

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 Проектирование системы электроснабжения спортивного комплекса

Обучающийся

С. Ш. Абдухамидов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к. т. н., В.С. Романов

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

Консультант

к.п.н., О.Н. Брега

## Аннотация

В работе разработан проект системы электроснабжения нового спортивного комплекса.

Для достижения поставленной цели, в работе решены следующие основные задачи:

- приведена исходная характеристика спортивного комплекса;
- осуществлено непосредственное проектирование системы электроснабжения спортивного комплекса с детальным обоснованием принятых решений;
- выбрана система учёта и контроля электроэнергии в электрической сети спортивного комплекса.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по проектированию схемы электрических соединений, а также выбору сетей и электрооборудования системы электроснабжения нового спортивного комплекса.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской, содержащей 62 печатные страницы, а также шестью листами графической части формата А1.

## **Abstract**

The project of the power supply system of a new sports complex was developed in the work.

To achieve this goal, the following studies were carried out:

- the initial characteristics of the sports complex are given;
- direct design of the power supply system of the sports complex was carried out with a detailed justification of the decisions made;
- a system for accounting and control of electricity in the electrical network of the sports complex was selected.

The result of the work is the development, verification and implementation of technical solutions that allow the implementation of high-quality measures for the design of the electrical connection scheme, as well as the choice of networks and electrical equipment of the power supply system of the new sports complex.

The work is presented by a settlement and explanatory note containing 62 printed pages, as well as six sheets of the graphic part of A1 format.

## Содержание

Введение .....	5
1 Исходная характеристика спортивного комплекса .....	8
1.1 Краткая характеристика помещений и потребителей спортивного комплекса.....	8
1.2 Требования нормативных документов к системам электроснабжения спортивных сооружений .....	12
2 Внедрение мероприятий по проектированию системы электроснабжения спортивного комплекса.....	16
2.1 Выбор системы электроснабжения спортивного комплекса .....	16
2.2 Расчёт освещения спортивного комплекса .....	19
2.3 Расчёт электрических нагрузок спортивного комплекса .....	25
2.4 Выбор силовых трансформаторов питающей подстанции спортивного комплекса.....	30
2.5 Выбор и проверка проводников .....	34
3 Расчёт токов короткого замыкания .....	41
4 Выбор и проверка электрических аппаратов .....	48
5 Выбор системы учёта и контроля в системе электроснабжения спортивного комплекса.....	56
Заключение .....	59
Список используемых источников.....	61

## Введение

Современные спортивные комплексы имеют большой потенциал для развития и становятся важными объектами спортивной культуры в обществе.

Назначение современных спортивных комплексов заключается в реализации комплексных мероприятий по коррекции фигуры и процедур для занятий спортом и соревнований, а также других аналогичных мероприятий.

Перспективы развития современных спортивных комплексов заключаются в следующих аспектах:

- инновационные технологии. Современные спортивные комплексы используют новейшие технологии, такие как виртуальная реальность, искусственный интеллект для развития занятий спортом и тренировок. Развитие новых технологий и их интеграция в спортивные комплексы представляют собой обеспечение высокого качества занятий спортом и повышение уровня интереса к спорту;
- увеличение размеров и функциональности. Современные спортивные комплексы часто встречаются в более крупных и посещаемых местах, которые позволяют проводить спортивные виды спорта. Такие комплексы включают в себя большое количество посетителей с разным уровнем подготовки и возрастом;
- экологические технологии. В связи с наличием большого количества разнообразных аспектов гражданских сооружений, увеличивается их влияние на окружающую среду. Поэтому современные спортивные комплексы должны быть экологически устойчивыми и, по возможности, использовать экологически чистые источники энергии, а также материалы;
- развитие социального функционала. Современные спортивные комплексы могут стать местом для общения и социализации, где люди могут встречаться, заниматься спортом и проводить время в приятной атмосфере. Для этого необходимо развивать социальный функционал,

такой как кафе, рестораны, зоны отдыха и другие сервисы;

- увеличение доступности. Современные спортивные комплексы должны быть предусмотрены для всего населения, включая людей с ограниченными возможностями, а также детей. Это может быть достигнуто путем создания специально оборудованных объектов, а также социальных программ и услуг для этих групп.

В зависимости от индивидуальных особенностей, спортивные комплексы играют в себя:

- бассейны для плавания и других водных видов спорта;
- корты для тенниса, бадминтона, сквоша;
- площадки для баскетбола, волейбола, гандбола, футбола, регби, хоккея и других командных видов спорта;
- залы для занятий фитнесом, аэробикой, йогой, пилатесом и другими видами спорта;
- тренажерные залы и спортивные площадки для занятий на силовых тренажерах и другими аналогичными силовыми упражнениями;
- площадки для легкой атлетики, скейтбординга, роликового спорта и экстремальных видов спорта.

Спортивные комплексы включают в себя различные общественные и социальные объекты, такие как кафе, рестораны, магазины, зоны отдыха и прочие аналогичные объекты, чтобы создать комфортную и удобную среду для занятий спортом.

Один из таких спортивных комплексов, который планируется ввести в эксплуатацию, рассмотрен в работе детально.

Основной целью данной работы является разработка и реализация проекта системы электроснабжения нового спортивного комплекса, который должен отвечать современным критериям надёжности, электробезопасности, экономичности, экологичности, быстродействия, селективности (избирательности), а также прочим аналогичным критериям.

Объектом исследования в работе является новый спортивный комплекс,

планируемый к вводу в эксплуатацию.

Предметом исследования являются система электроснабжения нового спортивного комплекса, включая схему электрических соединений нормального режима на объекте исследования, а также основное электрическое оборудование и сети на объекте.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие основные задачи:

- привести исходную характеристику оборудования и сетей спортивного комплекса;
- осуществить непосредственное проектирование системы электроснабжения спортивного комплекса с детальным обоснованием принятых решений;
- выбрать систему учёта и контроля электроэнергии в электрической сети спортивного комплекса.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по проектированию схемы электрических соединений, а также выбору сетей и электрооборудования в системе электроснабжения нового спортивного комплекса.

## **1 Исходная характеристика спортивного комплекса**

### **1.1 Краткая характеристика помещений и потребителей спортивного комплекса**

Далее в работе приводится краткая характеристика помещений и потребителей спортивного комплекса.

Проектируемый в работе спортивный комплекс является одноэтажным строением, в котором расположены помещения для занятия спортом, а также прочие коммуникации.

В состав проектируемого спортивного комплекса, входят следующие типы помещений:

- помещения для занятий спортом: зал для занятий фитнесом, спортивные залы, тренажёрный зал;
- тренерская и кабинет врача;
- технические помещения с оборудованием жизнеобеспечения спортивного комплекса (тепловой пункт, автономная система отопления, система кондиционирования и увлажнения воздуха, система пожаротушения, система фильтрации воздуха, система нагрева воды, система резервного водообеспечения, система резервного водоотведения, системы телекоммуникаций);
- санитарно-бытовые помещения: раздевалки, сан. узлы, душевые;
- буфет;
- бытовые помещения: гардеробная, инвентарные помещения, кладовая и уборная инвентаря;
- прочие помещения.

Состав и характеристика перечисленных помещений проектируемого спортивного комплекса, с указанием площади помещений, представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Состав и характеристика помещений спортивного комплекса

Номер помещения по плану	Наименование помещений	Площадь помещений, м <sup>2</sup>
1	Лестничная клетка	17,77
2	Раздевалка	23,84
3	Душевая	9,68
4	Сан. узел	3,08
5	Коридор	64,77
6	Раздевалка	24,60
7	Сан. узел	3,0
8	Душевая	9,6
9	Зал для занятий фитнесом	106,92
10	Спортивный зал	976,23
11	Техническое помещение	25,53
12	Техническое помещение	24,81
13	Тамбур	18,56
14	Буфет	65,83
15	Гардеробная	65,83
16	Вестибюль	261,0
17	Лестничная клетка	16,91
18	Помещение охраны	8,09
19	Лестничная клетка	16,80
20	Спортивный зал	206,83
21	Инвентарная	17,39
22	Спортивный зал	200,82
23	Инвентарная	17,39
24	Тренажёрный зал	200,92
25	Инвентарная	17,39
26	Раздевалка	24,72
27	Душевая	11,14
28	Сан. узел	3,48
29	Душевая	11,22
30	Сан. узел	3,52
31	Раздевалка	23,34
32	Электрощитовая	14,62
33	Лестничная клетка	17,42
34	Душевая	6,40
35	Техническое помещение	27,32
36	Сан. узел	4,10
37	Сан. узел	3,52
38	Раздевалка	5,20
39	Душевая	3,58
40	Тренерская	18,04
41	Кабинет врача	16,11
42	Сан. узел для МГН	3,26
43	Сан. узел	6,08
44	Сан. узел	6,02
45	Тепловой пункт	16,79
46	Кладовая и уборная инвентаря	11,68
47	Коридор	191,42

Расположение помещений проектируемого спортивного комплекса, указанных в таблице 1, показано на рисунке 1 и на графическом листе 1.

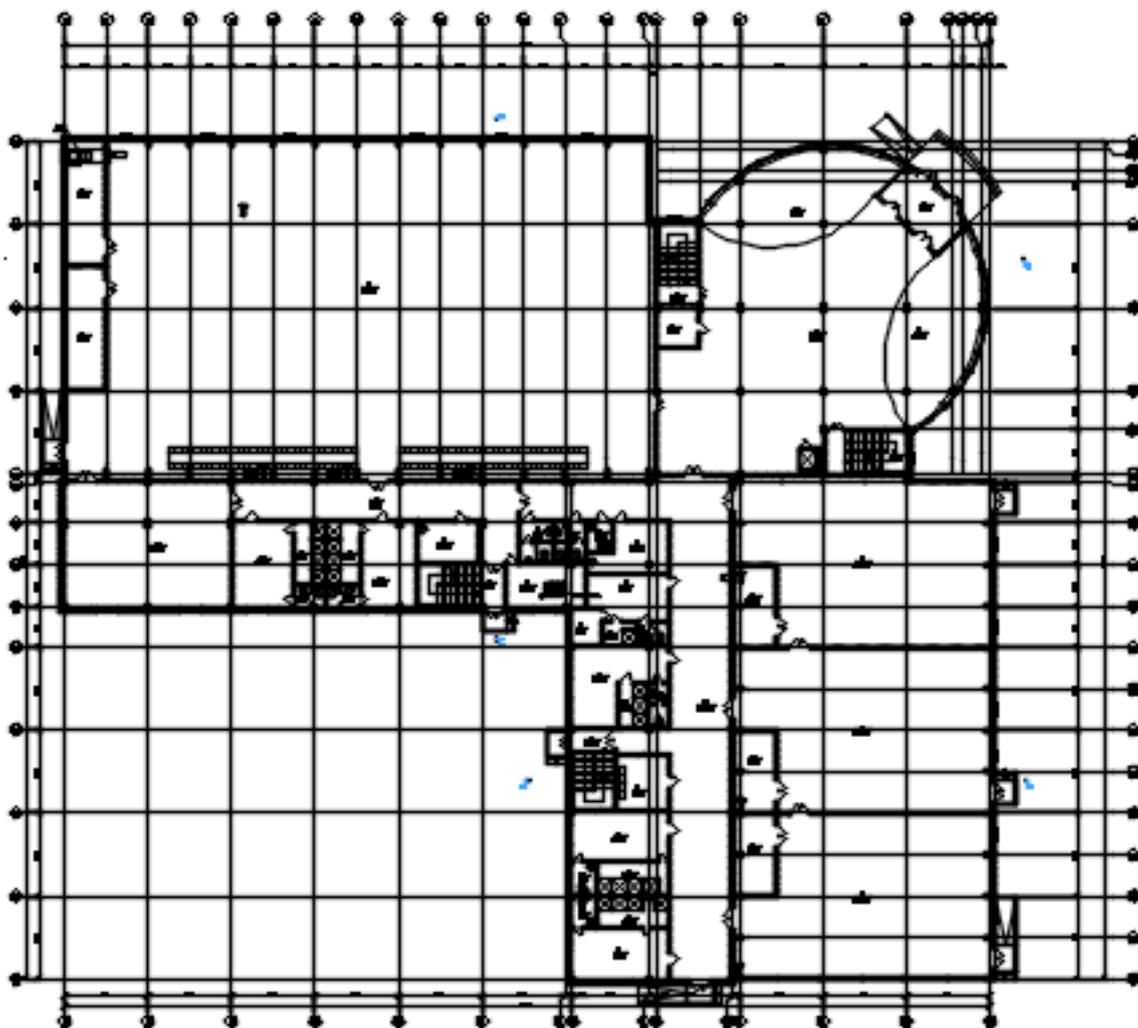


Рисунок 1 – Расположение помещений проектируемого спортивного комплекса

Согласно техническим условиям на проектирование, оборудование спортивного комплекса является разнообразным и включает в себя однофазные потребители малой мощности (розеточные группы помещений), а также мощные трёхфазные потребители технических нужд.

В виду этого, они распределены на распределительные щиты (ЩР), от которых получают питание разнообразные потребители спортивного комплекса.

Технические данные номинальных нагрузок потребителей нового спортивного комплекса, распределённых по сети ЩР (ЩО), представлены в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Технические данные номинальных нагрузок потребителей распределительных щитов нового спортивного комплекса, распределённых по сети ЩР (ЩО)

Номер ЩР (ЩО)	Характеристика ЩР (ЩО)	$P_{ном}, кВт$
I секция шин		
ЩР1	ЩР розеточных групп северного крыла	8,50
ЩР2	ЩР розеточных групп южного крыла	8,20
ЩР3	ЩР теплового пункта	46,86
ЩР4	ЩР розеточных групп западного крыла	9,10
ЩР5	ЩР системы нагрева и подачи воды	109,60
ЩР6	ЩР розеточных групп восточного крыла	10,50
ЩР7	ЩР рабочей системы телекоммуникаций	0,35
ЩР8	ЩР системы пожаротушения	7,00
ЩР9	ЩР автономной системы отопления	220,50
ЩР10	ЩР аварийной системы телекоммуникаций	0,14
ЩР11	ЩР кабинета врача	10,85
ЩР12	ЩР системы кондиционирования и увлажнения воздуха	32,00
ЩО1	Внутреннее рабочее освещение	43,34
ЩО2	Наружное рабочее освещение	3,60
Всего электроосвещения секции I		46,94
Всего силовое оборудование секции I		463,60
Итого нагрузки по секции I		510,54
II секция шин		
ЩР13	ЩР системы резервного водоотведения	195,71
ЩР14	ЩР системы резервного водообеспечения	251,70
ЩР15	ЩР системы фильтрации и аэрации воздуха	54,00
ЩР16	ЩР насосной и резервного отопления	300,00
ЩО3	Аварийное освещение	4,7
ЩО4	Наружное аварийное освещение	0,5
Всего электроосвещения секции II		5,2
Всего силовое оборудование секции II		801,41
Итого нагрузки по секции II		806,61
Итого нагрузки по секциям I и II (нагрузка спортивного комплекса)		1317,15

Исходные номинальные нагрузки силовой и осветительной сети, указанные в таблице 2, являются основанием для расчёта нагрузок спортивного комплекса с последующим выбором сечения проводников и электрооборудования. Далее в работе проводится анализ требований нормативных документов к СЭС спортивного комплекса.

## **1.2 Требования нормативных документов к системам электроснабжения спортивных сооружений**

Системы электроснабжения спортивных сооружений должны соответствовать требованиям нормативных документов, которые определяют необходимые параметры и параметры безопасности, надёжности и экономичности для этих систем.

Наиболее важные из этих документов включают в себя следующие основные положения и требования:

- источник [11]. Этот документ определяет требования к проектированию, монтажу, эксплуатации и ремонту электрических установок. В соответствии с требованиями [11], электроснабжение спортивных сооружений должно соответствовать нормам напряжения, тока, мощности и прочих технических характеристик;
- источник [13]. Этот документ устанавливает требования к гигиеническим условиям на производстве и в быту. В соответствии с [13], системы электроснабжения спортивных сооружений должны быть обеспечены электрозащитными устройствами и системами защиты от коротких замыканий;
- источник [15]. Этот документ определяет требования к проектированию, эксплуатации и ремонту спортивных сооружений. В соответствии с [15], системы электроснабжения должны соответствовать требованиям безопасности и быть оборудованы системами аварийного питания;
- источник [18]. Этот документ устанавливает требования к организации и проведению массовых мероприятий, включая спортивные мероприятия. В соответствии с законом, системы электроснабжения спортивных сооружений должны соответствовать требованиям безопасности и обеспечивать работу осветительных систем, звукового и видеооборудования.

В целом, требования нормативных документов к системам электроснабжения спортивных сооружений направлены на обеспечение безопасности и надежности работы электрооборудования в соответствии с нормами и стандартами.

Требования по надежности и экономичности к системам электроснабжения спортивных комплексов зависят от многих факторов, включая тип спортивного сооружения, количество оборудования и его мощность, а также количество посетителей.

Однако, некоторые общие требования к системам электроснабжения в спортивных комплексах могут быть сформулированы следующим образом:

- надежность. Системы электроснабжения спортивных комплексов должны обеспечивать стабильную и надежную работу электрооборудования, включая осветительные системы, звуковое и видеооборудование и другие устройства, связанные с проведением спортивных мероприятий и занятий спортом. В случае возникновения аварийных ситуаций, системы электроснабжения должны иметь системы автоматического отключения и аварийного питания, чтобы обеспечить безопасность посетителей и персонала;
- экономичность. Системы электроснабжения спортивных комплексов должны быть экономичными и эффективными с точки зрения затрат на электроэнергию и обслуживание. Это может быть достигнуто через использование энергосберегающих технологий и материалов, таких как LED освещение, солнечные панели и другие системы, а также современных систем управления и мониторинга потребления электроэнергии;
- соответствие нормам и стандартам. Системы электроснабжения спортивных комплексов должны соответствовать требованиям норм и стандартов, таких как [11], а также [13], [15], [18] и [19] и других. Это гарантирует безопасность и надежность работы систем электроснабжения;

- гибкость и масштабируемость. Системы электроснабжения спортивных комплексов должны быть гибкими и масштабируемыми для адаптации к изменяющимся потребностям и объемам работы. Например, системы должны иметь возможность быстрого увеличения мощности и расширения, чтобы обеспечить электроснабжение новых объектов или устройств. Это может включать в себя установку дополнительного оборудования, изменение схем электроснабжения или дополнительных источников электропитания;
- удобство использования. Системы электроснабжения спортивных комплексов должны быть удобными в использовании и обслуживании для персонала комплекса. Это может включать в себя установку современных систем управления и мониторинга, обеспечение доступности электрощитов и электронных устройств управления, а также обеспечение безопасности при проведении работ по обслуживанию систем электроснабжения;
- соответствие экологическим требованиям. Системы электроснабжения спортивных комплексов также должны соответствовать экологическим требованиям, таким как уменьшение выбросов в атмосферу, снижение расходов на электроэнергию и использование возобновляемых источников энергии.

В системах электроснабжения спортивных объектов, выбор схем определяется, в первую очередь, категорией надёжности объекта. При этом могут быть использованы все известные типы схем (радиальная, магистральная или смешанная). В целом, системы электроснабжения спортивных комплексов должны обеспечивать надёжную и эффективную работу электрооборудования, соответствовать нормам и стандартам, быть гибкими и масштабируемыми, удобными в использовании и обслуживании и соответствовать экологическим требованиям. Таким образом, приведённые сведения должны быть учтены в работе далее с целью разработки качественного проекта системы электроснабжения спортивного комплекса.

Выводы по разделу.

В работе приведена характеристика нового спортивного комплекса, требующего разработки проекта собственной системы электроснабжения.

Приведена характеристика основных помещений и потребителей проектируемой системы электроснабжения спортивного комплекса. Установлено, что данная исходная техническая информация является основой для проектирования объекта.

Приведён анализ основных требований к системам электроснабжения спортивных объектов.

Приведённые сведения должны быть учтены в работе далее с целью разработки качественного проекта системы электроснабжения спортивного комплекса.

Решение поставленных основных задач, с внедрением предложений и рекомендаций по проектированию системы электроснабжения данного объекта, осуществляется в работе далее.

## **2 Внедрение мероприятий по проектированию системы электроснабжения спортивного комплекса**

### **2.1 Выбор системы электроснабжения спортивного комплекса**

Проектируемый спортивный комплекс является объектом второй категории надёжности, поэтому требует двух независимых источников питания [11].

Таким источником питания является понижающая трансформаторная подстанция 10/0,4 кВ (далее – ТП-10/0,4 кВ).

Питающая «подстанция ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса, является двухтрансформаторной комплектной подстанцией тупикового типа наружной установки с кабельными вводами, а также с резервированием на сторонах 10 кВ (ВН) и 0,4 кВ (НН)» [2].

Питание данной подстанции 10/0,4 кВ осуществляется кабельной линией электропередачи с применением силовых кабелей марки АСБ-10, по радиальной схеме, к которой подключена понизительная подстанция 10/0,4 кВ» [5] нового спортивного комплекса.

Распределительное устройство 10 кВ нового спортивного комплекса, представляет собой закрытое распредустройство, в котором применены ячейки комплектного распределительного типа (далее – КРУ).

Следующим основным элементом системы электроснабжения нового спортивного комплекса, являются силовые трансформаторы, понижающие напряжение с 10 кВ до 0,4 кВ, на котором и питаются потребители объекта.

В схеме нового спортивного комплекса рекомендуется установить два силовые трансформатора 10/0,4 кВ.

«Распределительное устройство номинальным напряжением 0,4 кВ (далее – РУ-0,4 кВ) нового спортивного комплекса конструктивно выполнено комплектным, наружной установки, с применением ячеек стационарного типа (выбираются в зависимости от применяемого оборудования).

В схеме РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса, предусмотрена одна рабочая, секционированная выключателем с АВР, система сборных шин с резервированием» [6]. Такая схема достаточно надёжна для питания потребителей объекта, поэтому в реконструкции не нуждается.

«Защита и коммутация схемы РУ-0,4 кВ подстанции ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса обеспечивается автоматическими воздушными выключателями (автоматами), установленными в шкафах РУ-0,4 кВ» [8] указанной понизительной питающей подстанции класса напряжения 10/0,4 кВ.

«Такая схема с наличием автоматического резервирования на стороне 0,4 кВ питающей подстанции нового спортивного комплекса, полностью соответствует условиям для питания I и II категорий потребителей согласно нормам и требованиям» [11].

Принцип обеспечения резервирования на стороне 0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения спортивного комплекса, представлен на рисунке 2.

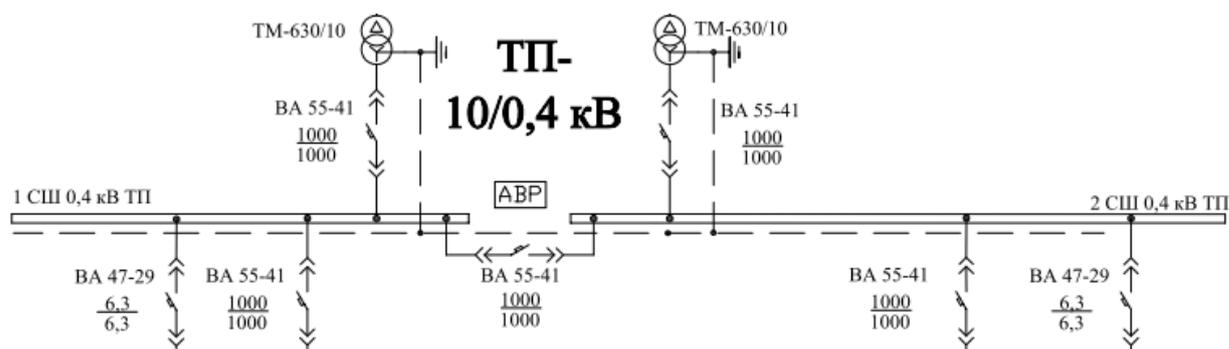


Рисунок 2 – Принцип обеспечения резервирования на стороне 0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения спортивного комплекса

«Полная схема электрических соединений ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса, представлена в данной работе» [10] на графическом листе 2.

Далее от питающей ТП-10/0,4 кВ по радиальной схеме двумя кабельными линиями, получает питание вводное распределительное устройство (ВРУ) системы электроснабжения нового спортивного комплекса.

От ВРУ-0,4 кВ объекта, в свою очередь, по радиальной схеме кабельными линиями электропередачи, питаются вводные щиты: силовые и осветительные (далее, соответственно, ЩВС и ЩВО). В схеме предусматривается наличие четырёх ЩВС и двух ЩВО, которые получают равномерное питание от шин ВРУ-0,4 кВ. Таким образом, от первой и второй секций сборных шин ВРУ-0,4 кВ получают питание по два ЩВС и одному ЩВО. Такая схема учитывает равномерное распределение нагрузки, что важно для обеспечения резервирования в послеаварийном режиме работы согласно [11].

От вводных щитов ЩВС получают питание распределительные щиты силовой нагрузки (далее – ЩР). При этом, так как таких щитов в системе электроснабжения шестнадцать, следовательно, с учётом равномерности распределения нагрузки и обеспечения резервирования в послеаварийном режиме, принимается подключение четырёх ЩР на один ЩВС.

От ЩР получают питание конечные потребители спортивного комплекса: однофазные и трёхфазные. При этом первые равномерно распределяются на все три фазы системы электроснабжения объекта.

Также разделено питание рабочего и аварийного освещения объекта, их щитки питаются от разных трансформаторов ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса, что значительно повышает уровень надёжности, а также создаёт условия необходимого «горячего резервирования».

Таким образом, установлено, что принятая в работе схема электроснабжения нового спортивного комплекса – надёжная и экономичная, поэтому может быть рекомендована к применению на объекте [8].

## 2.2 Расчёт освещения спортивного комплекса

Далее в работе проводится расчёт осветительной нагрузки и выбор источников света для помещений спортивного комплекса.

Для освещения помещений спортивного комплекса применяются современные светодиодные светильники и источники света.

Для расчёта освещения помещений спортивного комплекса можно использовать различные методы, включая следующие:

- метод расчёта по нормам освещённости. Этот метод заключается в определении требуемой освещённости для каждого помещения спортивного комплекса в соответствии с нормативными документами (например, [13] и [14]). Затем определяется количество светильников и их мощность, необходимых для достижения требуемой освещённости;
- метод расчёта по коэффициенту использования светового потока. Этот метод основывается на определении коэффициента использования светового потока помещения, который зависит от формы и размеров помещения, световых свойств его поверхностей и расположения источников света. Затем определяется необходимый световой поток, который должен быть получен от светильников, и выбираются светильники с соответствующей мощностью и световым потоком;
- метод расчёта по суммарной мощности светильников. Этот метод заключается в определении суммарной мощности светильников, необходимых для обеспечения требуемой освещённости в помещении. Затем выбираются светильники с соответствующей мощностью.

При выборе метода расчёта необходимо учитывать особенности помещений спортивного комплекса, а также требования нормативных документов.

В работе принимается метод расчёта по коэффициенту использования светового потока.

Расчёт освещения проводится на примере помещения лестничной клетки спортивного комплекса.

Принимается для данного объекта спортивного комплекса, с учётом того, что лестничная клетка является объектом эвакуационного аварийного освещения, светильники закрытого герметичного типа с дополнительным источником питания в виде встроенной АКБ.

«Оптимальное расстояние между светильниками» [7]:

$$\lambda_c \cdot H_p \leq L \leq \lambda_э \cdot H_p, \quad (1)$$

где « $H_p$  – расчётная высота подвеса светильника, м» [7];

« $\lambda_c, \lambda_э$  – выгоднейшие расстояния между светильниками, м» [7].

«Расчётная высота подвеса выбранного типа светильника» [7]:

$$H_p = H_o - h_{св} - h_{раб}, \quad (2)$$

где « $H_o$  - высота помещения, м» [7];

« $h_{св}$  - высота свеса светильника, м» [7];

« $h_{раб}$  - высота освещаемой рабочей поверхности от пола, м» [7].

«Число светильников по длине помещения, шт.» [7]:

$$N_A = \frac{A - 2l_A}{L} + 1. \quad (3)$$

«Число светильников по ширине помещения, шт.» [7]:

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L} + 1. \quad (4)$$

«Общее число светильников, шт.» [7]:

$$N_{\Sigma} = N_A \cdot N_B. \quad (5)$$

«Действительное расстояние между светильниками и рядами» [7]:

$$L_A = \frac{A}{N_A - a}. \quad (6)$$

$$L_B = \frac{B}{N_B - a}. \quad (7)$$

«Расчёт размещения светильников по выражениям (1 – 7) на примере лестничной клетки спортивного комплекса» [7]:

$$H_p = 4,6 - 0,6 - 1,5 = 2,5 \text{ м.}$$

$$0,5 \cdot 2,5 = 1,75 \leq L = 2.$$

$$N_A = \frac{4,5 - 2 \cdot 0,5}{2} + 1 \approx 3 \text{ шт.}$$

$$N_B = \frac{4 - 2 \cdot 0,5}{2} + 1 \approx 3 \text{ шт.}$$

$$N_{\Sigma} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ шт.}$$

$$L_A = \frac{4,5}{3} = 1,5 \text{ м.}$$

$$L_B = \frac{4}{3} = 1,33 \text{ м.}$$

«Расчёт освещения проводится методом коэффициента использования светового потока» [12]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta_u}, \quad (8)$$

где « $E_n$  - заданная минимальная освещенность, лк» [13];

« $K_3$  - коэффициент запаса» [13];

« $S$  - освещаемая площадь, м<sup>2</sup>» [19];

« $Z$  - коэффициент неравномерности освещения» [14];

« $N$  - общее количество светильников, шт.» [10];

« $\eta_{и}$  - коэффициент использования светового потока, о.е.» [13]

«Индекс помещения» [7]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)}. \quad (9)$$

«Отклонение светового потока» [7]:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{ис} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\%. \quad (10)$$

«Индекс помещения» [7]:

$$i = \frac{4,5 \cdot 4}{2,5 \cdot (4,5 + 4)} = 0,85.$$

«Световой поток лампы светильника» [14]:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 18 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{9 \cdot 0,75} = 1012 \text{ лм.}$$

Принимается для данного объекта спортивного комплекса, с учётом того, что лестничная клетка является объектом эвакуационного аварийного освещения, два светильника марки ARCTIC 236 с АКБ IP65 («потолочного

подвесного типа монтажа с установкой двух светодиодных ламп в каждом светильнике» [17].

Итого на помещение лестничной клетки приходится два светильника по две люминесцентных лампы мощностью 36 Вт со стандартным световым потоком  $\Phi_{ст} = 1150$  лм для каждой лампы [10].

Суммарная потребляемая нагрузка освещения лестничной клетки составляет  $36 \cdot 4 = 144$  Вт.

Проводится проверка выбранного типа светильника и ламп.

«Отклонение расчетного светового потока» [7]:

$$\Delta\Phi = \frac{1150 - 1012}{1012} \cdot 100 = 13,6\%$$

«Расчёт освещения остальных помещений спортивного комплекса выполнен аналогично» [6]. «Результаты светотехнического расчёта помещений спортивного комплекса приведены в таблице 3» [6].

Таблица 3 – Результаты светотехнического расчёта помещений спортивного комплекса

Номер помещения по плану	Наименование помещений	Площадь помещений, м <sup>2</sup>	Марка светильника	Количество и мощность ламп
1	Лестничная клетка	17,77	ARCTIC 236 с АКБ IP65	4×36=144 Вт
2	Раздевалка	23,84	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
3	Душевая	9,68	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
4	Сан. узел	3,08	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
5	Коридор	64,77	OPL_S418_IP20	6×72=432 Вт
6	Раздевалка	24,60	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
7	Сан. узел	3,0	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
8	Душевая	9,6	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
9	Зал для занятий фитнесом	106,92	OPL/S263	9×36=324 Вт
10	Спортивный зал	976,23	CD 218 IP65	30×72=2160 Вт
11	Техническое помещение	25,53	ARCTIC 236	4×36=144 Вт
12	Техническое помещение	24,81	ARCTIC 236	4×36=144 Вт
13	Гамбур	18,56	ARCTIC 236 с АКБ IP65	4×36=144 Вт
14	Буфет	65,83	OPL/S 418 IP20	18×72=1296 Вт
15	Гардеробная	65,83		
16	Вестибюль	261,0		

Продолжение таблицы 3

Номер помещения по плану	Наименование помещений	Площадь помещений, м <sup>2</sup>	Марка светильника	Количество и мощность ламп
17	Лестничная клетка	16,91	ARCTIC 236 с АКБ IP65	4×36=144 Вт
18	Помещение охраны	8,09	ARCTIC 236 с АКБ IP65	2×36=72 Вт
19	Лестничная клетка	16,80	ARCTIC 236 с АКБ IP65	4×36=144 Вт
20	Спортивный зал	206,83	HBA 250H IP65	7×250=1750 Вт
21	Инвентарная	17,39	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
22	Спортивный зал	200,82	HBA 250H IP65	7×250=1750 Вт
23	Инвентарная	17,39	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
24	Тренажёрный зал	200,92	HBA 250H IP65	7×250=1750 Вт
25	Инвентарная	17,39	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
26	Раздевалка	24,72	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
27	Душевая	11,14	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
28	Сан. узел	3,48	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
29	Душевая	11,22	CD 218 IP65	4×72=288 Вт
30	Сан. узел	3,52	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
31	Раздевалка	23,34	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
32	Электрощитовая	14,62	ARCTIC 236	1×36=36 Вт
33	Лестничная клетка	17,42	ARCTIC 236 с АКБ IP65	4×36=144 Вт
34	Душевая	6,40	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
35	Техническое помещение	27,32	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
36	Сан. узел	4,10	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
37	Сан. узел	3,52	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
38	Раздевалка	5,20	ARCTIC 236	1×36=36 Вт
39	Душевая	3,58	CD 218 IP65	1×36=36 Вт
40	Тренерская	18,04	PRS/S 418	2×72=144 Вт
41	Кабинет врача	16,11	PRS/S 418	2×72=144 Вт
42	Сан. узел для МГН	3,26	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
43	Сан. узел	6,08	CD 218 IP65	3×72=216 Вт
44	Сан. узел	6,02	CD 218 IP65	3×72=216 Вт
45	Тепловой пункт	16,79	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
46	Кладовая и уборная инвентаря	11,68	ARCTIC 236	1×36=36 Вт
47	Коридор	191,42	OPL_S418_IP20	11×72=792 Вт
48	Наружное освещение	283,2	HBA 250H EL (с АКБ) IP65 (Position 2)	9×250=2250 Вт
Всего по спортивному комплексу		2832,63	-	17068 Вт ≈ 17,1 кВт

Все источники освещения спортивного комплекса соответствуют нормам освещённости [14].

«Аварийное освещение принимается 10% от рабочего освещения. Лампы аварийного освещения выделяются из состава рабочего освещения спортивного комплекса» [6].

Таким образом, в работе проведён расчёт освещения помещений спортивного комплекса, с последующим выбором светильников и источников освещения объекта проектирования.

### **2.3 Расчёт электрических нагрузок спортивного комплекса**

Далее в работе, для достижения поставленной цели, следует провести расчёт электрических нагрузок, которые далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования электрической части нового спортивного комплекса.

В работе расчёту подлежат значения активной, реактивной и полной расчётных нагрузок одиночных присоединений потребителей подстанции, систем сборных шин, а также всей системы электроснабжения всего спортивного комплекса.

Как известно, расчётный ток нагрузки нормального режима также относится к электрическим нагрузкам, поэтому в работе он также подлежит определению [3].

Определяются расчётные нагрузки распределительных щитов силовой и осветительной сети (далее, соответственно, РЩ и РО), исходя из принятой проектной схемы распределения их нагрузки согласно технологическому процессу.

При этом в качестве нагрузки нового спортивного комплекса принимаются фактические максимальные значения потребляемой активной мощности распределительных щитов (силовых и осветительных), получающих питание от ВРУ-0,4 кВ данной организации.

В работе указанные расчетные нагрузки определяется методом коэффициента спроса [7].

Расчёты проводятся по принятой методике с использованием табличных коэффициентов спроса потребителей [12].

Активная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части нового спортивного комплекса [11]:

$$P_{np} = K_c \cdot P_m, \text{ кВт}, \quad (11)$$

где  $P_m$  – максимальная активная нагрузка присоединений потребителей электрической части нового спортивного комплекса, кВт (по данным энергосистемы);

$K_c$  – коэффициент спроса потребителей электрической части нового спортивного комплекса, о.е. Принимается по табличным справочным данным [6].

Реактивная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей распределительных щитов силовой и осветительной сети электрической части нового спортивного комплекса [11]:

$$Q_{np} = P_{np} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (12)$$

где « $\operatorname{tg} \varphi$  – нормируемый коэффициент реактивной мощности, соответствующий текущему значению коэффициента активной мощности системы ( $\cos \varphi$ ). С учётом компенсации реактивной мощности» [9] до нормируемого значения  $\cos \varphi = 0,93$  на шинах энергосистемы, в работе принимается соответствующее ему значение  $\operatorname{tg} \varphi = 0,4$  [8].

Полная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей распределительных щитов силовой и осветительной сети электрической части нового спортивного комплекса [11]:

$$S_{np} = \sqrt{P_{np}^2 + Q_{np}^2}. \quad (13)$$

Расчётный ток нормального режима одиночных присоединений потребителей распределительных щитов силовой и осветительной сети электрической части нового спортивного комплекса [11]:

$$I_{np} = \frac{S_{np}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (14)$$

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

На основании известных выражений (11) – (14) для расчёта электрических нагрузок, проводится практический расчёт активной, реактивной, полной нагрузок, а также расчётного тока нагрузки нормального режима, для всех одиночных присоединений потребителей нового спортивного комплекса.

Проводится расчёт нагрузки одиночных присоединений подстанции на примере первого присоединения одиночных потребителей «ЩР №1» нового спортивного комплекса.

По условию (11) расчётная активная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «ЩР №1» нового спортивного комплекса:

$$P_p = 8,5 \cdot 0,65 = 5,53 \text{ кВт.}$$

По условию (12) расчётная реактивная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «ЩР №1» нового спортивного комплекса:

$$Q_p = 5,53 \cdot 0,33 = 1,82 \text{ квар.}$$

По условию (13) расчётная полная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «ЩР №1» нового спортивного комплекса:

$$S_p = \sqrt{5,53^2 + 1,82^2} = 5,82 \text{ кВА.}$$

По условию (14) расчётное значение тока нагрузки нормального режима первого присоединения одиночных потребителей «ЩР №1» нового спортивного комплекса:

$$I_p = \frac{5,82}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 8,84 \text{ А.}$$

«Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений силовых потребителей понизительной подстанции нового спортивного комплекса с приведением результатов расчёта в форме таблицы 2» [9]. Также в таблице 4 расчёт суммарной нагрузки секций сборных шин и всей питающей подстанции нового спортивного комплекса проводится с учётом коэффициента одновременности максимума нагрузки согласно [14].

В связи с этим, проверено также условие равномерности распределения нагрузки, с учётом различия мощностей на взаиморезервируемых секциях сборных шин (отличие не более 20%) [13]. Данное условие выполняется.

В связи с методикой расчёта, вычисления проводятся отдельно для силовых и осветительных потребителей питающей подстанции нового спортивного комплекса [6]. Это необходимо для дальнейшего выбора и проверки проводников силовой и осветительной сети, которые проводятся отдельно. Также расчёты нагрузок проводятся отдельно для следующих составляющих схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения спортивного комплекса:

- силовых ЩР;
- осветительных ЦО (рабочего, аварийного и наружного освещения);
- силовых ЩВС1-ЩВС4;
- одиночных секций сборных шин ВРУ-0,4 кВ;

– всей питающей ВРУ-0,4 кВ.

Таблица 4 – Результаты расчёта электрических нагрузок спортивного комплекса

ЩР (ЩО)	Характеристика потребителей ЩР (ЩО)	$P_{ном}$ , кВт	$k_c$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
ЩВС-1							
ЩР1	ЩР розеточных групп северного крыла	8,50	0,65	5,53	1,82	5,82	8,84
ЩР2	ЩР розеточных групп южного крыла	8,20	0,20	1,64	0,54	1,73	2,66
ЩР3	ЩР теплового пункта	46,86	0,73	33,97	11,21	35,77	55,03
ЩР4	ЩР розеточных групп западного крыла	9,10	0,45	4,10	1,35	4,32	6,64
Всего по ЩВС-1		72,66	-	45,24	14,92	47,64	73,17
ЩВС-2							
ЩР5	ЩР системы нагрева и подачи воды	109,60	0,55	60,28	19,89	63,48	97,66
ЩР6	ЩР розеточных групп восточного крыла	10,50	0,73	7,61	2,51	8,01	12,33
ЩР7	ЩР рабочей системы телекоммуникаций	0,35	1,00	0,35	0,11	0,37	0,57
ЩР8	ЩР системы пожаротушения	7,00	0,60	4,20	1,39	4,42	6,80
Всего по ЩВС-2		127,45	-	72,44	23,9	76,28	117,36
ЩВС-3							
ЩР9	ЩР автономной системы отопления	220,50	0,70	154,35	50,94	162,54	250,1
ЩР10	ЩР аварийной системы телекоммуникаций	0,14	1,00	0,14	0,05	0,15	0,23
ЩР11	ЩР кабинета врача	10,85	0,50	5,43	1,79	5,72	8,80
ЩР12	ЩР системы кондиционирования и увлажнения воздуха	32,00	1,00	32,00	10,56	33,70	51,84
Всего по ЩВС-3		263,49	3,2	191,92	63,34	202,11	310,97
ЩВС-4							
ЩР13	ЩР системы резервного водоотведения	195,71	0,50	97,86	32,29	103,05	158,5
ЩР14	ЩР системы резервного водообеспечения	251,70	0,45	113,27	37,34	119,28	183,5
ЩР15	ЩР системы фильтрации и аэрации воздуха	54,00	0,90	48,60	16,04	51,18	78,74
ЩР16	ЩР насосной и резервного отопления	300,00	0,50	150,00	49,50	157,96	243,0
Всего по ЩВС-4		801,41	-	409,73	135,17	431,47	663,74
Освещение							
Рабочее освещение							
ЩО1	Внутреннее рабочее освещение	14,85	1,00	14,85	4,90	15,64	24,06

ЩО2	Наружное рабочее освещение	2,25	1,00	2,25	0,74	2,37	3,65
Всего рабочего электроосвещения		17,10	-	17,10	5,64	18,01	27,70

Продолжение таблицы 4

ЩР (ЩО)	Характеристика потребителей ЩР (ЩО)	$P_{ном}$ , кВт	$k_c$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
Аварийное освещение							
ЩО3	Аварийное освещение внутреннее	1,49	1,00	1,49	0,49	1,57	2,41
ЩО4	Наружное аварийное освещение	0,30	1,00	0,3	0,1	0,32	0,49
Всего аварийного электроосвещения		1,79	-	1,79	0,59	1,89	2,91
Расчёт нагрузок секций сборных шин ВРУ-0,4 кВ							
Итого секция I ВРУ-0,4 кВ (с учётом освещения)		510,54	-	335,73	110,79	353,56	543,81
Итого секция II ВРУ-0,4 кВ (с учётом освещения)		806,61	-	414,93	136,9	436,95	672,2
Итого по ВРУ-0,4 кВ		1317,15	-	750,66	247,7	790,51	1216,0

Полученные результаты расчётных электрических нагрузок спортивного комплекса используются в работе далее.

## 2.4 Выбор силовых трансформаторов питающей подстанции спортивного комплекса

Проводится выбор и проверка правильности выбора силовых трансформаторов для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ нового спортивного комплекса, исходя из значения максимальной нагрузки подстанции.

«Номинальная мощность силового трансформатора» [13]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{P_p + P_{см.}}{N\beta_T}, \text{ кВА}, \quad (15)$$

где  $S_{ном.т.}$  – «номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора подстанции переменного напряжения нового спортивного комплекса» [13];

$S_{ном.т.р}$  – «расчетная мощность трансформатора, установленного на подстанции переменного напряжения нового спортивного комплекса» [13];

$P_p$  – «суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения нового спортивного комплекса» [13];

$P_{ст.}$  – «суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения нового спортивного комплекса» [13].

«По условию выбора (15), с учётом отсутствия в схеме подстанции переменного напряжения нового спортивного комплекса сторонних потребителей» [12]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{750,66}{2 \cdot 0,8} = 469,16 \text{ кВА.}$$

«Исходя из результатов расчёта, для установки на ТП-10/0,4 кВ нового спортивного комплекса, предлагается в работе выбрать два силовых трансформатора марки ТМ-630/10» [14].

Данный тип трансформатора при применении в электроустановках зарекомендовал себя как надёжный, экономичный и ремонтнопригодный.

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

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (16)$$

Проверка выполняется:

$$K_3^n = \frac{790,51}{630 \cdot 2} = 0,63 \leq 0,8.$$

Каждый трансформатор при этом питается от отдельной линии, подключенной к независимому источнику питания.

Следовательно, два силовых трансформатора, установленные на подстанции, должны получать питание от различных независимых источников с учётом резервирования в схеме.

В случае выхода из строя одного из трансформаторов на подстанции, второй силовой трансформатор, в соответствии с допустимой согласно [1] аварийной перегрузкой, обеспечивает питание всех потребителей, подключенных к питающей ТП-10/0,4 кВ.

Перевод нагрузки с отказавшего или выведенного в ремонт трансформатора на трансформатор, оставшийся в работе, должен осуществляться автоматически под действием автоматического включения резерва [1].

Таким образом, в схеме электроснабжения не будет «холодного резерва», который не рекомендуем [5].

Исходя из этого, «проверка выбранного типа силового трансформатора в максимальном режиме» [12]:

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (17)$$

Проверка также выполняется:

$$K_3^{n.ав} = \frac{585,6}{630 \cdot (2-1)} = 0,93 \leq 1,4.$$

«Все условия проверок для силовых трансформаторов марки ТМ-630/10 выполнены» [15]. «Установка данных трансформаторов марки ТМ-630/10, по сравнению с трансформаторами большего типонаминала, позволит добиться значительной экономии денежных ресурсов» [12].

## 2.5 Выбор и проверка проводников

Далее необходимо провести выбор и проверку проводников системы электроснабжения нового спортивного комплекса.

В первую очередь необходимо выбрать сечение и марку кабельной линии 10 кВ для питания понизительной ТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП энергосистемы, с учётом схемы электрических соединений РУ-10 кВ подстанции.

Таким образом, в работе проводится выбор кабельных линий не только для электроснабжения питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса, но и для всей системы электроснабжения объекта.

Исходя из этого, в работе выбору подлежат следующие проводники системы электроснабжения нового спортивного комплекса, выполненные кабельными линиями электропередачи:

- напряжением 10 кВ: питающая кабельная линия, состоящая из двух силовых кабелей, для питания ТП-10/0,4 кВ от энергосистемы по радиальной схеме;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: питающая сеть для обеспечения электроснабжения ВРУ объекта от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: питающая сеть для обеспечения электроснабжения ЩВС от ВРУ;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: распределительная сеть для обеспечения электроснабжения ЩР и ЩО объекта от ЩВС.

«Расчётный рабочий ток линии» [7]:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (18)$$

«Максимальный расчётный ток линии» [11]:

$$I_{p.\max} = 1,4I_{p.\max} \cdot \quad (19)$$

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

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\max} \cdot \quad (20)$$

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

« $I_{p.\max}$  – максимальный ток, А» [1].

«Выбор сечения кабельных линий 10 кВ по экономической плотности тока» [17]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{p.}}{j_{\text{э}}} \cdot \quad (21)$$

Расчётный ток питающей кабельной линии 10 кВ:

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

Расчётное сечение питающей кабельной линии 10 кВ, использующейся для питания ТП-10/0,4 кВ нового спортивного комплекса:

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

Исходя из результатов расчёта, для питания ТП-10/0,4 кВ нового спортивного комплекса, принимается сечение на питающей кабельной линии 10 кВ, равное 25 мм<sup>2</sup>.

Предварительно принимается к установке силовой трёхжильный кабель с изоляцией со сшитого полиэтилена марки СПЭ-10 (3×25) с предельным допустимым током нагрева при прокладке в земле  $I_{don}=115$  А [12].

Кабели данной марки СПЭ-10 характеризуется улучшенными параметрами изоляции, сниженными удельными сопротивлениями токоведущих жил, повышенной надёжностью, экономичностью передачи, удобствами монтажных и ремонтных работ.

Кроме того, предполагается значительная экономия денежных средств на эксплуатацию и ремонт кабельной линии, так как завод-изготовитель даёт расширенную гарантию на данную марку кабеля СПЭ до 25 лет, а также делает значительную скидку на монтажные работы и комплектующие монтажные материалы [4].

«Максимальный расчётный ток на питающей кабельной линии 10 кВ ТП-10/0,4 кВ нового спортивного комплекса» [18]:

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

«Условия проверки питающей кабельной линии 10 кВ для ТП-10/0,4 кВ нового спортивного комплекса по условию допустимого нагрева в послеаварийном режиме, выполняется» [18]:

$$90 \text{ А} \geq 51 \text{ А.}$$

«Следовательно, исходя из полученных результатов, для питающей кабельной линии 10 кВ» [18] ТП-10/0,4 кВ нового спортивного комплекса, полученной в результате проведения модернизации данной линии в схеме электрических соединений РУ-10 кВ, окончательно выбирается силовой кабель марки СПЭ-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее.

Установлено, что данный кабель обеспечит надёжное питание системы электроснабжения нового спортивного комплекса, с учётом резервирования, а также экономичность и бесперебойность электроснабжения.

Для электроснабжения питающей сети потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ нового спортивного комплекса (ВРУ, ЩР и ЩО) в работе приняты низковольтные пятижильные кабели марки ВВГнг-LS при питании по радиальной схеме без ответвлений.

Кабели марки ВВГнг-LS имеют ряд существенных преимуществ [19]:

- низкая горючесть: кабели имеют значительную горючесть, что означает, что они не будут гореть при пожаре и не будут распространять распространение огня. Это делается более безопасными для использования в зданиях;
- надёжность: кабели ВВГнг-LS производятся из высококачественных материалов, что обеспечивает их высокую надёжность и наличие. Они выдерживают высокие нагрузки и экстремальные условия эксплуатации;
- высокая гибкость: кабели ВВГнг-LS гибкие и легко поддаются укладке в различных условиях, что делает их незаменимыми для использования в труднодоступных местах;
- устойчивость к воздействию внешних факторов: кабели ВВГнг-LS обладает высокой распространённостью к выявлению случаев заражения, таких как распространение излучения, атмосферные осадки, механические повреждения.

«Выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ для питания потребителей участка системы электроснабжения нового спортивного комплекса осуществляется по условиям допустимого перегрева (приведены в работе ранее)» [20].

Результаты выбора и проверки сечения кабелей питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора и проверки сечения кабелей питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса

Потребитель	$I_p, A$	Марка кабеля	$I_{доп}, A$
Питающая сеть 0,38/0,22 кВ (фидер 1)			
ЩВС-1	73,17	ВВГнг-LS (5×16)	112,0
ЩВС-2	117,36	ВВГнг-LS (5×25)	135,0
ВРУ (ввод 1)	190,53	ВВГнг-LS (5×50)	205,0
Питающая сеть 0,38/0,22 кВ (фидер 2)			
ЩВС-3	310,97	ВВГнг-LS (5×120)	362,0
ЩВС-4	663,74	2ВВГнг-LS (5×120)	2×362,0=724,0
ВРУ (ввод 2)	974,71	2ВВГнг-LS (5×240)	2×498,0=996,0
Распределительная сеть 0,38/0,22 кВ			
ЩР1	8,84	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР2	2,66	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР3	55,03	ВВГнг-LS (5×6)	64,0
ЩР4	6,64	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР5	97,66	ВВГнг-LS (5×16)	112,0
ЩР6	12,33	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР7	0,57	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР8	6,80	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР9	250,06	ВВГнг-LS (5×70)	253,0
ЩР10	0,23	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР11	8,80	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР12	51,84	ВВГнг-LS (5×6)	64,0
ЩО1	36,52	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩО2	5,83	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР13	158,54	ВВГнг-LS (5×35)	173,0
ЩР14	183,50	ВВГнг-LS (5×50)	205,0
ЩР15	78,74	ВВГнг-LS (5×10)	86,0
ЩР16	243,01	ВВГнг-LS (5×70)	253,0
ЩО1	24,06	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩО2	3,65	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩО3	2,41	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩО4	0,49	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0

Все выбранные проводники системы электроснабжения нового спортивного комплекса удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте.

Выбор сборных шин распределительного устройства 10 кВ на питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса проводится по максимальному рабочему току по приведённому ранее.

В РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, рекомендована к применению основная жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин марки АДЗ1Т-

5×25-3 АД31Т, а также ответвительная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-6/2000 [8].

Такие виды и типы ошиновки типичны для применения в соответствующих распределительных устройствах комплектного типа современных понизительных подстанций [8].

В работе для установки в РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ принимается жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин марки АД31Т-5×25-3 АД31Т. Проводится проверка выбранной ошиновки по максимальному рабочему току:

$$1450 A \geq 51 A.$$

Условие проверки выполняется, следовательно, в качестве ошиновки для установки в РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ принимается жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин марки АД31Т-5×25-3 АД31Т с допустимым током одной секции шин  $I_{дон}=1450$  А.

В качестве ответвительной жёсткой ошиновки (для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов, отходящих линий к сборным шинам РУ 10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ нового спортивного комплекса), принимается современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-6/2000 с  $I_{дон} = 2000$  А [7].

Условие проверки этой ошиновки для установки в РУ 10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ нового спортивного комплекса выполняется (с учётом того, что максимальный рабочий ток шин равен  $I_m = 2000$  А):

$$2000 A \geq 51 A.$$

Все выбранные в работе кабельные линии показаны на однолинейной принципиальной схеме электрических соединений системы электроснабжения нового спортивного комплекса.

Выводы по разделу.

В результате внедрения практических мероприятий по проектированию системы электроснабжения нового спортивного комплекса, обоснованы и рекомендованы к внедрению следующие практические мероприятия:

- выбрана схема электроснабжения спортивного комплекса. Установлено, что принятая в работе схема электроснабжения нового спортивного комплекса – надёжная и экономичная, поэтому может быть рекомендована к применению на объекте проектирования;
- осуществлён расчёт осветительной сети помещений системы электроснабжения нового спортивного комплекса, на основании чего выбраны современные источники света и светильники для применения на объекте исследования;
- проведён расчёт нагрузок отдельных присоединений, секций сборных шин, вводного распределительного устройства, а также всей системы электроснабжения спортивного комплекса в целом;
- для установки на питающей трансформаторной подстанции нового спортивного комплекса обоснованы и рекомендованы к установке силовые трансформаторы марки ТМ-630/10. Выбранные трансформаторы проверены на загрузку мощностью в нормальном режиме работы, а также на допустимую аварийную перегрузку;
- выбраны и проверены сечения проводников «питающей и распределительной сетей системы электроснабжения нового спортивного комплекса. Для питающей кабельной линии 10 кВ ТП-10/0,4 кВ объекта выбраны инновационные силовые кабели с изоляцией со сшитого полиэтилена марки СПЭ-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее. Для электроснабжения питающей и распределительной сети потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ объекта (ВРУ, ЩВС, ЩР и ЩО) в работе приняты низковольтные пятижильные кабели марки ВВГнг-LS при питании по радиальной схеме без ответвлений» [8].

### 3 Расчёт токов короткого замыкания

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания (далее – КЗ) на сборных шинах питающей ТП-10/0,4 кВ, а также в остальной части системы электроснабжения нового спортивного комплекса, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах подстанции.

«Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения нового спортивного комплекса представлена на рисунке 3» [17].

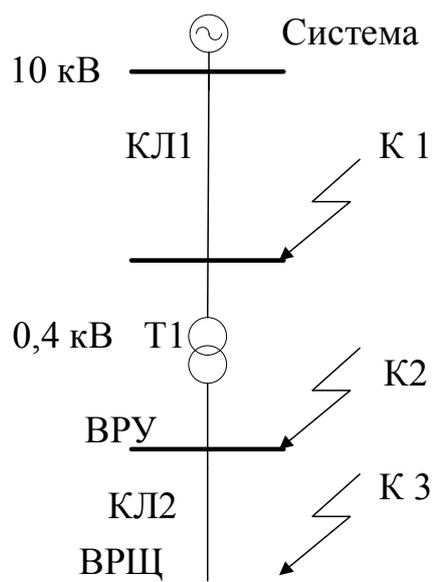


Рисунок 3 – Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения нового спортивного комплекса

Исходя из «исходной расчетной схемы, составляется исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения нового спортивного комплекса (рисунок 4)» [19].

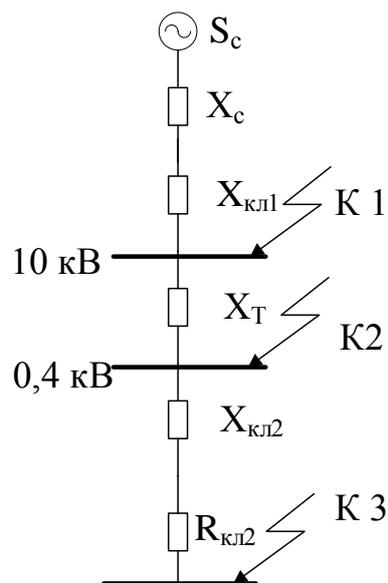


Рисунок 4 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения нового спортивного комплекса

Следующим шагом алгоритма расчёта токов КЗ, будет расчёт сопротивлений элементов схемы замещения.

Все расчёты производятся в относительных единицах при последующем переводе полученного результата расчёта максимального тока КЗ в именованные единицы.

Выбираются базисные условия для проведения расчётов.

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

Мощность энергосистемы принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса» [16].

«Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса» [18]:

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

«Базисное напряжение схемы электроснабжения нового спортивного комплекса определяется так» [6]:

$$U_{\bar{o}} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (22)$$

По условию (22):

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

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

«Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы замещения системы электроснабжения нового спортивного комплекса» [8]:

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}}}. \quad (23)$$

По условию (23):

$$I_{\bar{o}.1} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,03 \text{кА.}$$

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

«Значение индуктивного сопротивления кабельных линий схемы замещения, с учётом длины линии и удельных сопротивлений кабеля, для каждой цепи линии» [16], с учётом приведения результатов к базисным условиям схемы [16]:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_B^2}. \quad (24)$$

Для кабельных линий схемы, с учётом номинальных условий:

$$X_{КЛ1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{10,5^2} = 0,005 \text{ о.е.}$$

$$X_{КЛ2} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,0135 \text{ о.е.}$$

«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 кабельных линий схемы замещения, с учётом длины линии и удельных сопротивлений кабеля, для каждой цепи линии» [16], с учётом приведения результатов к базисным условиям:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.л1} \cdot L_{л1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}. \quad (25)$$

Для кабельных линий схемы, с учётом их номинальных условий:

$$R_{КЛ1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{10,5^2} = 0,006 \text{ о.е.}$$

$$R_{КЛ2} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,093 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [16]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{К.З.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.T}}. \quad (26)$$

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

«Максимальное значение токов трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы системы электроснабжения нового спортивного комплекса, при приведении к именованным единицам» [16]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{К.З.}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{H.T}}. \quad (27)$$

«Полное сопротивление цепи КЗ до расчётной точки К1 и ток КЗ в расчётной точке К1» [16]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1})^2 + R_{KЛ2}^2}. \quad (28)$$

Значит:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,005 + 0,005)^2 + 0,006^2} = 0,012 \text{ o.e.}$$

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

«Полное сопротивление цепи КЗ до точки К2 и ток КЗ в точке К2» [20]:

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T)^2 + R_{KЛ2}^2}. \quad (29)$$

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

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

«Полное сопротивление цепи КЗ до точки К3 и ток КЗ в точке К3» [18]:

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T + X_{KЛ2})^2 + (R_{KЛ1} + R_{KЛ2})^2}. \quad (30)$$

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

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

«Ударный ток» [16]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (31)$$

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

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

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

Формула для расчёта двухфазного несимметричного тока КЗ, необходимого для проверки условий чувствительности уставок РЗА:

$$I_{\kappa}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА.} \quad (32)$$

Двухфазное КЗ в точках К1-К3 в числовых значениях:

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

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

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,84 = 1,60 \text{ кА.}$$

Дальнейший расчет сопротивлений цепи питания КЗ, а также расчётов токов КЗ для других точек выполнен аналогично с приведением полученных результатов в форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов токов короткого замыкания

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

Полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания, а также величины ударных токов и токов двухфазного КЗ, на шинах 10 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы нового спортивного комплекса, используются в работе для соответствующих проверок выбранного нового оборудования распределительных устройств на всех уровнях системы электроснабжения, а также для проверки уставок релейной защиты по условиям чувствительности защиты силовых трансформаторов и питающих линий на стороне 10 кВ объекта исследования.

Данные мероприятия проводятся в работе далее с необходимым техническим обоснованием.

Выводы по разделу.

В результате внедрения практических мероприятий по проектированию системы электроснабжения нового спортивного комплекса, проведён расчёт максимальных токов трёхфазного и двухфазного короткого замыкания, а также ударных токов, в сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ.

Полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания, а также величины ударных токов и токов двухфазного КЗ, на шинах 10 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы нового спортивного комплекса, используются в работе далее.

#### 4 Выбор и проверка электрических аппаратов

Далее в работе, на основании технических данных подстанции и полученных расчётных результатов электрических нагрузок, рабочих и максимальных токов, а также токов трёхфазного КЗ, проводится непосредственный выбор и проверка основного оборудования распределительных устройств на всех уровнях системы электроснабжения объекта проектирования.

Предварительно для установки в новых ячейках комплектного распределительного устройства (далее – КРУ) марки D-12P принимается выключатели вакуумные нового образца и модификации, предназначенные для установки в ячейках КРУ, марки VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция).

Выключатель марки VD-4-10-20/630-У2-48 имеет несколько преимуществ, которые делают его привлекательным для использования в системах электроснабжения:

- высокая надежность: выключатель VD-4-10-20/630-У2-48 имеет высокую надежность благодаря использованию качественных материалов и современных технологий производства;
- большой диапазон рабочих напряжений: данный выключатель может работать с напряжением до 20 кВ, что позволяет использовать его в различных сетях электроснабжения;
- высокая мощность: выключатель VD-4-10-20/630-У2-48 имеет высокую отключающую способность до 630 А, что позволяет использовать его в системах с большими нагрузками;
- простота эксплуатации: выключатель VD-4-10-20/630-У2-48 имеет простую конструкцию и легко устанавливается, что делает его простым в эксплуатации и обслуживании;

- большой ресурс: выключатель VD-4-10-20/630-У2-48 имеет долгий срок службы благодаря использованию высококачественных материалов и современных технологий;
- низкая вероятность аварий: выключатель VD-4-10-20/630-У2-48 имеет низкую вероятность аварий, что делает его безопасным для использования в системах электроснабжения;
- возможность дистанционного управления: выключатель VD-4-10-20/630-У2-48 может быть управляем с помощью дистанционного управления, что обеспечивает удобство и эффективность управления системами электроснабжения.

При этом разъединители в новых ячейках КРУ D-12P не устанавливаются по технической комплектации (их заменяют втычные контакты).

Далее на основании расчётов необходимо проверить предварительно выбранное новое оборудование для установки на понизительной подстанции 10/0,4 кВ нового спортивного комплекса.

Проверяются предварительно выбранные новые выключатели для установки в ячейках РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ с целью защиты и коммутации питающей сети и оборудования подстанции и всей системы электроснабжения нового спортивного комплекса.

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

- «по номинальному напряжению» [13]:

$$U_{уст} \leq U_n \quad (33)$$

где « $U_{уст}$ ,  $U_{ном}$  – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя)» [15];

- «по максимальному рабочему току» [13]:

$$I_{\text{раб.макс}} \leq I_n \quad (34)$$

где « $I_{\text{раб.макс}}$ ,  $I_n$  – соответственно максимальный рабочий ток послеаварийного (далее – ПАВ) режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя)» [16];

– проверка выключателя на симметричный ток отключения:

$$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откн}} \quad (35)$$

где « $I_{\text{пт}}$  – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения дугогасительных контактов» [12];  
« $I_{\text{откн.н}}$  – номинальный ток отключения выключателя, кА» [13];

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{откн.н}} (1 + \beta_n), \quad (36)$$

где « $i_{\text{ат}}$  – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [13];  
« $\beta_n$  – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [13];  
« $\tau$  – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [13]:

$$t = t_{\text{з.мин}} + t_{\text{с.в}}, \quad (37)$$

где « $t_{\text{з.мин}}$  – минимальное время действия релейной защиты, с» [14];

« $t_{\text{с.в}}$  – собственное время отключения выключателя, с» [11];

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

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (38)$$

где « $i_{np.c}$  – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [11];

« $i_y$  – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [10];

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

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (39)$$

где « $B_k$  – тепловой импульс по расчёту,  $A^2 \cdot c$ » [10];

« $I_T$  – предельный ток термической устойчивости,  $A^2 \cdot c$ » [10];

« $t_T$  – время протекания тока термической устойчивости,  $c$ » [10].

При этом тепловой импульс с учётом токов КЗ и отключения цепи:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (40)$$

Результаты выбора выключателей высокого напряжения представлены в работе в форме таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса

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

Выбранные выключатели удовлетворяют всем требуемым условиям. Совместно с данными выключателями в ячейках также устанавливаются ограничители перенапряжения марки ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.

Также вместе с высоковольтными выключателями, в ячейках РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса, устанавливаются также новые модернизированные измерительные трансформаторы тока (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты выбора новых трансформаторов тока РУ-10 кВ

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

Все выбранные электрические аппараты напряжением 10 кВ показаны на графическом листе 2.

Далее проводится проверочный расчёт электрических аппаратов напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса.

В работе выполняется их выбор и последующая проверка на соответствие условиям сети.

Для защиты и коммутации питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ в работе применяются автоматические воздушные выключатели (автоматы).

Они устанавливаются в РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, во ВРУ, а также в ЩВС для защиты и коммутации отходящих ЩР и ЩО.

Известно, что автоматы являются наилучшим вариантом защиты и коммутации сети 0,4 кВ. Они обеспечивают автоматическое отключение цепи под действием токов КЗ и прочих ненормальных режимов.

Также автоматы используются в коммутационных схемах с целью включения и отключения линий.

Такие процессы возможно осуществлять как в автоматическом режиме, так и в ручном.

Основными элементами автомата, обеспечивающим отключение, являются расцепители.

Наибольшее распространение получили автоматы с тепловыми и электромагнитными типами расцепителей.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя автомата выбираются, исходя из условий» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (41)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (42)$$

«Ток электромагнитного расцепителя» [15]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k. \quad (43)$$

«В случае, если автомат выполнен с регулируемым электромагнитным расцепителем, зависящим от тока уставки теплового расцепителя» [15]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}, \quad (44)$$

«где  $K$  – кратность тока уставки электромагнитного расцепителя» [19].

Результаты выбора и проверки автоматов для защиты и коммутации питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса представлены в работе в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора и проверки автоматов для защиты и коммутации питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения нового спортивного комплекса

Потребитель	$I_p$ , А	Марка	$I_{ном.а}$ , А	$I_{у.т.р.}$ , А	$I_{у.э.р.}$ , А
ТП-10/0,4 кВ					
Вводные автоматы	969,20	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секционный автомат	860,12	ВА 55-41	1000	1000	3000
ВРУ					
Вводной автомат СШ I	543,81	ВА 55-41	1000	1000	3000
Вводной автомат СШ II	672,21	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секционный автомат	615,54	ВА 57-39	630	630	1890
ЩВС (питающая силовая сеть)					
ЩВС-1	73,17	ВА 52-31	100	80	240
ЩВС-2	117,36	ВА 52-31	160	120	240
ЩВС-3	310,97	ВА 52-37	400	320	960
ЩВС-4	663,74	ВА 55-41	1000	1000	3000
ЩР, ЩО (распределительная силовая и осветительная сеть)					
ЩР1	8,84	ВА 47-29	10	10	30
ЩР2	2,66	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩР3	55,03	ВА 52-31	100	63	189
ЩР4	6,64	ВА 47-29	10	10	30
ЩР5	97,66	ВА 52-31	100	100	300
ЩР6	12,33	ВА 47-29	16	16	48
ЩР7	0,57	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩР8	6,80	ВА 47-29	10	10	30
ЩР9	250,06	ВА 52-37	400	320	960
ЩР10	0,23	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩР11	8,80	ВА 47-29	10	10	30
ЩР12	51,84	ВА 52-31	100	63	189
ЩР13	158,54	ВА 52-35	250	200	600
ЩР14	183,50	ВА 52-35	250	200	600
ЩР15	78,74	ВА 52-31	100	100	300
ЩР16	243,01	ВА 52-35	250	200	600
ЩО1	36,52	ВА 47-29	40	40	120
ЩО2	5,83	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩО3	7,61	ВА 47-29	10	10	30
ЩО4	0,81	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9

Выводы по разделу.

В результате внедрения практических мероприятий по проектированию системы электроснабжения нового спортивного комплекса, для установки в ячейках РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, обоснован выбор вакуумных выключателей нового образца и модификации марки VD-4-10-20/630-У2-48

(производитель – фирма АВВ, Швеция), а также новых трансформаторов тока марки ТПОЛМ-10.

Также выбрано и проверено оборудование для установки в сети 0,38/0,22 кВ питающей и распределительной системе электроснабжения нового спортивного комплекса, в результате чего проверены вводные и секционный автоматы для установки в РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, а также вводные, секционный и линейные автоматы ВРУ и ЩВС для защиты и коммутации отходящих ЩР и ЩО.

Вся выбранная коммутационная и защитная аппаратура, предназначенная для установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ объекта проектирования, проверена на соответствие работе в максимальном режиме, послеаварийном режиме, а также на термическую и динамическую устойчивость к токам короткого замыкания, рассчитанными в работе ранее.

Всё выбранное оборудование показано в графической части настоящей работы.

## **5 Выбор системы учёта и контроля в системе электроснабжения спортивного комплекса**

Выбор системы учета и контроля в системе электроснабжения спортивного комплекса может быть основан на нескольких факторах, таких как бюджет, размер и сложность системы, а также требования по учету и контролю.

Одним из наиболее распространенных вариантов является система автоматического учета электроэнергии (АУЭ), которая позволяет собирать данные об использовании электроэнергии в режиме реального времени.

Такая система позволяет:

- получить точные данные об использовании электроэнергии в режиме реального времени, что позволяет управлять нагрузками и оптимизировать расходы на электроэнергию;
- автоматически определять потребителей электроэнергии, что облегчает процесс учета и контроля;
- предоставлять детальную информацию об использовании электроэнергии, такую как потребление по часам, дням недели, месяцам и годам;
- определять и устранять проблемы с электроснабжением, такие как перегрузки и короткие замыкания;
- устанавливать цели и контролировать их достижение в отношении энергосбережения и снижения расходов на электроэнергию;
- предоставлять отчеты и статистическую информацию о потреблении электроэнергии.

Другим вариантом может быть система управления энергопотреблением (ЭУП), которая позволяет управлять потреблением электроэнергии на основе установленных параметров.

Такая система позволяет:

- определить и установить цели по энергосбережению;

- поддерживать стабильность в работе системы электроснабжения, особенно во время пиковых нагрузок;
- определять и контролировать потребление энергии различными потребителями, такими как освещение, вентиляция, кондиционирование и другие устройства;
- предоставлять отчеты и статистическую информацию об использовании электроэнергии.

Независимо от выбранной системы, необходимо учитывать требования законодательства, а также нормативных документов [22].

В качестве системы контроля и учёта электроэнергии для применения в системе электроснабжения проектируемого спортивного комплекса, выбирается современное решение в виде автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и управления электроэнергией (далее – АИИСКУЭ).

Структурная схема АИИСКУЭ, выбранная к применению в системе электроснабжения проектируемого спортивного комплекса, представлена на рисунке 5.

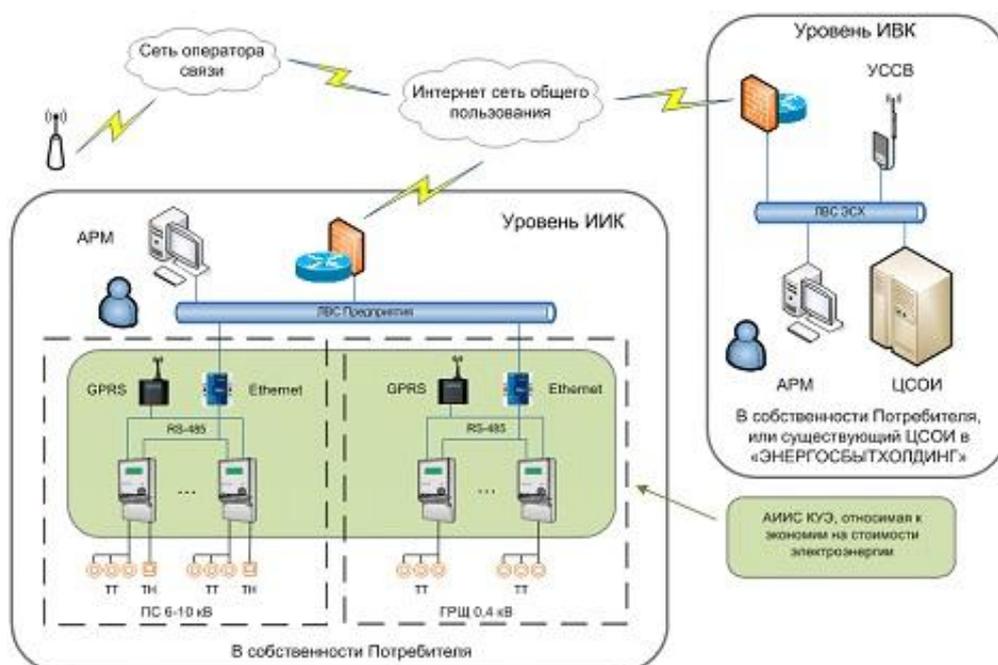


Рисунок 5 – Структурная схема АИИСКУЭ, выбранная к применению в системе электроснабжения проектируемого спортивного комплекса

Известно, что внедрения АИИСКУЭ является рациональным шагом в решении многих проблем, связанных с учетом и контролем расхода электроэнергии.

Использование современных электронных счетчиков электроэнергии с классом точности от 0,2 до 0,5 дает возможность гораздо вернее вести учет электроэнергии.

Благодаря АИИСКУЭ потребитель может расплачиваться за многотарифные системой учета, дает ему возможность более экономить на расходах за энергоресурсы.

Таким образом, выбор данного типа АИИСКУЭ, разработанная на основе современного быстродействующего и надёжного SPLIT-счетчика марки KNUM-2023, можно рекомендовать к применению в системе электроснабжения проектируемого спортивного комплекса.

Выводы по разделу.

На основе проведения анализа, выбрана для применения в системе электроснабжения проектируемого спортивного комплекса, АИИСКУЭ, разработанная на основе современного быстродействующего и надёжного SPLIT-счетчика марки KNUM-2023.

## Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка и реализация проекта системы электроснабжения нового спортивного комплекса, который отвечает современным критериям надёжности, электробезопасности, экономичности, экологичности, быстродействия, селективности (избирательности), а также прочим аналогичным критериям.

Приведена характеристика основных помещений и потребителей проектируемой системы электроснабжения спортивного комплекса. Приведён анализ основных требований к системам электроснабжения спортивных объектов.

В результате внедрения практических мероприятий по проектированию системы электроснабжения нового спортивного комплекса, обоснованы и рекомендованы к внедрению следующие практические мероприятия:

- выбрана схема электроснабжения спортивного комплекса. Установлено, что принятая в работе схема электроснабжения нового спортивного комплекса – надёжная и экономичная, поэтому может быть рекомендована к применению на объекте проектирования;
- осуществлён расчёт осветительной сети помещений системы электроснабжения нового спортивного комплекса, на основании чего выбраны современные источники света и светильники для применения на объекте исследования;
- проведён расчёт нагрузок отдельных присоединений, секций сборных шин, вводного распределительного устройства, а также всей системы электроснабжения спортивного комплекса в целом;
- для установки на питающей трансформаторной подстанции нового спортивного комплекса обоснованы и рекомендованы к установке силовые трансформаторы марки ТМ-630/10. Выбранные трансформаторы проверены на загрузку мощностью в нормальном режиме работы, а также на допустимую аварийную перегрузку;

- выбраны и проверены сечения проводников «питающей и распределительной сетей системы электроснабжения нового спортивного комплекса. Для питающей кабельной линии 10 кВ ТП-10/0,4 кВ объекта выбраны инновационные силовые кабели с изоляцией со сшитого полиэтилена марки СПЭ-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее. Для электроснабжения питающей и распределительной сети потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ объекта (ВРУ, ЩВС, ЩР и ЩО) в работе приняты низковольтные пятижильные кабели марки ВВГнг-LS;
- проведён расчёт максимальных токов трёхфазного и двухфазного короткого замыкания, а также ударных токов, в сети объекта;
- для установки в ячейках РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, обоснован выбор вакуумных выключателей нового образца и модификации марки VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция), а также новых трансформаторов тока марки ТПОЛМ-10;
- выбрано и проверено оборудование для установки в сети 0,38/0,22 кВ питающей и распределительной системе электроснабжения нового спортивного комплекса, в результате чего проверены вводные и секционный автоматы для установки в РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, а также вводные, секционный и линейные автоматы ВРУ и ЩВС для защиты и коммутации отходящих ЩР и ЩО;
- на основе проведения анализа, выбрана для применения в системе электроснабжения проектируемого спортивного комплекса, АИИСКУЭ, разработанная на основе современного быстродействующего и надёжного SPLIT-счетчика марки KNUM-2023.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по проектированию системы электроснабжения нового спортивного комплекса. Результаты работы соответствуют требованиям нормативных документов.

## Список используемых источников

1. АИИСКУЭ. Счётчики электроэнергии АИИСКУЭ [Электронный ресурс]: URL: <http://www.ackye.ru/activities/schetchiki-elektroenergii-askue/> (дата обращения: 09.04.2023).
2. ГОСТ Р 55529-2013. Группа Т50. «Требования безопасности при проведении спортивных и физкультурных мероприятий. Методы испытаний» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104658> (дата обращения: 08.04.2023).
3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
4. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие. М.: Юрайт, 2018. 180 с.
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2020. 320 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
11. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального

образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.

12. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.723-98 2.2.4. Физические факторы производственной среды «Переменные магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 13 ноября 1998 г. № 31)) [Электронный ресурс]: URL: <https://dokipedia.ru/document/5171042> (дата обращения: 08.04.2023).

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

14. СП 2.1.2.3304-15 «Санитарно-эпидемиологические требования к размещению, устройству и содержанию объектов спорта» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/420307454> (дата обращения: 08.04.2023).

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

16. СПЭ. Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена в полиэтиленовой оболочке с продольной и поперечной герметизацией на напряжение 10 кВ. [Электронный ресурс]: URL: [https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/pvpu2g\\_kamkabel/](https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/pvpu2g_kamkabel/) (дата обращения: 08.04.2023).

17. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 08.04.2023).

18. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 08.04.2023).

19. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении

изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

20. Цигельман И.Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий: 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк. 2018. 319 с.: ил.

21. Chen C.S. Development of distribution feeder loss models by artificial neural networks. IEEE Transactions on Power Systems, 2018. Vol. 19, 4. P. 1056–1062.

22. Kang Meei – Song. A Systematic Loss Analysis of Taipower Distribution System. IEEE Transactions on Power Systems. 2018. vol. 21, 3. P. 1062–1068.

23. Van Meetern H. P. Short – term load prediction with a combination of different models. IEEE Conf. Proc: Power Ind. Comput. Appl. Conf. PICA-19, Cleveland, Ohio. 2019. P. 192 – 197.

24. Zadeh L.A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 2020. Vol. SMC 3. P. 28 – 44.

25. Zadeh L.A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, Part 1, 2, 3. Information Sciences. 2019. Vol. 9. P. 43 – 80.