности передаче электроэнергии на всех звеньях цепи;
- безопасности обслуживающего персонала при выполнении работ на подстанции;
- возможность модернизации и расширения распределительных устройств подстанции;
- удобство монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования подстанции;
- применение передовых технологий в сфере разработки оборудования подстанций, а также схемных решений;
- применение негабаритных конструкций;
- обеспечение постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования подстанции;
- применение качественного и достаточного аппарата автоматизации всех процессов на подстанции;
- соблюдение и контроль параметров электроэнергии, передаваемой потребителям подстанции на всех уровнях;
- возможность локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или значительными потерями электроэнергии;
- контроль перетоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы подстанции;
- обеспечение ограничения ненормальных режимов на подстанции.

Далее кратко приводится основная характеристика наиболее важных требований, перечисленных выше.

«Известно, что обеспечение требуемых качеств электроэнергии, а также надежности и экономичности при передаче электроэнергии потребителям в

энергосистеме, являются основными задачами в современных системах электроснабжения» [3].

«Поэтому в случае сбоев и аварий на понижающих трансформаторных подстанциях энергосистемы и метрополитенов, равно как и несоответствия поставляемой потребителям электроэнергии по нормам и качеству, все участники технологического процесса будут нести весомые технические и экономические убытки» [6].

«Такой подход категорически недопустим требованиями нормативных документов, которые предписывают обеспечить бесперебойным питанием электроэнергией потребителей, основываясь на их категории надёжности и назначении» [5].

«Следовательно, к понижающим трансформаторным подстанциям и метрополитенов предъявляются жёсткие требования как в плане надёжности, так и по экономичности, а также безопасности работ и экологической безопасности согласно» [10].

«Известно, что трансформаторные подстанции и метрополитенов делятся на повышающие и понижающие» [7].

«Любая понизительная подстанция энергосистемы и метрополитенов представляет собой совокупность силовых трансформаторов (как правило – один или два) и распределительных устройств, которых, как правило, столько, сколько классов напряжения присутствует на понизительной подстанции (как правило, не менее двух)» [12].

«Более двух трансформаторов встречаются на понизительных подстанциях метрополитенов крайне редко» [15].

«В этом случае они должны быть обоснованы технико-экономическим расчётом» [12].

«Известно, что в системах электроснабжения трансформаторных подстанций метрополитенов должна быть обеспечена надёжные условия для коммутации и защиты как отдельных звеньев цепи, так и всей подстанции в целом» [4].

«Для этой цели используют как отключающую коммутационную аппаратуру, так и отдельные устройства релейной защиты и автоматики, выполняющие роль сигнализатора повреждений» [8].

«Все электрические аппараты должны быть выбраны по расчётной нагрузке с учётом резервирования и проверены по максимальным токам короткого замыкания на предмет электромеханической совместимости и прочности в аварийных режимах» [15].

«Связь между элементами на понижающих подстанциях и метрополитенов осуществляется с помощью сетей разного назначения и устройства» [9].

«Каждый тип электрических сетей имеет свои преимущества и недостатки, поэтому применяется в каждой конкретной ситуации на основании, как правило, технических и экономических критериев выбора, а также условий электробезопасности» [17].

«Например, по критериям электробезопасности прокладка воздушных линий электропередачи с использованием неизолированных проводов» [5] в настоящее время в системах электроснабжения метрополитенов, полностью запрещена.

«Известно, что системам электроснабжения понижающих трансформаторных подстанций и метрополитенов всех типов и классов напряжения предъявляются требования по надёжности, качеству и экономичности электроснабжения» [10].

«Качество поставляемой электроэнергии имеет одно из основных значений на подстанциях метрополитенов» [4].

«Нормы и критерии электроэнергии находятся в довольно жёстких числовых рамках, что позволяет эффективно контролировать данный цикл в целом» [11].

«Экономичность заключается в уменьшении расходов путём внедрения перспективных схемных решений, долгосрочной модернизации, уменьшения затрат на монтаж, эксплуатацию и ремонт оборудования, минимизация

амортизационных отчислений, а также снижение капитальных вложений в проект за счёт применения современных перспективных решений» [4].

«Подводя итог, можно сказать, что приведённые выше требования нормативных документов, которые предъявляются к схемам и системам электроснабжения понижающих трансформаторных подстанций и метрополитенов в целом, обязательные к применению в энергосистемах современного типа» [13].

«В частности, эти требования также необходимо использовать в данной работе» [4].

«Неукоснительное выполнение основных требований и аспектов к схемам и оборудованию трансформаторных подстанций и метрополитенов приводит к реализации технически грамотного проекта, обеспечивающего высокую эффективность внедрения принятых решений и экономическую целесообразность внедрения основных мероприятий» [7] требуемой реконструкции электрической части совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Обоснование мероприятий по реконструкции совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена

Исходя из результатов проведённого анализа состояния схемы электрических соединений, а также состояния оборудования в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ переменного напряжения и РУ-0,6 кВ постоянного напряжения, подстанции, основываясь на положениях нормативных документов, в данной работе предложены следующие практические рекомендации по реконструкции электрической части совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, включающие в себя такие основные этапы, а именно:

- реконструкцию внутренней схемы электрических соединений совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского

метрополитена, предусматривающую питание оперативных вторичных цепей и нагрузки потребителей собственных нужд, большинство из которых относится к I и II категории надёжности, от отдельной подстанции собственных нужд ПСН-10/0,4 кВ, которая встраивается в систему электроснабжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена и будет являться её составной частью. При этом на ПСН-10/0,4 кВ предусматривается установка двух силовых трансформаторов;

- реконструкцию схемы электрических соединений совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена на стороне 10 кВ, предусматривающей установку дополнительных аппаратов защиты и коммутации для питания ПСН-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ СТП Московского метрополитена. При этом выбирается схема питания, предусматривающая радиальный ввод от двух различных шин 10 кВ СТП. Данные аспекты соответствуют требованиям [1,10], которые предъявляются к электрическим схемам для питания объектов I и II категорий надёжности;
- в связи с изменением питания некоторых объектов и схемы электрических соединений, описанного ранее, требуется переключение вторичной обмотки тяговых трансформаторов на «звезду» без ответвлений, а также демонтаж питающей линии к системе оперативных вторичных цепей и собственных нужд.

Внедрение принятых рекомендаций по реконструкции схемы электроснабжения силовой части совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, позволят значительно повысить надёжность, экономичность, электробезопасность и экологичность на объекте исследования, при этом значительно снизив затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание и ремонт данного оборудования.

Такая реконструкция обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что

положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

При этом установлено, что оборудование всех распределительных устройств СТП находится в удовлетворительном техническом состоянии, следовательно, модернизировать его нет производственной необходимости.

Основываясь на краткой исходной характеристике потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд подстанции переменного тока совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена класса напряжения 10/0,4 кВ, приведённой в таблице 1, а также на исходной схеме главных электрических соединений подстанции, далее в работе проводится решение поставленных основных задач.

Предложенные мероприятия по приведённым этапам реконструкции подстанции детально рассматриваются в работе далее.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, осуществлён анализ исходных данных с приведением основных технических характеристик совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность мероприятий по проведению реконструкции совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

В результате проведённого детального анализа в работе установлено, что данная реконструкция электрической части совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена в работе включает в себя два основных этапа.

Первый этап предусматривает реконструкцию внутренней схемы электрических соединений совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, предусматривающую питание оперативных вторичных цепей и нагрузки потребителей собственных нужд, большинство из которых относится к I и II категории надёжности, от отдельной подстанции

собственных нужд ПСН-10/0,4 кВ, которая встраивается в систему электроснабжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена и будет являться её составной частью. При этом на ПСН-10/0,4 кВ предусматривается установка двух силовых трансформаторов

Второй этап включает реконструкцию схемы электрических соединений совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена на стороне 10 кВ, предусматривающей установку дополнительных аппаратов защиты и коммутации для питания ПСН-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ СТП Московского метрополитена.

При этом выбирается схема питания, предусматривающая радиальный ввод от двух различных шин 10 кВ СТП. Данные аспекты соответствуют требованиям [1,10], которые предъявляются к электрическим схемам для питания объектов I и II категорий надёжности.

В связи с изменением питания некоторых объектов и схемы электрических соединений, описанного ранее, требуется переключение вторичной обмотки тяговых трансформаторов на «звезду» без ответвлений, а также демонтаж питающей линии к системе оперативных вторичных цепей и собственных нужд

Предложенные мероприятия по реконструкции схемы совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена в работе осуществляется применением перспективных технических решений и современных расчётных методик.

Они детально проверяются в работе далее на основе соответствующих расчётов и проверок.

Разработка проекта реконструкции электрической части подстанции

Определение расчётных электрических нагрузок ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена

Далее в работе проводится расчёт электрических нагрузок ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена, целью которого является определение расчётных электрических нагрузок всех потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд объекта, а также суммарной расчётной нагрузки данной подстанции.

Согласно приведённым и обоснованным ранее мероприятиям по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, осуществляемую путём внедрения основных положений нормативных документов, в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения объекта проектирования, на основании чего далее провести выбор и проверку электрических сетей, аппаратов и проводников.

Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена является проектная установленная номинальная нагрузка потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд объекта, которая принимается равной расчётной активной нагрузке.

Исходя из этого, далее в работе проводится расчёт нагрузок потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд объекта совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, который включает непосредственное определение расчётных

нагрузок потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд объекта.

Расчёт данных нагрузок в работе проводится по методу коэффициента спроса.

Расчёты проводятся на примере одного объекта, все остальные типичные результаты расчётов сводятся в таблицы.

Проводится расчёт электрических нагрузок для всех потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд объекта совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Далее, на основе полученных результатов, рассчитывается нагрузка отдельно по всей вводимой в эксплуатацию новой ПСН-10/0,4 кВ объекта проектирования.

Активная и реактивная нагрузки потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд объекта совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена [12]:

$$P_p = P_{ном} \cdot k_u, \text{кВт}. \quad (1)$$

$$Q_p = P_{см} \cdot \text{tg}\varphi, \text{квар}. \quad (2)$$

$$k_u = \frac{P_p}{P_{ном}}. \quad (3)$$

Эффективное число потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд объекта совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена [12]

$$n_э = \frac{(\sum P_{ном})^2}{P_{ном}^2}. \quad (4)$$

Расчетная активная нагрузка группы потребителей (секций шин) оперативных вторичных цепей и собственных нужд объекта совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена [12]

$$P_{cp} = \sum_{i=1}^n P_p \cdot k_p, \text{кВт}. \quad (5)$$

Средневзвешенное значение коэффициента активной мощности [14]

$$\cos\varphi_{cp.взв} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ном} \cdot \cos\varphi}{\sum_{i=1}^n P_{ном}}. \quad (6)$$

Расчетная реактивная и полная нагрузка, а также расчётный ток для ПСН-10/0,4 кВ отдельных потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд объекта совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена [10]:

$$Q_p = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{cp.взв} \cdot k_{pp}, \text{квар}. \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА}. \quad (8)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А}. \quad (9)$$

Пиковый ток группы соответствующих групп потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд объекта (секций сборных шин 0,4 кВ) совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена [10]:

$$I_{пик} = I_{н.п.} + (I_p - k_u \cdot I_n), \text{А}. \quad (10)$$

Проводится расчёт нагрузки на примере потребителей источника бесперебойного питания совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, питающихся от СШ-1 проектируемой ПСН-10/0,4 кВ (групповая нагрузка) по условиям (1) – (10):

$$P_p = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 2,4 \cdot 0,91 = 1,9 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{2,4^2 + 1,9^2} = 3,1 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{3,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4,7 \text{ А.}$$

Результаты расчётов электрических нагрузок потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена представлены в виде таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчётов электрических нагрузок потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд при реконструкции совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена

Наименование потребителя	Исходные данные			Расчётные значения нагрузки			
	$P_{\text{сум}}$, кВт	$\cos \varphi$	k_u	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Оперативные вторичные цепи (СШ-1)							
Источник бесперебойного питания	3,0	0,91	0,8	2,40	1,90	3,10	4,70
Схемы управления	0,5	0,88	0,75	0,34	0,30	0,45	0,70
АСКУЭ	0,5	0,92	1,0	0,50	0,46	0,68	1,05
Пожарная сигнализация	0,5	0,90	1,0	0,50	0,45	0,67	1,03
Охранная сигнализация	0,5	0,90	1,0	0,50	0,45	0,67	1,03
Всего по СШ-1 (групповая нагрузка)	5,0	0,90	0,85	4,24	3,56	5,54	8,52
Нагрузка собственных нужд (СШ-2)							
Розеточные группы	1,5	0,95	0,6	0,90	0,86	1,24	1,9
Освещение наружное	0,5	0,88	0,7	0,35	0,25	0,43	0,66
Освещение внутреннее	0,2	0,92	0,8	0,16	0,14	0,21	0,33
Отопление	3,0	0,91	0,8	2,40	1,90	3,10	4,70
Кондиционирование	2,5	0,92	0,8	2,00	1,80	2,70	4,14
Всего по СШ-2 (групповая нагрузка)	7,7	0,92	0,7	5,81	4,95	7,63	11,74
Всего по ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена	12,2	0,91	0,75	10,05	8,51	13,17	20,3

Результаты, полученные при расчёте электрических нагрузок потребителей оперативных вторичных цепей и собственных нужд при реконструкции совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, используются в работе далее для выбора и проверки трансформаторов ПСН-10/0,4 кВ, а также электрических проводников и аппаратов.

Выбор компенсирующих устройств

Согласно методике [11], после предварительного расчёта нагрузок подстанции, в рассматриваемой системе электроснабжения, если это необходимо, нужно установить компенсирующие устройства (далее – КУ) в узлах ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена.

Как правило, установка КУ в данном случае предполагается на шинах низкого напряжения 0,4 кВ на ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена.

Таким образом, будет компенсирована реактивная мощность во всей системе электроснабжения как потребителей, так и всей системы электроснабжения ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена, включая питающую сеть 10 кВ с силовыми трансформаторами.

Такая компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения называется централизованной и наиболее широко распространена среди способов КРМ.

На проектируемой ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена (с учётом возможной нагрузки сторонних потребителей), следует провести расчёт с возможной установкой компенсирующих устройств на шинах низкого напряжения (на обеих секциях сборных шин 0,4 кВ).

Расчётная реактивную мощность компенсирующего устройства 0,4 кВ для установки на шинах РУ-0,4 кВ ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена [15]:

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_k), \text{ квар.} \quad (11)$$

$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 10,05(1,328 - 0,39) = 8,48 \text{ квар.}$$

Так как на ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена в результате внедрения практических мероприятий по реконструкции устанавливается два силовых трансформатора, следовательно, число устройств для компенсации реактивной мощности должно быть парным, поэтому выбирается для установки две комплектных конденсаторных установки типа Epcos PhiCap МКР400-D-4 квар мощностью по 4 квар каждая [17].

При этом суммарная мощность выбранных КУ на всей ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена, составляет $2 \cdot 4 = 8$ квар [6].

«Фактическое значение коэффициентов» [18,19]

$$tg\varphi_k = tg\varphi - \frac{Q_{к.см.}}{\alpha \cdot P_p}, \text{ квар.} \quad (12)$$

$$tg\varphi_k = 1,328 - \frac{8}{0,9 \cdot 10,05} = 0,44.$$

«После определения фактического значения коэффициента мощности производится пересчёт значений нагрузок ПСН-10/0,4 кВ с учётом выбранных КУ» [16]:

$$P_p = 10,05 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 8,51 - 8 = 0,51 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{10,05^2 + 0,51^2} = 10,06 \text{ кВА.}$$

Таким образом, практически вся реактивная мощность на шинах 0,4 кВ и во всей системе электроснабжения проектируемой и вводимой в

эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена, будет скомпенсирована.

Полученные уточнённые значения расчётных электрических нагрузок в результате установки компенсирующих устройств на шинах 0,4 кВ ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена используются в работе далее.

Выбор силовых трансформаторов подстанции

Как было указано ранее, в результате внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений СТП Московского метрополитена, была обоснована необходимость питания системы собственных нужд и оперативных вторичных цепей от ПСН-10/0,4 кВ, на которой предполагается установка двух силовых трансформаторов, номинальную мощность которых необходимо выбрать далее.

Как известно, требуемая установленная номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора для его установки в результате проведения реконструкции на совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, определяется с учётом возможного и перспективного питания сторонней нагрузки по условию [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = K_n \cdot \frac{P_p + P_{\text{см.}}}{N\beta_T}, \quad (13)$$

Г

д трансформатора подстанции переменного напряжения ПСН-10/0,4
е кВ, предназначенного для установки на СТП Московского

$S_{\text{ном.т}}$ – номинальная (паспортная) мощность силового

$S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность трансформатора, предполагаемого к установке на подстанции переменного напряжения ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена;

K_n - коэффициента надёжности схемы системы собственных нужд с учётом наличия резервирования [14];

P_p – суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена;

$P_{см.}$ – суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

По условию выбора (13), с учётом отсутствия в схеме подстанции переменного напряжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена сторонних потребителей, а также с учётом компенсации реактивной мощности на подстанции и коэффициента надёжности схемы [14]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = 1,5 \cdot \frac{10,06}{2 \cdot 0,7} = 10,78 \text{ кВА.}$$

Исходя из полученных результатов расчёта, выбирается для установки на вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена два силовых трансформатора сухого типа марки ТСЗ-16/10 У1 [18].

Данный тип трансформатора имеет две обмотки и выбран для применения в условиях умеренного климата.

Внешний вид и разрез выбранного типа силового трансформатора ТСЗ-16/10 для установки на вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена, представлен в работе на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид и разрез выбранного типа силового трансформатора ТСЗ-16/10 для установки на вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в нормальном режиме» [18]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (14)$$

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в максимальном режиме» [18]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (15)$$

Проверка выбранных трансформаторов на подстанции переменного напряжения ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена в нормальном режиме выполняется:

$$K_3^H = \frac{10,06}{16 \cdot 2} = 0,32 \leq 0,7.$$

Далее в работе осуществляется проверка этого же силового трансформатора в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае выхода в аварийный режим второй питающей линии или трансформатора по каким-либо причинам (условия резервирования) [11].

Проверка проводится при условии работы, когда один из силовых трансформаторов ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена по какой-либо причине вышел из строя и требуется автоматическое переключение его нагрузки на другой трансформатор, оставшийся в работе.

Проверка выбранных ранее трансформаторов ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена с учётом сторонних потребителей в ПАВ режиме [12] объекта исследования проводится с учётом максимального значения коэффициента резервирования, равного 1,4, потому что выбираемый силовой трансформатор для установки на ПСН-10/0,4 кВ – новый, следовательно, износ его отсутствует и не учитывается в работе [12].

Проверка трансформаторов подстанции переменного напряжения на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена в ПАВ режиме выполняется:

$$K_3^{n.ав} = \frac{10,06}{16 \cdot (2-1)} = 0,62 \leq 1,4.$$

Условие проверки силовых трансформаторов на вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки потребителей второй сторонней секции сборных шин 0,4 кВ, в работе выполняется.

Следовательно, выбранные в работе силовые трансформаторы марки ТСЗ-16/10, питающие нагрузку потребителей системы электроснабжения потребителей, полностью удовлетворяют условиям проверки на допустимую загрузку в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Поэтому данные трансформаторы выдержит указанную фактическую проектную нагрузку и могут быть окончательно приняты для установки на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена с учётом питания сторонних потребителей I и II категории надёжности.

Согласно полученных результатов расчёта, в работе можно сделать следующие выводы:

- поскольку в результате расчётов получилось положительное расчётное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на ПСН-10/0,4 кВ устанавливаются в количестве двух единиц марки Epcos PhiCap МКР400-D-4 квар, и расчётное значение электрических нагрузок (активной, реактивной и полной) в работе пересчитано с учётом данного факта;
- с учётом расчёта компенсации реактивной мощности на ПСН-10/0,4 кВ, окончательно принимается на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена с учётом сторонних потребителей, два трансформатора ТСЗ-16/10, которые удовлетворяют проверке на нагрузочную способность как в нормальном режиме, так и в послеаварийном режиме работы при выходе одного из силовых трансформаторов питающей подстанции из строя.

Полученные результаты учитываются в работе далее.

Конструктивное выполнение вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена представлено в работе на графическом листе 3.

Выбор сечения проводников

Далее в работе проводится аргументированный выбор и проверка сечения проводников напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ системы электроснабжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Выбору подлежат следующие проводники напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 согласно разработанной схеме электрических соединений системы электроснабжения подстанции, а также её потребителей:

- питающая сеть 10 кВ – кабельная линия напряжением 10 кВ от питающего РУ-10 кВ энергосистемы до РУ-10 кВ ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена;
- питающая сеть 0,38/0,22 кВ – кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ от шин 0,4 кВ ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена до сети потребителей.

Далее в работе проводится определение и выбор сечений кабельной линии напряжением 10 кВ, применяемой для питания вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена [11].

Данная линия состоит из двух кабелей (по количеству трансформаторов, установленных на данной ПСН-10/0,4 кВ).

Расчётный рабочий ток линии [20]

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (16)$$

Максимальный расчётный ток линии [11]:

$$I_{p.\max} = 1,4I_{p.\max} \cdot \quad (17)$$

Условие проверки [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\max}, \quad (18)$$

где $I_{\text{доп}}$ – «длительно – допустимый ток силового кабеля стандартного сечения, А» [1];

$I_{p.\max}$ – «максимальный ток участка (линии) с учётом перегрузок и резервирования, А» [1].

«Известно, что кабельные линии напряжением выше 1 кВ подлежат выбору по «экономической плотности тока» [19]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{p.}}{j_{\text{э}}}. \quad (19)$$

Для кабельных линий 10 кВ ПСН-10/0,4 кВ системы электроснабжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, в работе при проведении расчётов принято значение экономической плотности тока $j_{\text{э}} = 1,6 \text{ А/мм}^2$ [11].

Проводится практический расчёт и выбор кабельных линий для питания ПСН-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ по условиям (16) и (19):

$$I_{p.} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,92 \text{ А.}$$

$$F_{\text{э}} = \frac{0,92}{1,6} = 0,58 \text{ мм}^2.$$

«Однако по условиям механической прочности в работе принимается ближайшее минимальное стандартное сечение $F=16 \text{ мм}^2$ с допустимым током $I_{\text{доп}}=90 \text{ А}$ » [12].

Поэтому это сечение питающего кабеля ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена предварительно принимается в работе.

«Максимальный расчётный ток» [11]

$$I_{p.\text{max}} = 1,4 \cdot 0,92 = 1,29 \text{ А.}$$

Проводится проверка выбранного сечения кабеля 10 кВ на допустимый нагрев в аварийном режиме работы:

$$90 \text{ А} \geq 1,29 \text{ А.}$$

В результате проведения расчётов и проверок установлено, что силовой трёхжильный кабель современного типа с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПВВнг(А) – Ls FRHF 10 (3×16), при условии прокладки в стандартных железобетонных лотках в условиях метрополитена, удовлетворяет выбору в качестве питающего кабеля ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена.

Выбранные кабели марки АПВВнг(А) – Ls FRHF 10 характеризуются повышенными показателями надёжности, безопасности, экономичности и долговечности [7].

Далее в работе проводится выбор кабельных линий электрической сети напряжением 0,38/0,22 кВ по допустимому нагреву.

Для сети напряжением 0,38/0,22 кВ выбраны силовые кабели марки АПВВГ «с изоляцией жил из вулканизированного полиэтилена и поясной изоляцией из ПВХ пластиката» [12] при прокладке в полу в металлических трубах [12].

При этом данные кабели будут иметь четыре жилы, а пятой жилой (заземление) будет выступать сама металлическая труба.

Данный выбор помогает значительно сэкономить материалы и финансовые средства.

Конструкция выбранных кабелей марки АПвВГ представлена в работе на рисунке 2.

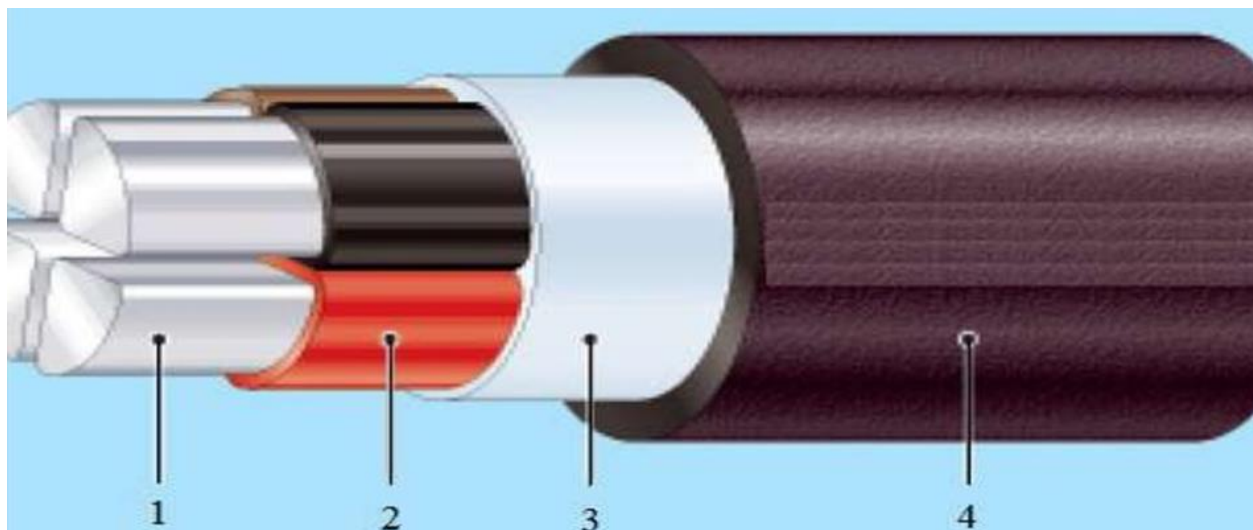


Рисунок 2 – Конструкция выбранных кабелей марки АПвВГ:
1 – токоведущая жила кабеля; 2 – изоляция жил кабеля; 3 – поясная изоляция кабеля; наружная (внешняя) изоляция кабеля (оболочка)

Результаты выбора сечения кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты выбора сечения кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена

Потребитель	I_p , А	Марка КЛ	$I_{дон}$, А
Источник бесперебойного питания	4,70	АПвВГ (4×2,5)	14,0
Схемы управления	0,70	АПвВГ (4×2,5)	14,0
АСКУЭ	1,05	АПвВГ (4×2,5)	14,0
Пожарная сигнализация	1,03	АПвВГ (4×2,5)	14,0
Охранная сигнализация	1,03	АПвВГ (4×2,5)	14,0
Розеточные группы	1,9	АПвВГ (4×2,5)	14,0
Освещение наружное	0,66	АПвВГ (4×2,5)	14,0
Освещение внутреннее	0,33	АПвВГ (4×2,5)	14,0
Отопление	4,70	АПвВГ (4×2,5)	14,0
Кондиционирование	4,14	АПвВГ (4×2,5)	14,0

Все выбранные кабельные линии как питающей сети 10 кВ, так и распределительной сети 0,38/0,22 кВ, отвечают всем требованиям выбора и проверок.

По этой причине все кабельные линии как питающей, так и распределительной сети напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, принимаются для их установки на ПСН-10/0,4 кВ реконструируемой СТП Московского метрополитена.

Определение токов короткого замыкания

Расчёт токов КЗ необходим для проверки новых аппаратов, которые устанавливаются на вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ в результате проведения реконструкции СТП Московского метрополитена согласно принятых ранее решений.

Поэтому, так как номинальных ступеней напряжения в схеме объекта исследования две, на них проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы системы (режим трёхфазного КЗ).

Так как на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена в результате проведения её реконструкции установлены два одинаковых по номиналу и мощности силовых трансформатора для питания которых выбраны одни кабели, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 10 кВ (перед ними) и 0,4 кВ (за ними) будут также одинаковыми.

При этом в работе проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы, в котором на подстанции остаётся один силовой трансформатор.

Поэтому в работе расчёт искомых трёхфазных токов КЗ в максимальном режиме проводится в расчётной точке К1 – сеть напряжением 10 кВ (на шинах 10 кВ подстанции), в расчётной точке К2 – сеть напряжением 0,4 кВ (на выводах НН трансформатора 1Т), в расчётной точке К3 – на выводах потребителей в сети 0,38/0,22 кВ.

В работе проводится расчёт следующих видов токов КЗ:

- максимального трёхфазного;
- ударного;
- максимального однофазного.

Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена представлена на рисунке 3.

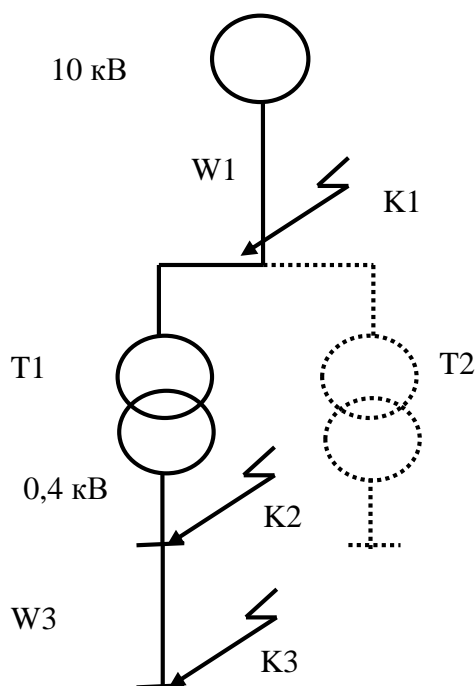


Рисунок 3 – Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ в максимальном режиме на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена (Т2 – отключён, питание Т1 – по одной линии 10 кВ)

Исходя из расчётной схемы, составляется исходная схема замещения для расчёта значений максимальных и ударных токов трёхфазного короткого замыкания, на которую наносятся все рассчитанные параметры (рисунок 4).

По мере определения параметров, они все наносятся на схему замещения (знаменатель).

В числителе на рисунке 4 показан сам расчётный параметр схемы замещения.

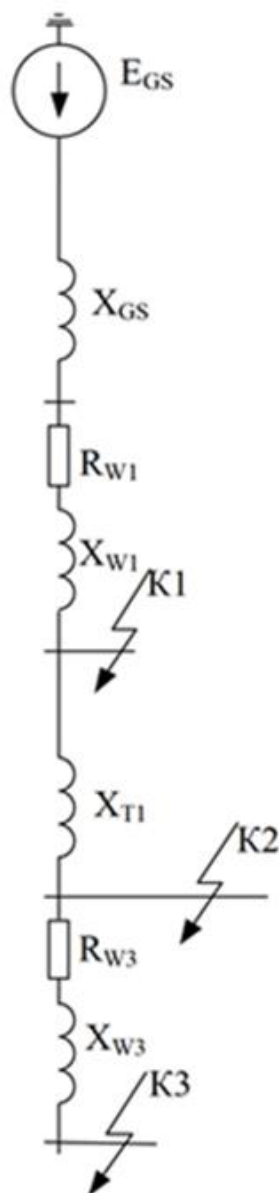


Рисунок 4 – Однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена

В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 10 кВ.

Мощность на шинах энергосистемы принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена [16].

При необходимости, результаты расчётов токов КЗ, полученные на неосновной ступени (0,4 кВ), приводятся к основной ступени напряжения

путём умножения результата на коэффициент трансформации силового трансформатора подстанции.

Далее в работе принимаются базисные условия при расчёте в именованных единицах.

Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена:

$$S_{\bar{o}} = 16 \text{ кВА} = 0,016 \text{ МВА}.$$

Базисное напряжение схемы ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена определяется так [6]:

$$U_{\bar{o}.} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}}, \text{кВ}. \quad (20)$$

По условию (20):

$$U_{\bar{o}.1} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ}.$$

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

Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена [8]:

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}}}. \quad (21)$$

По условию (21):

$$I_{\bar{o}1} = \frac{0,016}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,0015 \text{ кА}.$$

$$I_{\delta.2} = \frac{0,016}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,023 \text{ кА.}$$

«Значение индуктивного сопротивления КЛ» совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена [16]:

$$X_W = X_{y\delta.W} \cdot L_W \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}. \quad (22)$$

$$X_{W1} = 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,016}{10,5^2} = 0,0003 \text{ о.е.}$$

$$X_{W3} = 0,38 \cdot 0,5 \cdot \frac{0,016}{0,4^2} = 0,019 \text{ о.е.}$$

Известно, что при расчёте токов КЗ в сетях 6(10)/0,4 кВ необходимо учитывать активные сопротивления всех элементов схемы замещения [8].

«Значение активного сопротивления КЛ» [8]

$$R_W = R_{y\delta.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}. \quad (23)$$

$$R_{W1} = 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,016}{10,5^2} = 0,0004 \text{ о.е.}$$

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,5 \cdot \frac{0,016}{0,4^2} = 0,031 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [16]

$$X_{T1} = \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.T}}. \quad (24)$$

$$X_{T1} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,016}{0,016} = 0,105 \text{ о.е.}$$

Максимальное значение токов трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена определяется по известному выражению [16]

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (25)$$

«Полное сопротивление цепи КЗ до расчётных точек и ток КЗ» [16]

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (26)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,05 + 0,0003)^2 + 0,0004^2} = 0,05 \text{ o.e.}$$

$$I_{\kappa1}^{(3)} = \frac{1}{0,05} \cdot 0,015 = 0,3 \text{ кА} = 300 \text{ А.}$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}. \quad (27)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,05 + 0,0003 + 0,105)^2 + 0,0004^2} = 0,155 \text{ o.e.}$$

$$I_{\kappa2}^{(3)} = \frac{1}{0,155} \cdot 0,023 = 0,148 \text{ кА} = 148 \text{ А.}$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (28)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,05 + 0,0003 + 0,105 + 0,019)^2 + (0,0004 + 0,031)^2} = 0,42 \text{ o.e.}$$

$$I_{\kappa3}^{(3)} = \frac{1}{0,42} \cdot 0,023 = 0,055 \text{ кА} = 55 \text{ А.}$$

Ударный ток при максимальном значении трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена [16]:

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (29)$$

Численное значение ударного тока при максимальных значениях трёхфазных токов КЗ в расчётных точках схемы вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 300 = 594 \text{ A.}$$

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 155 = 218,6 \text{ A.}$$

$$i_{уд.к3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 55 = 77,8 \text{ A.}$$

Минимальное значение токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена определяется по известному выражению [16]

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к}^{(3)}. \quad (30)$$

Численное значение минимальных токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы вводимой в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена:

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 300 = 259,8 \text{ A.}$$

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 155 = 134,2 \text{ A.}$$

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 55 = 47,6 \text{ A.}$$

Все полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания (трёхфазного, двухфазного), а также величины ударных токов, выполненных

в расчётных точках КЗ схемы вводимой в эксплуатацию понизительной подстанции ПСН-10/0,4 кВ на совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, приведены в данной работе в форме таблицы 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов токов короткого замыкания в расчётных точках КЗ схемы вводимой в эксплуатацию понизительной подстанции ПСН-10/0,4 кВ на совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена

Параметр	Единица измерения	Числовое значение параметра		
		Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_K^{(3)}, A$	A	300,0	155,0	55,0
$I_K^{(2)}, A$	A	259,8	134,2	47,6
$i_{уд.к}, A$	A	594,0	218,6	77,8

Полученные результаты расчетов токов короткого замыкания в расчётных точках КЗ схемы вводимой в эксплуатацию понизительной подстанции ПСН-10/0,4 кВ на совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, используются в работе далее при выборе и проверке электрических аппаратов на подстанции.

Выбор и проверка электрических аппаратов

Одним из этапов предложенных мероприятий по реконструкции рассматриваемой в работе совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена путём ввода в эксплуатацию ПСН-10/0,4 кВ, входящей в её структуру.

В результате этого, необходимо выбрать коммутационные и защитные электрические аппараты для установки в РУ-10 кВ и в РУ-0,4 кВ ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

На ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, выбор аппаратов осуществляется с применением перспективных технических решений и современных расчётных методик.

Известно, что внедрение принятых решений по выбору современного оборудования для установки на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, повысит показатели энергоэффективности и является одной из ключевых тенденций управления развитием системы электроснабжения.

В работе при выборе оборудования ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, необходимо учесть критерии, являющиеся определяющими при выборе современного типа оборудования подстанций.

Известно, что современные технические решения по модернизации оборудования подстанций включают применение нового инновационного оборудования, которое характеризуется следующими техническими и экономическими критериями [19,20]:

- высокая надёжность узлов, механизмов и систем оборудования (критерий 1);
- повышенный коммутационный ресурс, минимальный износ главной и дугогасительной контактных систем (критерий 2);
- стабильное отключение больших токов (критерий 3);
- применение современных способов гашения электрической дуги (критерий 4);
- повышенная электробезопасность (критерий 5);
- экологическая безопасность (критерий 6);
- пожаробезопасность (критерий 7);
- взрывобезопасность (критерий 8);
- удобства и минимум затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт (критерий 9);

- минимум финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений (критерий 10);
- возможность дальнейшей модернизации (критерий 11).

С учётом данных критериев, выбор конкретных марок данных аппаратов для их непосредственной установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, проводится в работе далее.

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по условиям» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (31)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (32)$$

«Для отключающих аппаратов проверка на ток отключения» [12]:

$$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (33)$$

«Проверка на отключение апериодической составляющей тока» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (34)$$

где « $\beta_{ном}$ – номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе» [12];

« $i_{а.ном}$ – номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка на электродинамическую стойкость [12]:

– «по условию номинального тока отключения» [12]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (35)$$

– «по величине ударного тока» [6,7]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (36)$$

где « $i_{дин.}$ – номинальный ток электродинамической стойкости» [12].

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (37)$$

где « I_T – предельный ток термической стойкости по каталогу» [12].

По приведённым выше формулам, далее в работе проводится выбор и проверка нового оборудования для его установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Так как на подстанции в результате проведения реконструкции используются два одинаковых силовых трансформатора по номинальным мощностям и типам, необходимо проводить выбор нового оборудования в цепи одного силового трансформатора (как на стороне 10 кВ, так и на стороне 0,4 кВ подстанции).

Следовательно, выбор оборудования для второго трансформатора ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, результаты будут аналогичными.

Для примера проводится выбор и проверка выключателя для защиты и коммутации ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена на стороне 10 кВ, установленном в РУ-10 кВ:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети} = 10 \text{ кВ}.$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 1,3 \text{ А}.$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 0,3 \text{ кА}.$$

$$i_{пр.скв} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 0,594 \text{ кА}.$$

Окончательно выбирается для установки на питающем РУ-10 кВ с целью защиты и коммутации ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, современный вакуумный выключатель номинального напряжения 10 кВ марки ВВ/TEL-10-12,5/630-112.

Аналогично осуществлены выбор и проверка электрических аппаратов 10 кВ (коммутационных, защитных и регулирующих) для их установки в РУ-10 кВ для питания ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, а также и непосредственно на самой ПСН-10/0,4 кВ, с приведением полученных результатов в работе результатов в форме таблицы 5.

Таблица 5 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 10 кВ на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена

Наименование аппарата	Количество в схеме, единиц	Марка (типономинал) аппарата
Выключатель	2	ВВ/TEL-10-12,5/630-112
Трансформатор тока	8	ТПЛ-10
Разъединитель	2	РВФЗ-10/630

Далее в работе проводится выбор и проверка аппаратов в сети 0,4 кВ ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Автоматы в сети 0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена выбираются по условиям, приведённым ниже.

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

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (38)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (39)$$

«Ток уставки электромагнитного расцепителя» [14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k, \quad (40)$$

где « $K_{то}$ – кратность тока отсечки» [19].

«В случае, если автомат выполнен с регулируемым электромагнитным расцепителем, зависящим от тока уставки теплового расцепителя» [19]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р.}, \quad (41)$$

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

Выбор автоматических выключателей системы электроснабжения ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена для питающей сети её потребителей приведён в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора автоматов питающей сети 0,38/0,22 кВ ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена

Наименование	I_p , А	Марка автомата	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.э.р.}$, А
Вводной автомат	34,5	ВА 47-29/40С	40	40	120
Источник бесперебойного питания	4,70	ВА 47-29/6С	6	6	18
Схемы управления	0,70	ВА 47-29/6С	6	6	18
АСКУЭ	1,05	ВА 47-29/6С	6	6	18
Пожарная сигнализация	1,03	ВА 47-29/6С	6	6	18
Охранная сигнализация	1,03	ВА 47-29/6С	6	6	18
Розеточные группы	1,9	ВА 47-29/6С	6	6	18
Освещение наружное	0,66	ВА 47-29/6С	6	6	18
Освещение внутреннее	0,33	ВА 47-29/6С	6	6	18
Отопление	4,70	ВА 47-29/6С	6	6	18
Кондиционирование	4,14	ВА 47-29/6С	6	6	18

Принятые в работе автоматы питающей и распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения потребителей ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена удовлетворяют условиям выбора и проверок.

Все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты, выбранные для установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Выводы по разделу 2.

В разделе, исходя из задания и принятых решений по реконструкции электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей подстанции в целом с учётом реконструкции схемы электрических соединений;
- выбор силовых трансформаторов с учётом реконструкции схемы подстанции;
- выбор и проверка проводников на подстанции;
- определение токов короткого замыкания на подстанции;
- выбор и проверка электрических аппаратов.

Внедрены практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, в основе которых лежат ввод в эксплуатацию новой ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Поскольку в результате расчётов получилось положительное расчётное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на ПСН-10/0,4 кВ устанавливаются в количестве двух единиц марки Epcos PhiCap МКР400-D-4 квар, и расчётное значение электрических нагрузок

(активной, реактивной и полной) в работе пересчитано с учётом данного факта.

С учётом расчёта компенсации реактивной мощности на ПСН-10/0,4 кВ, окончательно принято на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена с учётом сторонних потребителей, два трансформатора ТСЗ-16/10, которые удовлетворяют проверке на нагрузочную способность как в нормальном режиме, так и в послеаварийном режиме работы при выходе одного из силовых трансформаторов питающей подстанции из строя.

Выбраны и проверены сечения кабельных линий электропередачи на совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, включая питающую линию 10 кВ и отходящие линии 0,4 кВ питающей и распределительной сети объекта. В результате проведения расчётов и проверок установлено, что силовой трёхжильный кабель современного типа с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвВнг(А) – Ls FRHF 10 (3×16), при условии прокладки в стандартных железобетонных лотках в условиях метрополитена, удовлетворяет выбору в качестве питающего кабеля ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена. Для питающей сети в работе были выбраны и проверены силовые кабели марки АПвВГ (4×2,5).

Выбраны следующие электрические аппараты для установки на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена на стороне 10 кВ – выключатель марки ВВ/TEL-10-12,5/630-112 (2 единицы), трансформатор тока марки ТПЛ-10 (8 единиц), разъединитель марки РВФЗ-10/630 (2 единицы). На стороне 0,38/0,22 кВ для защиты потребителей, питающихся от ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, выбраны и проверены автоматы серии ВА различных типономиналов.

Разработка мероприятий по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования подстанции

Разработка мероприятий по монтажу оборудования подстанции

Далее в работе проводится разработка мероприятий по монтажу оборудования вводимой в эксплуатацию подстанции ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений последней.

В работе ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена выполняется в виде комплектной трансформаторной подстанции наружного исполнения, поэтому её монтаж состоит из следующих основных блоков:

- составление проектной документации и ведомости монтажных работ оборудования ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена;
- подготовка места установки ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена;
- закупка и доставка оборудования ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена на место монтажа;
- установка сборных конструкций ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена;
- монтаж основного оборудования ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена в такой последовательности: монтаж силовых трансформаторов, аппаратов РУ-10 кВ, аппаратов РУ-0,4 кВ;
- соединение и фазировка первичных силовых цепей ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена;
- монтаж вторичных цепей коммутации ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена, включающих монтаж релейной защиты, автоматики, блокировок, сигнализации, телеизмерений, средств учёта и контроля электроэнергии;

- проверка работоспособности полного комплекса ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена путём детальной «прозвонки» всех сетей и цепей;
- подключение внешних источников питания ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена;
- пробное включение в работу ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена под напряжением;
- устранение возможных дефектов, наладка всех цепей и механизмов ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена;
- приёмо-сдаточные испытания ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена;
- окончательное включение в работу ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена;
- составление и согласование акта выполненных работ по монтажу ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена.

Все работы по монтажу ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена проводятся согласно принятых актов и нормативных документов по технике безопасности, технических нормативов и технической документации.

Все работы по монтажу ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена выполняются силами монтажных и ремонтных бригад данной организации.

Если есть необходимость, привлекают сторонних специалистов (в основном, для тонкой наладки оборудования, а также перед вводом объекта в эксплуатацию путём его пробного пуска).

За правильность монтажных работ, а также за техническую исправность смонтированного оборудования и сетей ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена, несёт ответственность главный инженер Московского метрополитена.

.2 Разработка мероприятий по эксплуатации оборудования подстанции

Далее в работе проводится разработка мероприятий по эксплуатации оборудования вводимой в эксплуатацию подстанции ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений последней.

В работе ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена выполняется в виде комплектной трансформаторной подстанции наружного исполнения, поэтому её эксплуатация состоит из следующих основных блоков:

- периодический надзор и системный осмотр за силовыми трансформаторами ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена. При этом проверяется внешний вид трансформаторов, температура обмоток, состояние контактных соединений, отсутствие повреждений, характер гула трансформаторов, отсутствие посторонних предметов, состояние релейной защиты и автоматики. В случае перегрева обмоток, необходимо понизить температуру двумя способами: созданием дополнительного вентиляционного потока и уменьшением нагрузки силовых трансформаторов;
- периодический надзор и системный осмотр за оборудованием РУ-10 кВ ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена. При этом проверяется внешний вид оборудования, температура корпуса аппаратов, состояние контактных соединений, отсутствие повреждений, отсутствие посторонних предметов, состояние блокировок, а также устройств релейной защиты, автоматики, сигнализации и телемеханики. Особое внимание уделяется отсутствию искрения и посторонних звуков во время срабатывания аппаратуры РУ-10 кВ, которые могут быть причиной выхода оборудования из строя;

- периодический надзор и системный осмотр за оборудованием РУ-0,4 кВ ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена. При этом проверяется внешний вид оборудования, температура корпуса аппаратов, состояние контактных соединений, отсутствие повреждений, отсутствие посторонних предметов, техническое состояние блокировок. Особое внимание уделяется отсутствию искрения и посторонних звуков во время срабатывания аппаратуры РУ-0,4 кВ, которые могут быть причиной выхода оборудования из строя. При необходимости, проблемный аппарат может быть проверен во время его непосредственной работы под напряжением (в отличие от аппаратов РУ-10 кВ);
- периодический надзор и системный осмотр за кабельными линиями ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена. При этом особое внимание уделяется техническому состоянию муфт (соединительных, стопорных и концевых), а также проверяется внешний вид трассы кабельных линий, температура и ток кабелей. В случае перегрева кабельных линий, необходимо понизить температуру двумя способами: созданием дополнительного вентиляционного потока и уменьшением нагрузки кабелей.

Все работы по эксплуатации ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена проводятся согласно принятых актов и нормативных документов по технике безопасности, технических нормативов и технической документации.

Все работы по эксплуатации ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена выполняются силами эксплуатационных и диспетчерских бригад данной организации.

Также необходимо проводить согласование сроков и мероприятий эксплуатации с технической документацией заводов-изготовителей оборудования.

Ответственность за эксплуатацию оборудования ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена, несёт ответственность главный инженер данной организации.

Разработка мероприятий по ремонту оборудования подстанции

Далее в работе проводится разработка мероприятий по ремонту оборудования вводимой в эксплуатацию подстанции ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений последней.

Известно, что существуют следующие виды ремонта:

- текущий ремонт – оборудование частично разбирают, приводят в исправное техническое состояние нужные части, узлы и механизмы. Проверки только частичные (по мере необходимости);
- капитальный ремонт – выполняется с полной разборкой оборудования и полной или частичной заменой важнейших узлов и механизмов. Проверки, как правило, полные.

При текущем ремонте оборудование вводимой в эксплуатацию подстанции ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена проверяют на соответствующее техническое состояние, проводят его частичную разборку, удаление пыли и грязи, смазывают основные механизмы и узлы.

У трансформаторов особое внимание уделяют состоянию обмоток и магнитопровода, а также вводов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, проверяя их целостность и работоспособность.

У электрических аппаратов особое внимание уделяют контактными системам, зачищают от грязи и пыли контактные соединения, а также токоведущие части.

У кабельных линий проводят полную проверку и очистку всей трассы, проверку их на допустимый нагрев, а также отсутствие пробоя в линии.

При капитальном ремонте всю подстанцию ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена снимают с основания и перевозят в ремонтный цех.

При этом полностью разбирают основные узлы и механизмы, заменяют контакты у аппаратов, которые выработали свой ресурс, вводы у трансформаторов.

Также у трансформаторов при капитальном ремонте снимают обмотки и расширяют магнитопровод трансформаторов, где проводят полный осмотр и проверку на наличие «пожара стали», целостности, герметичности и других технических условий.

Все работы по ремонту оборудования ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена проводятся согласно принятых актов и нормативных документов по технике безопасности, технических нормативов и технической документации.

Все ремонтные работы выполняются силами ремонтных бригад данной организации.

Также необходимо проводить согласование сроков и мероприятий по ремонту оборудования с технической документацией заводов-изготовителей оборудования.

Ответственность за ремонт оборудования ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена, несёт ответственность главный инженер данной организации.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения третьего раздела работы, приведены основные мероприятия по монтажу, эксплуатации и ремонту ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена.

Описанные мероприятия могут быть приняты к сведению при практической реализации проекта.

Заключение

В результате выполнения работы, разработаны предложения по реконструкции совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Исходя из результатов проведённого анализа состояния схемы электрических соединений, а также состояния оборудования в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ переменного напряжения и РУ-0,6 кВ постоянного напряжения, подстанции, основываясь на положениях нормативных документов, в данной работе предложены следующие практические рекомендации по реконструкции электрической части совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, включающие в себя такие основные этапы, а именно:

- реконструкцию внутренней схемы электрических соединений совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, предусматривающую питание оперативных вторичных цепей и нагрузки потребителей собственных нужд, большинство из которых относится к I и II категории надёжности, от отдельной подстанции собственных нужд ПСН-10/0,4 кВ, которая встраивается в систему электроснабжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена и будет являться её составной частью. При этом на ПСН-10/0,4 кВ предусматривается установка двух силовых трансформаторов;
- реконструкцию схемы электрических соединений совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена на стороне 10 кВ, предусматривающей установку дополнительных аппаратов защиты и коммутации для питания ПСН-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ СТП Московского метрополитена. При этом выбирается схема питания, предусматривающая радиальный ввод от двух различных шин 10 кВ СТП. Данные аспекты соответствуют

требованиям [1,10], которые предъявляются к электрическим схемам для питания объектов I и II категорий надёжности;

- в связи с изменением питания некоторых объектов и схемы электрических соединений, описанного ранее, требуется переключение вторичной обмотки тяговых трансформаторов на «звезду» без ответвлений, а также демонтаж питающей линии к системе оперативных вторичных цепей и собственных нужд.

Внедрение принятых рекомендаций по реконструкции схемы электроснабжения силовой части совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, позволят значительно повысить надёжность, экономичность, электробезопасность и экологичность на объекте исследования, при этом значительно снизив затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание и ремонт данного оборудования.

Такая реконструкция обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

При этом установлено, что оборудование всех распределительных устройств СТП находится в удовлетворительном техническом состоянии, следовательно, модернизировать его нет производственной необходимости.

Исходя из задания и принятых решений по реконструкции электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей подстанции в целом с учётом реконструкции схемы электрических соединений;

- выбор силовых трансформаторов с учётом реконструкции схемы подстанции;
- выбор и проверка проводников на подстанции;
- определение токов короткого замыкания на подстанции;
- выбор и проверка электрических аппаратов.

Поскольку в результате расчётов получилось положительное расчётное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на ПСН-10/0,4 кВ устанавливаются в количестве двух единиц марки Epcos PhiCap МКР400-D-4 квар, и расчётное значение электрических нагрузок (активной, реактивной и полной) в работе пересчитано с учётом данного факта.

С учётом расчёта компенсации реактивной мощности на ПСН-10/0,4 кВ, окончательно принято на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена с учётом сторонних потребителей, два трансформатора ТСЗ-16/10, которые удовлетворяют проверке на нагрузочную способность как в нормальном режиме, так и в послеаварийном режиме работы при выходе одного из силовых трансформаторов питающей подстанции из строя.

В результате проведения расчётов и проверок установлено, что силовой трёхжильный кабель современного типа с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПВнг(А) – Ls FRHF 10 (3×16), при условии прокладки в стандартных железобетонных лотках в условиях метрополитена, удовлетворяет выбору в качестве питающего кабеля ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена.

Для питающей сети в работе были выбраны и проверены силовые кабели марки АПВГ (4×2,5).

Выбраны следующие электрические аппараты для установки на ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена на стороне 10 кВ – выключатель марки ВВ/TEL-10-12,5/630-

112 (2 единицы), трансформатор тока марки ТПЛ-10 (8 единиц), разъединитель марки РВФЗ-10/630 (2 единицы).

На стороне 0,38/0,22 кВ для защиты потребителей, питающихся от ПСН-10/0,4 кВ совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена, выбраны и проверены автоматы серии ВА различных типоминалов.

Приведены основные мероприятия по монтажу, эксплуатации и ремонту ПСН-10/0,4 кВ СТП Московского метрополитена.

Описанные мероприятия могут быть приняты к сведению при практической реализации проекта.

Расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

Реконструированная система электроснабжения совмещённой тягово-понижительной подстанции Московского метрополитена отвечает установленным требованиям нормативных документов по всем требуемым критериям.

Список используемых источников

1. Виноградова А. В. Электроснабжение метрополитенов: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интермет Инжиниринг, 2017. 672 с.
2. Герасименко А. А. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника». 4-е изд., стереотип. Москва: КНОРУС, 2016. 645 с.
3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
4. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. М.: Колос, 2016. 184 с.
5. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
6. Наумов И. В. Проектирование систем электроснабжения: учеб. пособие для студентов вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. техн. ун-та, 2019. 355 с.
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2016. 608 с.
8. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
9. Итемов С.П. Основы проектирования систем электроснабжения: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. 163 с.

10. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 315 с.
12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2016. 448 с.
14. Саенко Н. Ю. Выбор варианта построения систем электроснабжения на основании рассчитанных нагрузок. Стратегии развития современной науки: материалы Междунар. (заочной) науч.-практ. конф. Нефтекамск, 2017. С. 58-62.
15. Сапрыка А. В. Проектирование систем электроснабжения: учеб. пособие для студентов. Белгород : БГТУ, 2017. 164 с.
16. Силовое оборудование тяговых подстанций железных дорог и метрополитенов (сборник справочных материалов). ОАО «РЖД». М.: Трансиздат, 2018. 122 с.
17. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
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».
19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.
20. Юдин И.П. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования метрополитенов и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 464 с.