

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
“БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”**

Кафедра «Автоматизация технологических процессов и производств»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по выполнению электротехнических расчетов
с примерами решения типовых задач
для студентов неэлектротехнических специальностей
очной и заочной форм обучения.

Часть 3. Электроснабжение.

Брест 2010

УДК 621.313(076.1)

В методических рекомендациях кратко изложены основные теоретические вопросы, сопровождаемые конкретными примерами типовых расчетов по разделу «Электроснабжение и электроосвещение» электротехнических дисциплин для неэлектротехнических специальностей вузов. Содержание изложенного в рекомендациях материала соответствует действующим программам и предназначено для использования студентами (очной и заочной форм обучения) при самостоятельном выполнении типовых электротехнических расчетов, предусмотренных заданиями контрольных и расчетно-графических работ.

Методические рекомендации по выполнению электротехнических расчетов с примерами решения типовых задач для студентов неэлектротехнических специальностей очной и заочной форм обучения.

Издается в 3 частях. Часть 3.

Составители: И.М. Панасюк, ст. преподаватель,
Т.В. Тромза, ст. преподаватель,
В.И. Горбачук, ассистент.

Рецензент: В.И. Липко, начальник КБ ПР ПРУП «БЭТЗ» Бел. ж.д.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение.....	4
1. Основные теоретические сведения.....	5
1.1. Основные понятия и определения.....	5
1.2. Классификация электроприемников.....	6
1.3. Категории электроприемников по надежности электроснабжения.....	7
1.4. Принципы построения и элементы устройства электрических сетей.....	9
2. Проектирование и расчет систем электроснабжения.....	11
2.1. Параметры электрической сети.....	12
2.2. Основные расчетные уравнения.....	13
2.3. Светотехнические расчеты.....	14
2.4. Выбор КТП и определение ее оптимального месторасположения.....	16
2.5. Составление плана распределительных электрических сетей.....	17
2.6. Составление принципиальной электрической схемы электроснабжения.....	18
2.7. Расчет сечений электрических сетей.....	18
2.8. Защита электрических сетей.....	20
2.9. Разработка технических мероприятий по обеспечению электробезопасности.....	24
3. Пример расчета системы электроснабжения строительной площадки.....	27
Приложения.....	37
Приложение 1. Технические данные электрооборудования стройплощадок.....	37
Приложение 2. Значение коэффициента светоотдачи η некоторых прожекторов.....	38
Приложение 3. Значения минимальной освещенности E_{\min} , нормированной СНиП для некоторых видов работ, производимых на строительных площадках.....	38
Приложение 4. Характеристики некоторых прожекторов заливающего света.....	39
Приложение 5. Основные технические данные силовых трехфазных двухобмоточных трансформаторов.....	39
Приложение 6. Основные технические данные трансформаторных подстанций.....	39
Приложение 7. Технические данные силовых распределительных шкафов типа СПУ – 68.....	40
Приложение 8. Технические данные предохранителей серий НПН и ПН2.....	40
Приложение 9. Значения активных сопротивлений кабелей с алюминиевыми жилами.....	41
Приложение 10. Значения допустимых длительных токов нагрузки в кабелях с алюминиевыми жилами при воздушной прокладке.....	42
Литература.....	42

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические рекомендации предназначены для студентов неэлектротехнических специальностей очной и заочной форм обучения. Задача рекомендаций – оказание методической помощи студенту в выполнении курсовых (КУР), расчетно-графических (РГР) и контрольных (КР) работ при изучении курсов "Электротехника", "Электротехника и основы электроники", "Электротехника, электрические машины и аппараты", "Электротехника и основы электропривода", "Инженерные сети и оборудование (электроснабжение)".

Одним из основных видов учебной работы студента при изучении дисциплины является самостоятельная работа с литературой и закрепление теоретических знаний посредством решения конкретных задач, максимально приближенных к их будущей практической деятельности.

В связи с ограниченным запасом мировых энергоресурсов в последние годы важнейшее значение приобретает решение комплекса научно-технических задач, направленных на повышение надежности и экономичности работы существующих, а также разработки и внедрения новых систем электроснабжения, улучшения качества электроэнергии, снижения электропотребления за счет рационального использования электрической энергии. Решение этих задач должно быть посылно даже молодым специалистам инженерной службы, бывшим выпускникам технических вузов. Авторы надеются, что данное пособие успешно будет способствовать достижению этой цели.

В рекомендациях изложены краткие сведения теории электроснабжения, электроосвещения и электробезопасности различных объектов (населенных пунктов, промышленных предприятий, строительных площадок и т.п.). Методические рекомендации содержат методические указания, справочные материалы и примеры выполнения электротехнических расчетов по электроснабжению и электроосвещению. Примеры сопровождаются схемами, графиками, диаграммами и другими иллюстративными материалами, позволяющими более полно осветить вопросы, связанные с усвоением теоретического материала по разделу "Электроснабжение". Содержание материала представленного в рекомендациях, соответствует действующим программам вышеперечисленных дисциплин.

Авторы искренне признательны доц., к.т.н. В.С. Кузнецову за большой труд и ряд ценных теоретических и практических рекомендаций, использованных в рекомендациях и способствовавших его улучшению.

Авторы благодарны А.С. Смалю за тщательное рассмотрение рукописи, а также за полезные замечания, учтенные при написании данных методических рекомендаций.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Понятие «энергетика» связано с различными химическими и физическими процессами, в которых энергия переходит из одного состояния в другое, из одной формы в другую. Понятия «производство энергии» и «потребление энергии», связанные с жизнедеятельностью человека, имеют одинаковую физическую сущность, но отличаются направленностью и конечной целью. В процессах производства освобождается энергия вещества или концентрируется энергия, рассеянная в окружающей среде. В процессах потребления энергия используется для создания новых ценностей, в результате чего она вновь оказывается рассеянной или связанной.

1.1. Основные понятия и определения

Процессы потребления по форме используемой энергии и целевому назначению можно классифицировать следующим образом:

- *Силовые*, потребляющие механическую энергию (приведение в движение машин и механизмов, транспортное перемещение материалов и людей и т.д.);
- *Термические*, потребляющие тепловую энергию, в частности:
 - а) *высокотемпературные* (свыше 500°C) – обжиг, плавление, термообработка и т.д.;
 - б) *среднетемпературные* (150-500°C) – сушка, варка, обработка паром и т.д.;
 - в) *низкотемпературные* (до 150°C) – испарение, охлаждение, отопление, вентиляция, кондиционирование и т.д.;
 - г) *криогенные* (ниже - 153°C) – сжижение и замораживание газов, обеспечение повышенной проводимости и т.д.;
- *Химические*, потребляющие тепловую и электрическую энергию – обжиг, перегонка и т.д.;
- *Электрофизические*, потребляющие энергию электромагнитного поля и излучения – освещение, связь, электроника и т.д.

Совокупность последовательных процессов производства, передачи и использования энергии называется *энергоснабжением*, а совокупность установок и устройств, предназначенных для этих целей, - *системой энергоснабжения*.

Общее назначение продукции энергетического производства предполагает создание такого универсального энергоносителя, который способен удовлетворять различным требованиям процессов потребления энергии. Таким энергоносителем является электричество, обладающее свойством бесконечной делимости, способностью к многократной трансформации и дальнему транспортированию, проявляющее свое действие в тепловой, механической, световой, химической и других формах энергии.

Основными источниками электроэнергии являются электрические станции, которые по виду используемых первичных (природных) ресурсов делят на:

- Гидравлические электрические станции (ГЭС);
- Тепловые электрические станции (ТЭС);
- Атомные электрические станции (АЭС);

Проблемы глобального потепления и загрязнения окружающей среды, а также ограниченность мировых запасов ископаемых горючих материалов определяют все более

широкое использование нетрадиционных источников энергии (солнечное излучение, энергии ветра, энергии морских приливов и т.д.).

Основными потребителями электроэнергии являются крупные населенные пункты (города), в которых (или в близости от которых) размещена основная часть промышленных предприятий.

Территорию города по назначению можно разделить на следующие зоны:

- *Промышленную*, в которой размещены производственные предприятия;
- *Коммунально-складскую*, в которой располагаются транспортные предприятия (автобазы, автобусные, троллейбусные и трамвайные парки) и склады;
- *Внешнего транспорта*, в которой размещены транспортные сооружения (вокзалы, порты и т.д.);
- *Селитебную*, в которой расположены жилые районы (жилые дома, общественные здания и сооружения и т.д.);
- *Отдыха*, в которой размещены места отдыха населения (парки, скверы, лесопарки и т.д.).

1.2. Классификация электроприемников

По назначению электроприемники могут быть подразделены на следующие группы:

- *Силовые электроустановки общепромышленного типа*. В эту группу входят насосные, вентиляционные и компрессорные установки, подъемно-транспортные устройства. Электроприводы насосов, вентиляторов и компрессоров, как правило, работают в длительном режиме под номинальным напряжением 380/220 В с неизменяющейся или незначительно изменяющейся во времени нагрузкой (не считая толчки при запуске). При этом для электрической сети они создают равномерно распределенную по фазам нагрузку. Номинальный коэффициент мощности этих электроприемников составляет 0,8 – 0,88. Для подъемно-транспортных устройств характерен повторно-кратковременный режим (с частыми пусками и остановами) работы, при котором их нагрузка во времени может резко колебаться от холостого хода до максимальной. В связи с чем их коэффициент мощности изменяется от 0,3 при холостом ходе до 0,85 при номинальной нагрузке. Но, несмотря на это, нагрузку этих устройств на электросеть можно считать также равномерно распределенной по фазам.
- *Осветительные электроустановки*. Электрические лампы (накаливания, люминесцентные и др.), используемые в осветительных установках - однофазные (номинальное напряжение 220 В) электроприемники, создающие неравномерную нагрузку в трехфазной электрической сети. Симметричность осветительной нагрузки достигается за счет равномерного распределения светильников по фазам на стадии проектирования или в процессе эксплуатации. Коэффициент мощности ламп накаливания равен 1, а газоразрядных – 0,6. Осветительная нагрузка не имеет толчков, но ее величина может значительно изменяться в зависимости от времени суток и года.
- *Бытовые электроприборы* (холодильники, телевизоры, стиральные и швейные машины и т.д.). Все эти электроприборы – однофазные (номинальное напряжение 220 В). Поскольку набор электроприемников этой группы в каждой

квартире различен, то и равномерное распределение электрических нагрузок по фазам представляет весьма сложную задачу.

- *Преобразовательные установки.* К ним относятся тяговые подстанции городского электрифицированного транспорта (работающего на постоянном токе), а также гальванические установки. В первом и во втором случае используется преобразование переменного тока в постоянный при помощи мощных полупроводниковых выпрямителей. Напряжение электроснабжения этих установок, как правило, 10(6) кВ. Коэффициент мощности – 0,7-0,8. Нагрузка на стороне переменного тока симметрична по фазам, но резко колеблется за счет бросков тока при работе тяговых двигателей.
- *Производственные механизмы.* К этой группе электроприемников относятся электроприводы технологического оборудования, станков предприятий бытового обслуживания и общественного питания. Напряжение питания 380/220 В. Коэффициент мощности изменяется в широком диапазоне в зависимости от нагрузки. Для трехфазной электросети эти электроприемники оказывают равномерную нагрузку.
- *Электротермические установки,* предназначенные для преобразования электрической энергии в тепловую (электроплиты, паровые установки и др.). Это оборудование выпускается в однофазном и трехфазном исполнении (напряжение питания 380/220 В). Коэффициент мощности электротермических установок составляет 1, нагрузка симметрична по фазам (за исключением однофазного оборудования).
- *Электросварочные (переменного и постоянного тока) установки.* Электросварочные установки постоянного тока получают питание от генератора постоянного тока, приводом которого является трехфазный асинхронный электродвигатель, поэтому нагрузку можно считать равномерной и меняющейся во времени. Коэффициент мощности таких установок составляет 0,7-0,8, а при холостом ходе – 0,4. Электроустановки переменного тока представляют собой однофазную нагрузку в виде сварочных трансформаторов, работающих в повторно-кратковременном режиме. Коэффициент мощности установок для электродуговой сварки составляет 0,3-0,35, для контактной сварки – 0,4-0,7.

1.3. Категории электроприемников по надежности электроснабжения

Под *надежностью электроснабжения* понимают способность системы электроснабжения и ее отдельных частей обеспечивать бесперебойное снабжение потребителей электрической энергией.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) в отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники подразделяют на следующие три категории:

I категория – электроприемники, перебой в электроснабжении которых могут повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству в виде повреждения дорогостоящего оборудования, массового брака продукции, вызвать расстройство сложного технологического процесса, нарушить работу особо важных объектов коммунального хозяйства.

К электроприемникам I категории отнесены противопожарные устройства и лифты жилых домов выше 16 этажей; операционные и родильные палаты лечебных учреждений; котельные, являющиеся единственным источником тепла в системе теплоснабже-

ния; водозаборы в городах с числом жителей более 50 тыс. чел.; канализационные насосные станции без аварийных выпусков; автоматические телефонные станции; тяговые подстанции централизованного электроснабжения городского электрифицированного транспорта; центры питания городских районов с суммарной нагрузкой более 10 000 кВА; противопожарные устройства, охранная сигнализация, аварийное освещение некоторых общественных зданий; музеи и др.

Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания, и перерыв в их электроснабжении при аварийном отключении одного из них допускается только на время автоматического включения резервного источника.

Из состава электроприемников I категории выделена особая группа, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы для жизни людей, взрывов и пожаров. Для этой группы предусматривается третий независимый взаимно резервируемый источник питания.

II категория – электроприемники, перерыв в электроснабжении которых приводит к большому недовыпуску продукции, массовому простое рабочих, механизмов, транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей. К этой категории электроприемников относят здания высотой от 5 до 16 этажей, здания с количеством работающих от 50 до 2000 человек, библиотеки с фондом от 100 тыс. до 1 млн. единиц хранения, гостиницы с количеством мест от 200 до 1000, здания школ, детских садов и т.д.

Электроприемники II категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервируемых источников питания, причем перерыв электроснабжения допускается на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной бригады, но не более 1 часа.

III категория – все остальные электроприемники, не попадающие под определение первой и второй категорий. Для этой группы электроприемников электроснабжение может выполняться от одного источника при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы, не превышают 1 суток.

Надежность электроснабжения обеспечивается в результате проведения следующих мероприятий:

- применение соответствующих схем построения питающих и распределительных сетей, отвечающих требованиям надежности, экономичности, безопасности и удобства эксплуатации, а также возможности перспективного расширения. Распределение электроэнергии в зависимости от территориального расположения потребителей, их мощности, требуемой надежности электроснабжения может осуществляться по радиальной, магистральной либо смешанной схеме;
- использование резервных источников питания (в качестве резервных источников могут рассматриваться две секции шин электростанций и трансформаторных подстанций, если каждая секция шин в свою очередь имеет питание от независимого источника и если эти секции шин не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной из секций шин);
- применение резервирования в системе электроснабжения;

- использование сетевой автоматики, под которой понимается комплекс устройств для автоматического включения и отключения кабельных и воздушных линий электропередачи, трансформаторов, шин при нарушении электроснабжения. К этому комплексу относят: устройство автоматического включения (АПВ); устройство автоматического включения резервного источника питания или резервного оборудования (АВР); устройство автоматической частотной разгрузки (АЧР).

1.4. Принципы построения и элементы устройства электрических сетей

Электрическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии, состоящая из электрических подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Электрические сети по уровню напряжения подразделяются на две группы:

- *Районные сети*, к которым относят сети напряжением 110 кВ и выше;
- *Местные сети*, к которым относят сети напряжением до 35кВ и протяженностью, как правило, не более 30 км (электрические сети городов, промышленных предприятий и сети сельскохозяйственного назначения).

Следует отметить, что сети напряжением 35 кВ занимают промежуточное положение и в зависимости от назначения могут относиться как к местным, так и к районным электросетям.

В сетях одного напряжения различают линии электропередачи, передающие электроэнергию от источников (электростанций или районных трансформаторных подстанций) к распределительным пунктам, называемые *питающими*, и линии, соединяющие распределительные пункты с потребителями электрической энергии, называемые *распределительными*.

Распределительное устройство (РУ) – электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства и устройства автоматики и защиты, а также контрольно-измерительные приборы. РУ, предназначенное для распределения электроэнергии на одном напряжении без трансформации и преобразования, называют *распределительным пунктом (РП)*.

Электрическая подстанция (ЭП) – электроустановка, предназначенная для преобразования и распределения электроэнергии и включающая в себя трансформаторы и другие преобразователи электроэнергии, распределительные устройства, устройства управления и защиты, а также вспомогательное оборудование. Различают следующие виды ЭП:

- *Трансформаторная подстанция (ТП)* – электротехническое устройство, предназначенное для приема, изменения уровня напряжения и распределения электроэнергии;
- *Преобразовательная подстанция (ПП)* – электротехническое устройство, предназначенное для приема и изменения уровня напряжения;
- *Комплектная подстанция (КТП)* – подстанция, электрооборудование которой (трансформатор, коммутационная и защитная аппаратура на стороне высшего напряжения, распределительное устройство низшего напряжения и т.д.) полностью укомплектовано и размещено в металлическом шкафу, доставляемом на место установки в готовом к эксплуатации виде.

По конструктивному исполнению ЭП бывают *открытыми*, электрооборудование которых устанавливается на открытой специально отведенной площадке; *закрытыми*, электрооборудование которых размещается в отдельных или пристроенных зданиях и помещениях; *передвижные*, как правило, комплектные, электрооборудование которых размещается в специальном металлическом корпусе, имеющем специальные приспособления для удобной транспортировки. Открытые ЭП применяются в небольших населенных пунктах с воздушными электрическими сетями. Закрытые ЭП наибольшее применение получили в городских электрических сетях. Передвижные ЭП обычно используют для электрических сетей строительных площадок.

Для всех типов подстанций электрооборудование изготавливается в виде комплектных устройств высокого и низкого напряжений КСО-366 и ЩО-70 соответственно. РУ низкого напряжения для большинства типов КТП имеет не более 4 линейных панелей ЩО-70, при этом общее количество отходящих линий напряжением 0,38/0,22 кВ от подстанции не превышает 16. Стандартная передвижная КТП, применяемая на строительных площадках, состоит из трансформатора типа ТМ (трехфазного с масляным охлаждением), коммутационного аппарата на стороне высшего напряжения (разъединитель типа РВ-10/100), предохранителей высокого напряжения (типа ПК-10) и РУ низкого напряжения (типа РУ-0,4 кВ, состоящего из комплекта коммутационной и защитной аппаратуры, чаще всего это автоматические выключатели типа А 3100 или плавкие предохранители типа ПН-2).

Обязательным элементом каждой ЭП является заземляющее устройство, к которому подключаются нейтрали трансформаторов.

Наиболее распространенными способами передачи электроэнергии в городах являются воздушные (передача электроэнергии осуществляется по проводам, расположенным на открытом воздухе и закрепленным на опорах при помощи изоляторов и арматуры) и кабельные (передача электроэнергии осуществляется по одному или нескольким параллельным трех- или четырехжильным кабелям с соединительными муфтами и концевыми заделками) линии. Кроме того, на электростанциях, подстанциях и распределительных устройствах для прокладки силовых электрических сетей главным образом используются шинопроводы и шинные сборки, представляющие собой медные или алюминиевые полосы прямоугольного сечения. Сооружение воздушных линий (ВЛ) дешевле, чем подземных (кабельных), эксплуатация их проще и удобнее, так как повреждения легко обнаруживаются при осмотре, но они более опасны и менее надежны, чем подземные.

ВЛ состоит из проводов, закрепленных на изоляторах, которые в свою очередь установлены на опорах. ВЛ напряжением 35 кВ и выше имеют голые (не изолированные) алюминиевые или сталеалюминиевые провода, гирлянды стеклянных или керамических подвесных изоляторов и металлические или железобетонные опоры.

Подземные линии, как правило, выполняются изолированными одно-, двух-, трех- и четырехжильными кабелями. Токоведущие жилы кабелей изготавливают из меди или алюминия круглого или секторообразной сечения. Изоляционным материалом жил служит кабельная бумага, пропитанная масло-канифольным составом, резина или полиэтилен. Кроме того, для защиты от проникновения влаги кабель заключают в герметичную оболочку из свинца, алюминия, пластика, или резины, а для защиты от механических повреждений кабели могут иметь броню из стальных лент.

Электрические сети выполняют, используя открытые и скрытые проводки.

Открытая проводка прокладывается по поверхности стен, потолков, фермам и другим строительным конструкциям зданий и сооружений. В этом случае провода и кабели размещаются непосредственно по поверхностям строительных конструкций, на тросах, изоляторах, в трубах, гибких металлических рукавах, пластиковых коробах и т.д. Открытая проводка бывает стационарной, передвижной и переносной.

Скрытая проводка прокладывается внутри конструктивных элементов зданий и сооружений (в стенах, полах, фундаментах, перекрытиях и т.д.). В этом случае провода и кабели могут размещаться в трубах, замкнутых каналах и пустотах строительных конструкций, под штукатуркой и т.д.

Выбор вида электропроводки производится исходя из условий окружающей среды (влажности, температуры, наличия пыли или химически агрессивной среды) и пожарной безопасности (взрывобезопасности). Питающие и распределительные сети выполняются таким образом, чтобы в случае ремонта была возможность их замены. Групповые сети могут быть сменяемыми и несменяемыми. В кирпичных жилых и небольших общественных зданиях групповые сети несменяемые и прокладываются по стенам под штукатуркой или в пустотах плит перекрытий потолков. В крупнопанельных жилых и крупных общественных зданиях групповые электросети выполняются скрыто в каналах железобетонных панелей и перекрытий, образуемых при изготовлении этих изделий на заводах, или в пластмассовых трубах, размещаемых в подготовке пола при строительстве.

Шинопроводы выполняются открыто и скрыто. Открытый шинопровод представляет собой шины (медные или алюминиевые), закрепленные на изоляторах. Изоляторы монтируют на стальных конструкциях, которые укрепляют на стенах, колоннах, потолках или фермах. Ответвления к приемникам электроэнергии выполняются проводами или кабелями. Закрытые шинопроводы представляют собой шины, расположенные на изолирующих гребенках внутри стального короба. Они обычно собираются из отдельных нормальных секций (длиной 3 м). Ответвления в этом случае выполняются при помощи специальных коробок или ящиков, укрепляемых на коробе. Ящики содержат либо только зажимы для присоединения проводов, либо трубчатые предохранители и зажимы, от которых питание электроприемников осуществляется по изолированным проводам, в стальных трубах или металлических рукавах. Шинопроводы крепятся на стойках из стальных труб или кронштейнах, расположенных на стенах или колоннах, или подвешиваются на стальных растяжках к фермам.

Схемы первичных соединений КТП и состав электрооборудования определяются их назначением и категорией присоединяемых к ним потребителей. Во всех случаях в целях удешевления рекомендуется их выполнять упрощенно, без сборных шин на стороне высшего напряжения или с одной системой шин, устанавливать не более двух силовых трансформаторов, применять простейшие коммутационные устройства, обеспечивающие требуемую степень надежности и безопасности.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В зависимости от размеров объекта, его производственного потенциала и перспективы развития системы электроснабжения могут быть различными, но существует ряд общих принципов, выполнение которых является обязательным при проектировании электроснабжения любого объекта.

Исходными положениями для построения системы электроснабжения являются потребляемая мощность электроприемников, их категория надежности и наличие источников питания (ИП). Характеристики потребителей электроэнергии определяют требования к надежности электроснабжения, объему резервирования элементов системы электроснабжения, применению средств сетевой автоматики. Наличие энергоемких потребителей и их территориальное размещение обуславливают конфигурацию электрических сетей.

Проектирование системы электроснабжения любого объекта предполагает:

- определение расчетной электрической нагрузки (суммарной потребляемой мощности всего силового электрооборудования и электрического освещения) объекта;
- выбор КТП и определение ее оптимального месторасположения;
- составление плана распределительных электрических сетей;
- составление принципиальной электрической схемы электроснабжения объекта;
- разработку технических мероприятий по обеспечению электробезопасности.

Электрической нагрузкой называют потребляемые (расчетные) мощность или ток всех потребителей объекта. Расчетная нагрузка складывается из силовой нагрузки и нагрузки на электроосвещение. Определение расчетных нагрузок производится с помощью следующих методов: метода удельного расхода электроэнергии; метода коэффициента спроса, метода упорядоченных диаграмм и т.д.

Выбор КТП осуществляется по конструктивному исполнению, номинальному напряжению и номинальной мощности. Количество трансформаторов в КТП определяется мощностью потребителей и их категорией по надежности электроснабжения. Например, для потребителей III категории наиболее экономичны однотрансформаторные подстанции. Определение оптимального местоположения КТП производится на основании *картограммы электрических нагрузок* (плана территориального размещения потребителей электрической энергии на объекте), центр которой и является местом теоретически оптимального расположения КТП.

При составлении плана распределительных электрических сетей следует учитывать: количество подводящих линий к КТП; тип распределительных устройств и их место установки (принимая во внимание минимальную протяженность линий электропередач); оптимальный выбор распределительного щита, по количеству подключенных к нему потребителей (при достаточном резервировании) и т.д.

Критерием оптимальности принятой системы электроснабжения являются: минимум затрат на ее сооружение и последующую эксплуатацию; обеспечение нормируемых показателей качества электроэнергии; устойчивость к перегрузкам; электробезопасность.

2.1. Параметры электрической сети

Параметрами называют совокупность величин, характеризующих режим работы электрических сетей и физические свойства ее элементов. Первые называются *параметрами режима*, вторые – *параметрами линейных элементов сетей*.

Параметрами режима являются, например, полная, активная и реактивная мощности, величины токов, напряжения и частота. Значения этих параметров практически зависят от состояния системы, изменение одного параметра вызывает соответствующее изменение другого.

Параметрами элементов сетей являются активные и индуктивные сопротивления (проводимости) линий электропередачи и трансформаторов. Значения этих параметров практически зависят только от физических свойств элементов сети, способа соединения их между собой, конструктивного исполнения. Параметры линейных элементов сетей входят в качестве расчетных коэффициентов в уравнения, устанавливающие зависимость между параметрами режима.

Основные соотношения между параметрами режима для элементов трехфазной системы электроснабжения выражаются известными из курса электротехники уравнениями.

Активная мощность определяется суммарной совмещенной нагрузкой потребителей. Связанная с ней активная энергия необратимо преобразуется в электроприемниках в энергию других видов: механическую, тепловую, лучистую, химическую.

Реактивная мощность идет на создание переменных электромагнитных полей в электродвигателях, трансформаторах и в самих линиях электропередачи. Реактивная энергия накапливается попеременно в магнитных и электрических полях токоприемников и возвращается обратно в источник. Эти чередующиеся перемещения энергии в линии вызывают сдвиг фаз между током и напряжением. Косинус угла сдвига фаз, являющийся одним из важнейших энергетических показателей работы электротехнических установок, носит название *коэффициента мощности*.

Полная мощность представляет собой верхний предел активной мощности электроустановок и сетей. Мощность генераторов электростанций, трансформаторов, электрических сетей и установок ограничивается максимально допустимым током, протекающим по электрической цепи соответствующей установки. Поэтому снижение коэффициента мощности или рост реактивной нагрузки ведет к снижению располагаемой активной мощности системы, а следовательно, к ухудшению использования оборудования электростанций и всех других элементов системы электроснабжения.

Активное сопротивление проводов и кабелей зависит от материала проводника, его сечения и длины линий. Индуктивное сопротивление, обусловленное переменными магнитными полями, возникающими вокруг и внутри проводов и жил кабелей при прохождении по ним переменного тока, зависит от частоты тока, проницаемости материала и очень незначительно – от сечения проводов. Полное сопротивление линии электропередач зависит от их активного и реактивного сопротивления.

2.2. Основные расчетные уравнения

Под *расчетной электрической мощностью* понимают такую мощность, при длительном потреблении которой элементы системы электроснабжения нагреваются до такой температуры, какой бы они достигли при потреблении действительной, изменяющейся во времени, мощности.

Определение расчетной электрической мощности – один из наиболее ответственных этапов проектирования системы электроснабжения, поскольку завышение расчетной мощности вызывает неоправданный рост средств, вкладываемых в энергетическое строительство, а ее занижение – создает условия для возникновения аварийных режимов в системе электроснабжения из-за перегрузки ее элементов.

Существует несколько методов расчета электрических нагрузок. Наименее трудоемким из них, при достаточной для практических целей точности, является *метод коэффициента спроса*. Коэффициент спроса k_c является статической характеристикой, оп-

ределяющей долю потребляемой мощности P_P в установленной (паспортной) P_Y . Величина коэффициента спроса изменяется в диапазоне от 0 до 1 для различных групп электроприемников в зависимости от их фактической загрузки, режима работы.

Расчетная электрическая мощность находится в следующей последовательности:

- Определяется расчетная активная мощность для всех групп электроприемников по формуле:

$$P_P = P_Y \cdot k_C, \quad \text{кВт}; \quad (1)$$

- Определяется расчетная реактивная мощность для всех групп электроприемников по формуле:

$$Q_P = P_P \cdot \text{tg}\varphi, \quad \text{кВА}; \quad (2)$$

где $\text{tg}\varphi$ - коэффициент реактивной мощности, определяемый по заданному значению $\cos\varphi$;

- Определяется расчетная полная мощность для всех групп электроприемников по формуле:

$$S'_P = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^k P_{Pi}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^k Q_{Pi}\right)^2}, \quad \text{кВА}; \quad (3)$$

- Определяется расчетная полная мощность для всех групп электроприемников с учетом коэффициента совмещения максимумов по формуле:

$$S_P = k_{CM} \cdot S'_P, \quad \text{кВА}; \quad (4)$$

где k_{CM} – коэффициент совмещения максимумов нагрузки, принимаемый для вновь строящихся объектов равным 0,85.

Все расчеты для удобства дальнейшего проектирования желательно свести в таблицу.

2.3. Светотехнические расчеты

Как правило, перед определением расчетной электрической мощности выполняют расчет электрического освещения, цель которого состоит в определении количества и мощности источников освещения (светильников, прожекторов и т.п.), необходимых для создания на проектируемом объекте нормируемой освещенности и определения высоты установки прожекторов для ограничения их слепящего действия.

В соответствии со Строительными нормами и правилами (СНиП) различают следующие виды освещения:

- *рабочее освещение*, предназначенное для создания нормальных условий работы;
- *аварийное освещение*, обеспечивающее нормальные условия для продолжения работы при аварийном отключении основного рабочего освещения;
- *аварийное эвакуационное освещение*, предназначенное для создания нормальных условий для эвакуации людей при отключении освещения;
- *охранное освещение*, обеспечивающее освещение объекта в нерабочее время.

В большинстве случаев аварийное освещение проектируется как общее. При этом либо к светильникам рабочего (основного) освещения устанавливаются специальные светильники, либо на часть светильников рабочего освещения возлагаются функции аварийного освещения. Охранное освещение выполняет свои функции при нормальном, а не при аварийном режиме работы.

Надлежащее освещение объекта осуществляется светильниками или прожекторами, выбираемыми с учетом светотехнических, экономических, эстетических требований, а так же по условиям их защиты от воздействия окружающей среды. *Светильник* - устройство, состоящее из источника света (например, электрической лампы) и осветительной арматуры (конструкции, служащей для распределения светового потока, защиты глаз от слепящего действия источника света и защиты лампы от воздействия окружающей среды). *Прожектор* представляет собой осветительный прибор, состоящий из источника света и оптического устройства, предназначенного для перераспределения светового потока источника света. Главным отличием прожектора от светильника является значительно большая концентрация светового потока, что позволяет обеспечить нормируемую освещенность для удаленных объектов. Прожекторы используют для освещения открытых пространств (например, освещения строительных площадок, светового оформления фасадов зданий и т.д.).

В настоящее время наиболее распространенными электрическими источниками света являются лампы накаливания и газоразрядные лампы (низкого и высокого давления). Лампы накаливания, несмотря на ряд недостатков (низкие светоотдачу и к.п.д., относительно небольшой срок службы и т.д.), дешевы, просты и удобны в эксплуатации (могут работать практически в любых внешних условиях и не требуют специальных пускорегулирующих устройств). Газоразрядные лампы, по сравнению с лампами накаливания, имеют ряд преимуществ (на порядок больший срок службы, меньшую чувствительность к колебаниям напряжения, более высокие светоотдачу и к.п.д. и т.д.). Однако они дороже из-за необходимости использования для их работы специальных пускорегулирующих устройств. Эти лампы чувствительны к изменениям условий окружающей среды (влажности, температуры и т.д.).

Лампы накаливания используются в светильниках и прожекторах для освещения с повышенными требованиями к оформлению интерьеров (архивы, помещения звукозаписи и т.п.) и объектов с тяжелыми условиями окружающей среды (повышенная влажность, температура, химически активная среда и т.п.). Электрическое освещение общественных зданий выполняется, как правило, газоразрядными лампами низкого давления (люминесцентными). Газоразрядные лампы высокого давления типа ДРЛ (дуговая, ртутная, с люминофором) и ДРИ (дуговая, ртутная, с йодидами металлов) применяются для освещения производственных помещений, спортзалов, стадионов, наружного освещения населенных пунктов и т.п.

Существует несколько методов расчета электрического освещения: точечный метод, метод коэффициента использования светового потока, метод удельной мощности. Последний из перечисленных методов является наиболее простым и достаточно точным с практической точки зрения.

Количество источников освещения согласно методу удельной мощности рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{E_H \cdot m \cdot S_{\text{пл}} \cdot k_3}{P_{\text{л}}}, \quad (5)$$

где E_H – минимальная освещенность, нормируемая для определенного вида производимых работ в соответствии со СНиП, лк;

m – коэффициент светоотдачи, учитывающий к.п.д. прожектора, светоотдачу источника света и коэффициент использования светового;

$S_{л}$ – площадь освещаемого объекта, м²;

k_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение осветительной арматуры (принимается равным 1,5 для ламп накаливания и 1,7 – для газоразрядных ламп типа ДРЛ, ДРИ);

$P_{л}$ – мощность лампы светильника, являющаяся паспортным данным, Вт.

Общая мощность освещения определяется произведением количества светильников на номинальную мощность ламп, установленных в них.

Для ограничения слепящего действия прожектора высота его установки в метрах должна быть не менее

$$h_{\min} = \sqrt{\frac{J}{300}}, \quad (6)$$

где J – максимальная сила света прожектора, кд.

2.4. Выбор КТП и определение ее оптимального месторасположения

Трансформаторная подстанция предназначена для изменения уровня напряжения от 10 (6) кВ до 380/220 В и распределения электрической энергии на этом напряжении. Наиболее удобными для этой цели являются комплектные трансформаторные подстанции (КТП), которые представляют собой совокупность непосредственно трансформатора, коммутационного аппарата на стороне высшего напряжения, предохранителей высокого напряжения и распределительного устройства низкого напряжения.

Количество КТП определяется мощностью и размерами объекта. Радиус действия КТП, как правило, не превышает 200-300 м. При большей длине электрических линий напряжением 380/220 В значительно увеличивается их сечение по условию обеспечения качества электрической энергии по отклонению напряжения и условию чувствительности защиты к однофазным коротким замыканиям, что приводит к увеличению их стоимости.

КТП могут быть однострановыми и двухтрансформаторными в зависимости от категории надежности по электроснабжению. Например, большинство предприятий стройиндустрии относятся; как правило, к потребителям II и III категорий для которых рекомендуется устанавливать однострановые КТП, обеспечивающие минимальные капитальные затраты и наименьшие потери электроэнергии.

Мощность $S_{ном}$ трансформатора типа ТМ выбирается в соответствии с расчетной мощностью нагрузки S_p из условия $S_{ном} > S_p$.

Потери электрической мощности, напряжения и энергии в распределительных сетях пропорциональны их протяженности. В связи с чем КТП целесообразно размещать в центре электрической нагрузки, координаты которого на генплане объекта находятся по аналогии с определением центра тяжести по формулам:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^k P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^k P_i}, \text{ м}; Y = \frac{\sum_{i=1}^k P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^k P_i}, \text{ м}, \quad (7)$$

где P_i – активная мощность i – го электроприемника, кВт;

x_i, y_i – координаты по осям X и Y расположения электроприемников на генплане, м;

k – количество электроприемников.

При расчете центра электрических нагрузок целесообразно координатные оси совместить с границами объекта (цеха, строительной площадки и т.п.). Как правило, разместить КТП в теоретически оптимальном центре электрических нагрузок не представляется возможным по ряду причин: из-за размещенного в этом месте технологического оборудования; ведения в этом месте строительного-монтажных работ; из-за зоны действия крана; наличия транспортных коммуникаций и т.д. В этом случае месторасположение КТП может быть смещено относительно оптимального, но при этом должно быть по возможности максимально приближено к расчетному центру электрических нагрузок.

2.5. Составление плана распределительных электрических сетей

Составление плана электрических сетей проектируемого объекта производится на основе конкретного расположения электроприемников относительно КТП. В зависимости от расположения и количества электроприемников выбирается количество и тип распределительных щитов (РЩ). Распределение электроэнергии может быть осуществлено по радиальной, магистральной или смешанной схеме в зависимости от территориального размещения потребителей, их мощности, требуемой степени надежности питания. На предприятиях с ответственными нагрузками для повышения надежности электроснабжения обычно применяют магистральные схемы с питанием их с двух сторон от разных КТП. Силовые сети небольших промышленных предприятий и внутрицеховые сети, а также сети строительных площадок, как правило, выполняются по наиболее простой, с точки зрения эксплуатации, защиты и автоматизации, хотя и не самой дешевой и надежной, радиальной схеме. При этом силовые потребители жилых и общественных зданий должны получать питание, как правило, от самостоятельной силовой сети. Осветительные сети промышленных зданий выполняются открыто с креплением накладными скобами к фермам, силовые сети – в пластмассовых (полиэтиленовых или винилпластовых) трубах, прокладываемых в подготовке бетонного пола. Сети строительных площадок, поскольку они относятся к временным, прокладываются обычно воздушным путем, с креплением кабельной линии на опорах. В месте с тем существует ряд правил, обязательных во всех случаях:

- схема сети должна быть по возможности простой;
- КТП должна быть установлена на надлежащем расстоянии от стены здания, в соответствии со степенью его огнестойкости (например, при I и II степени огнестойкости здания это расстояние должно быть не менее 16 м).
- трасса для прокладки электрической линии от РЩ к электроприемникам выбирается наиболее короткой;
- кабельные линии, имеющие общее направление, должны прокладываться по одной трассе;
- распределительные щиты должны устанавливаться в непосредственной близости от группы электроприемников;
- при подключении электроприемников к РЩ допускается резервирование, но не более 50% от предусмотренного количества подключаемых линий.

Выполнение этих требований позволит обеспечить экономичность схемы электроснабжения и рациональное использование территории объекта.

2.6. Составление принципиальной электрической схемы электроснабжения

Принципиальной называют схему электрических соединений всех ее основных элементов, включая вводы и выводы линий электропередачи высшего и низшего напряжений, трансформатор, сборные шины, защитную, измерительную и коммутационную аппаратуру. Принципиальные схемы принято выполнять в однолинейном изображении, то есть показывая условно все три фазы электрической сети одной линией. В верхней части схемы изображаются элементы, относящиеся к высшему напряжению, в нижней части – к низшему напряжению. Все электрические аппараты на схеме изображаются согласно условным обозначениям, принятым ГОСТом. До составления принципиальной электрической схемы электроснабжения следует выбрать типы распределительных устройств (силовых шкафов или распределительных щитов) отходящих линий с предохранителями или автоматическими выключателями в соответствии с количеством электроприемников и их номинальными и пусковыми токами.

2.7. Расчет сечений электрических сетей

Выбор пропускной способности электрических сетей производится на основании следующих основных технических и экономических требований:

- обеспечение безопасности для жизни людей и предотвращение возможности возникновения взрыва или пожара в процессе их эксплуатации. Это достигается правильным выбором типа и способа прокладки электрических сетей в соответствии с характеристикой окружающей среды. Не меньшее значение имеет правильный выбор защиты проводников от перегрузки и коротких замыканий, а также расчет сечения линий по условию их нагревания электрическим током;
- обеспечение качества электрической энергии и прежде всего по уровню отклонения напряжения на зажимах электроприемников;
- электрические сети должны выполняться по наиболее простым, надежным и экономичным схемам, а также содержать необходимый минимум коммутационной и защитной аппаратуры.

Сечение электрических сетей выбирают по длительно допустимому току нагрузки (условию нагревания) и проверяют по величине отклонения напряжения в нормальном и послеаварийном режимах, по условию чувствительности защиты линий к однофазным коротким замыканиям и термической стойкости при коротких замыканиях. По результатам расчетов принимается сечение, удовлетворяющее всем перечисленным условиям.

Расчет линий по условию нагревания заключается в определении такого сечения электрической сети, при котором длительный ток нагрузки не вызовет ее перегрева выше допустимой температуры, величина которой зависит от типа изоляции токоведущих жил (например, для кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией - 65°C, а для кабелей с бумажной изоляцией - 80°C). Допустимая токовая нагрузка на кабель зависит от сечения жилы кабеля, его конструктивного исполнения и условия охлаждения.

Выбор сечения при данном расчете производится по таблицам допустимых длительных токовых нагрузок в соответствии с условием:

$$I_{\text{доп}} \cdot k_{\text{нонр}} \geq I_p, \quad (8)$$

где $I_{\text{доп}}$ – табличное значение допустимой токовой нагрузки, А;

$k_{\text{напр}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий количество параллельно проложенных в одной траншее кабелей (если число кабелей в траншее 1, то его значение принимается равным 1, при 2 кабелях – 0,9, при 3 – 0,85, при 4 – 0,8, при 5 – 0,78, при 6 – 0,75 и т.д.);

I_p – расчетный ток длительной нагрузки, вычисляемый по формуле:

$$I_p = \frac{P_y}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi}, \quad (9)$$

где P_y – установленная мощность электроприемника, к которому рассчитывается линия электропередачи, кВт;

U_H – номинальное напряжение, кВ,

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки.

Расчет на отклонение напряжения состоит в проверке обеспечения качества электрической энергии, нормируемого ГОСТом, согласно которому должно выполняться условие:

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (10)$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ – предельно допустимое значение отклонения напряжения в процентах, нормируемое ГОСТом, который предусматривает следующие пределы отклонения напряжения на зажимах электроприемников:

- электродвигатели.....5 ÷ 10%;
- осветительные установки.....2,5 ÷ 5%;
- прочие электроприемники.....± 5%;

ΔU – фактическое отклонение напряжения в процентах, которое определяется по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l}{U_H} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100\%, \quad (11)$$

или
$$\Delta U = \frac{S \cdot l}{U_H^2} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100\%, \quad (12)$$

или
$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 + Q \cdot x_0}{10 \cdot U_H^2}, \quad (13)$$

где l – длина линии, км;

r_0, x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления линии, Ом/км (x_0 для воздушных линий принимается равным 0,3 Ом/км, для кабельных – 0,06 Ом/км при напряжении до 1 кВ и 0,35 и 0,08 Ом/км соответственно при напряжении до 20кВ);

S – полная расчетная мощность нагрузки, кВА;

P – активная мощность нагрузки, кВт;

Q – реактивная мощность нагрузки, кВАр;

U_H – номинальное напряжение сети, кВ.

Если в результате расчета значение отклонения напряжения ΔU окажется больше допустимого значения $\Delta U_{\text{доп}}$, то выбранное по длительно допустимому току сечение линии не удовлетворяет по уровню напряжения и следует к установке принять следующее по шкале большее сечение кабеля с последующей проверкой его на отклонение напряжения.

Расчет на чувствительность защиты к однофазным коротким замыканиям выполняется с целью обеспечения электробезопасности. Дело в том, что в электрических сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью однофазное короткое замыкание (ОКЗ) на корпус вызывает появление на заземленных частях оборудования и связанных с ними металлических конструкциях напряжения относительно земли. В зависимости от степени чувствительности защиты линии к току ОКЗ это напряжение может существовать продолжительное время, создавая опасность поражения электрическим током. Поэтому одним из обязательных условий расчета линии электропередачи является проверка ее защиты к току ОКЗ, который проводится по формуле:

$$I_{ОКЗ\min} \geq k \cdot I_H, \quad (14)$$

где $I_{ОКЗ\min}$ — минимальный ток ОКЗ, необходимый для отключения защитного аппарата;

I_H — номинальный ток защитного аппарата;

k — коэффициент кратности, принимаемый для невзрывоопасной среды, равным 3.

Приближенное значение тока ОКЗ определяется по формуле:

$$I_{ОКЗ\min} = \frac{U_\phi}{z_{Лл} + \frac{z_{ТТ}}{3}}, \quad (15)$$

где U_ϕ — фазное напряжение сети, В;

$z_{Лл}$ — полное сопротивление петли фазный провод — нулевой, Ом;

$z_{ТТ}$ — полное сопротивление трансформатора в режиме однофазного короткого замыкания, Ом.

Расчет на термическую стойкость электрической сети заключается в выборе сечения жил кабеля, удовлетворяющих термической стойкости (допустимой температуре нагрева жил кабеля при протекании по ним тока КЗ: для кабелей с полиэтиленовой изоляцией - 120°С, с поливинилхлоридной - 150°С) осуществляется по формуле:

$$s_{\min} = I_{КЗ} \sqrt{\frac{t}{k_k}}, \quad (16)$$

где s_{\min} — минимально допустимое сечение фазных жил кабеля, удовлетворяющее условию термической стойкости, мм²;

$I_{КЗ}$ — расчетное значение тока КЗ, А;

t — продолжительность КЗ, с;

k_k — коэффициент, учитывающий материал жил и изоляции.

При недостаточной термической стойкости необходимо принимать несколько большее сечение жил кабеля.

2.8. Защита электрических сетей

В аварийных режимах (при коротких замыканиях, замыканиях на корпус, неполнофазной работе во время обрыва одного из линейных проводов и т.д.) и при перегрузках электрические сети могут быть повреждены токами, превышающими допустимые значения. Линии электропередачи с целью обеспечения работоспособности оборудуются спе-

циальными защитными устройствами. Для защиты от токов КЗ наибольшее распространение получили предохранители (Пр) и автоматические выключатели (АВ). Для защиты от перегрузок и неполнофазных режимов используются тепловые реле (ТР) и реле предельного тока (РПТ). Для защиты людей от поражения электрическим током при непреднамеренном контакте с открытыми токопроводящими частями электроустановок или неисправностях электрооборудования из-за повреждения изоляции применяются устройства защитного отключения в виде выключателей дифференциального тока (ВДТ).

Предохранители – электротехнические аппараты, предназначенные для защиты электрических цепей и установок от токов КЗ и перегрузок. Преимущественно они используются для выполнения первой из указанных функций. Защитное действие Пр состоит в сгорании (расплавлении) их плавкой вставки при протекании по ним токов срабатывания, вследствие чего разрывается поврежденная электрическая цепь. Пр имеют обратную зависимость времятоковую характеристику, т.е. чем больший ток протекает по их плавкой вставке, тем меньше время ее расплавления.

По конструкции Пр делятся на:

- *открытые*, у которых плавкая вставка не защищена патроном или размещена в открытой с торцов трубке;
- *закрытые*, у которых плавкая вставка защищена патроном или размещена в закрытой с торцов трубке;
- *засыпные*, у которых плавкая вставка расположена в патроне, заполненном мелкозернистым наполнителем, например, кварцевым песком.

Для лучшего использования наполнителя как теплоотводящей и дугогасящей среды некоторые Пр имеют несколько параллельно соединенных вставок, суммарное сечение которых эквивалентно сечению одной вставки на тот же ток срабатывания. Вставки Пр изготавливаются из меди, цинка, алюминия, свинца или серебра.

Особую группу образуют жидкометаллические и инерционные Пр. В *жидкометаллических* Пр в качестве плавкого элемента используется жидкий металл (чаще галлий и его сплавы), находящийся в вакуумированном или герметизированном корпусе. Этот тип Пр обычно используется в сочетании с каким-либо защитным аппаратом, например АВ. *Инерционные* Пр имеют две вставки разного сечения и исполнения, что позволяет обеспечить защиту как от токов КЗ, так и от сравнительно небольших токов перегрузки. В электрических сетях и установках применяются следующие типы Пр: ПН2, имеющие фарфоровый корпус прямоугольного сечения; НПН, выполняемые в стеклянном корпусе круглого сечения; ПП и ПНБ, быстродействующие Пр, используемые для защиты полупроводниковых установок; ПРС, резьбовые предохранители, применяемые для защиты малогабаритных распределительных устройств.

Основными достоинствами Пр являются их простота, надежность защиты от токов КЗ и низкая стоимость. Вместе с тем они имеют и ряд недостатков: однократность действия, что требует после их срабатывания заменять плавкую вставку; защитные характеристики Пр имеют большие диапазоны, при однофазных КЗ срабатывает Пр только соответствующей линии (в которой произошло КЗ), в результате трехфазный электроприемник продолжает работать в неполнофазном режиме, что может привести к его повреждению (если он не будет вовремя отключен).

Автоматические выключатели – электротехнические устройства, предназначенные для оперативной и аварийной коммутации в системах электроснабжения и для включения и выключения отдельных электрических цепей и нагрузок, а также для защиты электроустановок от токов КЗ и перегрузок.

Конструктивно АВ содержат коммутирующее устройство, механизм управления, расцепители тока, дугогасительные камеры, искрогаситель. Расцепители АВ могут выполняться с обратной зависимостью от тока выдержкой времени для защиты от перегрузки и с мгновенным срабатыванием при КЗ.

В электрических сетях выше 1 кВ для включения и выключения электроустановок под нагрузкой и отключения КЗ применяются масляные, воздушные и электромагнитные выключатели. *Масляные выключатели* характеризуются тем, что гашение дуги, возникающей при разрыве электрической цепи, происходит путем ее эффективного охлаждения в потоке газопаровой смеси, вырабатываемой дугой в результате разложения и испарения масла. В *воздушных выключателях* электрическая дуга гасится в специальных дугогасительных камерах с продольным или поперечным дутьем сжатого воздуха, который поступает от компрессорной установки. *Электромагнитные выключатели* отключают электрические цепи путем их размыкания сначала главными, а затем дугогасительными контактами с дугогасительными камерами. В этом случае применяется так называемое электромагнитное дутье.

В КТП напряжением 10(6)/0,4 кВ в качестве отключающих аппаратов применяются выключатели нагрузки, отключающие токи до 200 А. Электрическая дуга в них гасится в дугогасительной камере из пластмассового корпуса, внутри которого находятся сменные вкладыши из органического стекла. При возникновении электрической дуги органическое стекло частично разлагается, выделяя при этом большое количество газов, гасящих дугу. В сетях напряжением до 10 кВ используются также тиристорные (токоограничивающие) выключатели, которые способны отключить цепь после первого прохождения тока через нулевое значение.

Устройства защитного отключения (УЗО) – электротехнические устройства, предназначенные для автоматического отключения электроустановки при возникновении в ней опасности поражения человека электрическим током. Конструктивно УЗО представляет собой релейную дифференциальную защиту, состоящую из трансформатора тока и дифференциального реле и реагирующую на различие токов по концам защищаемого участка (или элемента) электротехнической системы.

Аппараты защиты устанавливаются в местах электрической сети, где сечение проводника уменьшается, или в местах, где необходимо обеспечить чувствительность и селективность (избирательность) защиты. Пр, устанавливаются во всех линейных проводах. Установка Пр в нулевых рабочих проводниках запрещена. Тепловые и токовые реле, предназначенные для защиты электроустановок от перегрузок, устанавливают на любые два линейных провода.

Выбор защиты заключается в определении номинального тока чувствительного элемента (плавкой вставки Пр, расцепителя АВ и т.д.) защитного аппарата. При этом должны соблюдаться следующие условия:

- а) Номинальный ток плавкой вставки Пр или расцепителя АВ $I_{ном}$ должен быть не меньше наибольшего тока I_p линии в рабочем режиме в том месте, где устанавливается Пр, т.е.

$$I_{ном} \geq I_p \quad (17)$$

По этому условию выбираются аппараты, защищающие электроустановки со статической (без резких колебаний величины тока) нагрузкой (электроосвещение, нагревательные устройства, сварочные трансформаторы и т.д.);

б) Аппараты защиты не должны отключать электроустановки при временных колебаниях тока, вызванных пуском электродвигателей или нормальными технологическими перегрузками, что обеспечивает выполнение условия:

$$I_{ном} \geq \frac{I_{пуск}}{k}, \quad (18)$$

где $I_{пуск}$ = $k_l \cdot I_{ном}$ – значение пускового тока, А;

k_l – кратность пускового тока (определяется по каталогу), в практических расчетах величину k_l можно принимать равной 5÷7;

k – коэффициент, учитывающий условия пуска и принимаемый равным 2,5 при защите электроприводов механизмов с легким пуском и небольшой частотой включений (металлорежущие станки, вентиляторы, насосы и др., пуск которых длится 2-5 с, а частота пусков не более 15 с час). При защите электроприводов механизмов с тяжелым пуском и большой частотой включений (подъемники, транспортеры и др., пуск которых длится более 10 с, а частота - пусков более 15 с час), $k = 1,6 + 2,0$.

Если аппарат защиты устанавливается на участке сети, к которому подключено несколько электроприемников (например, башенный кран, имеющий в своем составе пять и более трехфазных электродвигателей), то его выбор осуществляется по пиковому току, т.е. по условию:

$$I_{ном} \geq \frac{I_{пик}}{k} = \frac{I_{\Sigma p} + I_{пуск, max}}{k}, \quad (19)$$

где $I_{\Sigma p}$ – суммарный расчетный ток всей группы электродвигателей установки, кроме тока двигателя наибольшей мощности, А;

$I_{пуск, max}$ – пусковой ток электродвигателя, имеющего наибольшую мощность в этой группе, А.

Следует отметить, что АВ с комбинированным и максимальным расцепителями имеют две токовые характеристики: номинальный ток автомата $I_{ном, АВ}$ и ток уставки срабатывания максимального расцепителя $I_{ном, уст.}$. Для защиты асинхронного короткозамкнутого двигателя АВ с комбинированным расцепителем номинальный ток автомата должен удовлетворять условию:

$$I_{ном, АВ} = \frac{I_{пуск}}{k}. \quad (20)$$

От перегрузки защищаются сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей изоляцией или оболочкой. Кроме того, осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, пожароопасных зонах; силовые сети – только в случаях, когда по условиям технологического процесса или режиму работы может возникнуть длительная перегрузка проводников.

При защите электроустановок АВ, имеющими только электромагнитный расцепитель, при номинальном токе до 100 А уставка расцепителя должна быть не менее чем в 1,4 раза меньше расчетного тока трехфазного КЗ, а при номинальном токе более 100 А – не менее чем в 1,25 раза.

Для обеспечения отключения однофазных КЗ необходимо, чтобы номинальный ток расцепителя с обратной зависимой от тока характеристикой был не менее чем в 3 раза меньше расчетного тока КЗ.

2.9. Разработка технических мероприятий по обеспечению электробезопасности

Для обеспечения защиты человека от поражения электрическим током разработан комплекс технических средств и организационных мероприятий. Технические средства защиты можно разделить по следующим признакам:

- средства, не допускающие прикосновения человека к токоведущим частям электроустановок и препятствующие переходу потенциала на элементы, нормально не находящиеся под напряжением, и высшего напряжения на низшее (изоляция, ограждения, изолированный инструмент, разделительные трансформаторы и т.д.);
- средства, исключающие воздействие электромагнитных и электростатических полей электроустановок высокого напряжения (металлические экраны);
- средства, обеспечивающие защиту человека при прикосновениях к токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением (защитное отключение);
- средства, обеспечивающие защиту человека при прикосновениях к оборудованию или металлическим конструкциям, нормально не находящимся под напряжением, но оказавшимся под таковым в результате замыканий на корпус (заземление, зануление);
- средства, защищающие человека от шагового напряжения (выравнивание потенциалов), а также использование в электроустановках с повышенной опасностью пониженных напряжений (не более 42 В).
- средства, обеспечивающие защиту от прямых ударов молний, представляющих опасность для жизни человека и могущих вызвать разрушения, пожары и взрывы (молниеотводы).

Электроизоляционными называются вещества (диэлектрики), обладающие ничтожной электрической проводимостью и способные поляризоваться в электрическом поле. Применение электроизоляционных материалов для изоляции (в отдельных случаях повышенной или двойной) проводниковых элементов, частей электрических машин, аппаратов, приборов и т.д., находящихся под разными потенциалами, позволяет обеспечить их надежную, экономичную и безопасную эксплуатацию.

Ограждение или полное закрытие токоведущих частей электроустановок позволяет в значительной степени соблюсти надлежащее безопасное расстояние до токоведущих частей или ограничить доступ к ним.

Разделяющие трансформаторы представляют собой однофазные трансформаторы с коэффициентом трансформации, равным 1, позволяющие разделить разветвленную электрическую сеть на короткие, гальванически не связанные между собой, участки, обладающие малой емкостью и высоким сопротивлением изоляции. Это позволяет снизить значение тока, проходящего через тело человека при однофазных прикосновениях, до безопасной величины. Разделение питания используют в установках напряжением до 1000 В при испытаниях, на стендах, в передвижных электроустановках, а также в особо опасных помещениях, на строительных площадках и т.д.

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения человека электрическим током. Существует ряд УЗО, которые могут осуществлять сле-

дующие виды защиты: от замыканий на землю (корпус); от утечек; автоматический контроль цепи заземления или зануления; самоконтроль (автоматический контроль исправности защитного отключения). Область применения УЗО практически не ограничена, в связи с этим они являются весьма рациональной мерой защиты в любых электроустановках, но особенно, когда по каким-либо причинам трудно осуществить эффективное заземление или зануление, а также когда высока вероятность случайного прикосновения людей к токоведущим частям. Такие условия чаще всего возникают в передвижных электроустановках, а также в стационарных, расположенных в районах с плохо проводящими грунтами, испытательных устройствах и т.п.

Заземлением называют преднамеренное электрическое соединение электроустановки или другого оборудования с заземляющим устройством. Существуют следующие виды заземления:

- *защитное заземление* – преднамеренное электрическое соединение с заземляющим устройством металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус. Задача этого типа заземления заключается в том, чтобы устранить опасность поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу и другим металлическим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением, что достигается снижением появляющихся при этом на оборудовании и возле него напряжений до безопасной величины;
- *рабочее заземление* – соединение с землей элементов электрической цепи, нейтральных точек обмоток генераторов, силовых и измерительных трансформаторов, дугогасящих аппаратов. Этот вид заземления призван обеспечить заданный режим работы электрооборудования в нормальных или аварийных условиях и осуществляется его присоединением либо непосредственным, либо через специальные аппараты (пробивные предохранители, разрядники, резисторы) к заземляющему контуру;
- *заземление молниезащиты* – преднамеренное соединение с землей молниеприемников и разрядников с целью отвода от них ударов молнии в землю.

Заземление электроустановок следует выполнять: при напряжениях сети 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока – во всех электроустановках; при номинальных напряжениях выше 42 В, но ниже 380 В переменного и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных электроустановках. Заземление, как вид защиты, применяется в электрических сетях с изолированной нейтралью.

Электрические сети напряжением до 1000 В выполняются четырехпроводными с глухим заземлением нейтрали. В качестве защитного средства в них используется зануление.

Занулением называется преднамеренное электрическое соединение частей электроустановок, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью трансформатора. Проводник, соединяющий зануляемое оборудование с глухозаземленной нейтралью трансформатора, называют *нулевым защитным проводником*. Защитная функция зануления состоит в том, чтобы замыкание на корпус оборудования превратить в ОКЗ, при котором ток ОКЗ вызывает срабатывание защитного аппарата и отключение поврежденного участка сети.

Принципиальное различие между заземлением и занулением заключается в том, что заземление защищает человека за счет снижения величины тока, проходящего по его телу, зануление – за счет отключения участка сети, на котором произошло замыкание.

К частям, подлежащим заземлению или занулению, относятся:

- корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т.д.;
- приводы электрических аппаратов;
- вторичные обмотки измерительных трансформаторов;
- каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, а также съемные или открывающиеся части, если на последних установлено электрооборудование напряжением выше 42 В переменного или выше 110 В постоянного тока;
- металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические кабельные соединительные муфты и броня контрольных и силовых кабелей, металлические оболочки проводов, металлические рукава и трубы электропроводки, кожухи и опорные конструкции шинопроводов, лотки короба, струны, тросы и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме струн, тросов и полос, по которым проложены кабели с заземленной или зануленной металлической оболочкой или броней), а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование;
- металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей и проводов напряжением до 42 В переменного и до 110 В постоянного тока, проложенных на общих металлических конструкциях, в том числе в общих трубах, коробах, лотках и т.п., вместе с кабелями и проводами, металлические оболочки и броня которых подлежат заземлению или занулению;
- металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;
- электрооборудование, размещенное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

Следует помнить, что действующими нормами запрещено выполнять заземление электроустановок в сетях с глухозаземленной нейтралью без его зануления!

Выравнивание потенциалов в качестве самостоятельной меры защиты не применяется, а используется как дополнение к другим мерам защиты, например, защитному заземлению или занулению. В промышленных установках выравнивание потенциалов внутри помещения осуществляется естественным путем благодаря наличию связи между электрооборудованием, разветвленной сетью заземления и, так называемыми, естественными заземлителями (различными металлическими конструкциями, трубопроводами, кабелями и т.д., связанными с землей).

Молниеотводы представляют собой устройство, состоящее из молниеприемника (стержневого, тросового или сетчатого), принимающего на себя удары молний, токоотвода - стального проводника, соединяющего молниеприемник с заземляющим контуром, и заземлителя, иногда объединенного с контуром защитного заземления электроустановки. Действие молниеотводов основано на избирательности молний поражать наиболее высокие и имеющие хорошее заземление объекты.

Таким образом, самой главной и основной защитой человека от возможного поражения электрическим током является надлежащий уровень эксплуатации электроустановок и всего электрохозяйства предприятия или организации.

3. ПРИМЕР РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

Порядок расчета систем электроснабжения различных объектов за исключением некоторых особенностей, связанных с их размерами, промышленным потенциалом и перспективами развития, практически одинаков. Большая их часть получает электрическую энергию от государственной энергосистемы, но ряд крупных предприятий имеет собственные теплостанции. В последнем случае к электрическим сетям промышленных предприятий, как правило, подключаются потребители селитебной зоны прилегающих к ним населенных пунктов (с населением до 100 тыс. чел).

Основой для выполнения электротехнической части проекта любого объекта является генеральный план, разрабатываемый архитекторами, и технические условия энергоснабжающей организации на присоединение этого объекта к местным электрическим сетям. Дальнейший расчет и выбор системы электроснабжения ведется согласно размещению на генплане потребителей и их электротехническим параметрам.

Устройство и расчет электрических сетей – один из наиболее значимых в практическом отношении вопросов для инженеров неэлектротехнического профиля (строителей, технологов и т.д.). Приведенный ниже пример расчета электроснабжения конкретного объекта призван дополнить теоретические сведения и оказать практическую помощь в освоении этого материала.

Задание:

Для строительной площадки производственного здания (стройгенплан (М 1:500) приведен на рис. 1), на которой установлены следующие электроприемники: башенный кран - номер на стройгенплане ①; два подъемника - ②; три сварочных трансформатора - ③; вакуумный насос водопонижения - ④; два насоса водоотлива - ⑤; бетононасос, - ⑥; ленточный транспортер - ⑦, требуется:

- рассчитать и выбрать рабочее освещение ⑧ для производства бетонных работ на участке шириной $a = 10$ м и длиной $b = 20$ м;
- определить расчетную электрическую мощность строительства;
- выбрать мощность и месторасположение КТП;
- разработать и нанести на стройгенплане план электрических сетей;
- составить принципиальную схему электроснабжения;
- рассчитать и выбрать сечение электрических сетей.

Расчет:

- 3.1. Выписываем из таблицы П.1. Приложений технические данные электрооборудования, установленного на заданной стройплощадке. Данные для удобства дальнейшего пользования сводим в таблицу 1.

Таблица 1

Номер эл. прием. на генплане	Наименование электроприемника	Установленная мощность, кВт	Коеф. - т спроса, k_c	Коеф. - т мощ - ти, $\cos \varphi$	Коеф. - т реакт. мощ - ти, $\operatorname{tg} \varphi$
1	Башенный кран	32,0	0,2	0,7	1,02
2	Подъемник	10,0	0,15	0,7	1,02
3	Сварочный трансформатор	23,0	0,35	0,6	1,34
4	Вакуумный насос водопонижения	32,0	0,7	0,8	0,75
5	Насос водоотлива	22,0	0,7	0,8	0,75
6	Бетононасос	14,0	0,5	0,82	0,7
7	Ленточный транспортер	7,0	0,3	0,85	0,62

3.2. Определяем мощность электрического освещения для производства бетонных работ, для чего:

а) Рассчитываем площадь освещаемого участка:

$$S_{\text{л}} = a \cdot b = 10 \cdot 20 = 200 \text{ м}^2;$$

б) В нашем случае рабочее освещение согласно условиям (открытое пространство, влажность, запыленность) выполняем прожекторами с лампами накаливания. Для прожекторов типа ПЗ с лампами накаливания по таблице П 2. Приложений при ширине площадки $a = 10 < 75$ м значение коэффициента светоотдачи $m = 0,3$;

в) По таблице П 3. Приложений определяем нормируемое значение минимальной освещенности для ведения бетонных работ – $E_{\text{н}} = 30$ лк;

г) Так как площадь освещения невелика ($S_{\text{л}} = 200 \text{ м}^2$) и относительно невысокий уровень нормированной освещенности ($E_{\text{н}} = 30$ лк) принимаем к установке (таблица П 4. Приложений) прожекторы типа ПЗ-35 с лампами накаливания номинальной мощностью $P_{\text{л}} = 500 \text{ Вт}$, номинальным напряжением $U_{\text{н}} = 220 \text{ В}$, коэффициентом запаса $k_3 = 1,5$ и максимальной силой света $I_{\text{с}} = 51000 \text{ кд}$.

В случае освещения больших площадей при более высоких уровнях нормируемой освещенности рекомендуется, для уменьшения количества прожекторов, что снижает трудоемкость их установки, выбирать более мощные прожекторы;

д) Рассчитываем количество прожекторов, требуемых для создания необходимой освещенности, по формуле (5):

$$n_{\text{р}} = \frac{30 \cdot 0,3 \cdot 200 \cdot 1,5}{500} = 5,4.$$

Округляем полученное значение до ближайшего большего числа, т.е. принимаем к установке $n = 6$ прожекторов;

е) Рассчитываем мощность электроосвещения, как произведение мощности одного прожектора $P_{\text{л}}$ на выбранное их количество, т.е.

$$P_{\text{в}} = P_{\text{л}} \cdot n = 500 \cdot 6 = 3000 \text{ Вт} = 3 \text{ кВт};$$

ж) Определяем минимальную высоту установки прожекторов по условию ограничения их слепящего действия по формуле (6):

$$h_{\text{min}} = \sqrt{\frac{51000}{300}} \approx 13 \text{ м},$$

т.е. прожекторы электрического освещения устанавливаем на мачтах, высота которых составляет не менее 13 м.

3.3. Определяем электрическую мощность, потребляемую электроприемниками строительной площадки, методом коэффициента спроса. Расчетные активные $P_{\text{р}}$, реактивные $Q_{\text{р}}$ и полную $S_{\text{р}}$ мощности электроприемников определяем по формулам (1) – (4).

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.

Таблица 2

Группы электроприемников	Кол-во электроприемников, шт.	Мощность одного эл. пр., кВт	Суммарная мощность, кВт	Кэфф. спроса, k_c	Кэфф. мощности, $\cos\varphi$	$\lg\varphi$	Расчетная мощность		
							Активная, P_R , кВт	Реактивная, Q_R , кВ·Ар	Полная S_R , кВ·А
I. Силовое электрооборудование									
Башенный кран	1	32,0	32,0	0,2	0,7	1,02	6,4	6,53	
Подъемник	2	10,0	20,0	0,15	0,7	1,02	3,0	3,06	
Сварочный трансформатор	3	23,0	69,0	0,35	0,6	1,34	24,15	32,36	
Вакуумный насос	1	32,0	32,0	0,7	0,8	0,75	22,4	16,8	
Насос водоплива	2	22,0	44,0	0,7	0,8	0,75	30,8	23,1	
Бетононасос	1	14,0	14,0	0,5	0,82	0,7	7,0	4,9	
Ленточный транспортер	1	7,0	7,0	0,3	0,85	0,62	2,1	1,3	
Итого:							95,85	88,05	130,1
II. Электроосвещение	6	0,5	3,0	1	1	0	3,0	0	
III. Всего по строительной площадке:							98,85	88,05	130,2
Потери мощности в распределительных электрических сетях – 5% от активной мощности:							4,94		
Итого:							103,79	88,05	136,1
Всего с учетом коэффициента совмещения максимумов нагрузки ($k_{с.м.} = 0,85$)									115,7

3.4. Выбираем тип трансформаторной подстанции в соответствии с полученной расчетной электрической мощностью объекта ($S_R = 115,7$ кВ·А).

Полученной мощности в таблице П.5. Приложений соответствует трансформатор типа ТМ160/6-10, номинальная мощность которого $S_{ном} = 160$ кВ·А, номинальным (линейным) вторичным напряжением $U_{2н} = 0,4$ кВ. При этом коэффициент загрузки выбранного трансформатора составит: $\beta = \frac{S_R}{S_{ном}} = \frac{115,7}{160} = 0,72$, что очень

близко значению коэффициента загрузки при оптимальном режиме работы трансформатора ($\beta = 0,75$). Из таблицы П.6. Приложений принимаем к установке комплектную трансформаторную подстанцию типа КТП–25–70.

3.5. Определяем месторасположение КТП, для чего:

а) Наносим на стройгенплане координатные оси, совместив их с границами строительной площадки (рис. 1);

б) Определяем координаты x_i и y_i (в соответствии с масштабом) электроприемников на стройгенплане, исходя из расстояний между осями строящегося здания. Вычисленные значения сводим в таблицу 3;

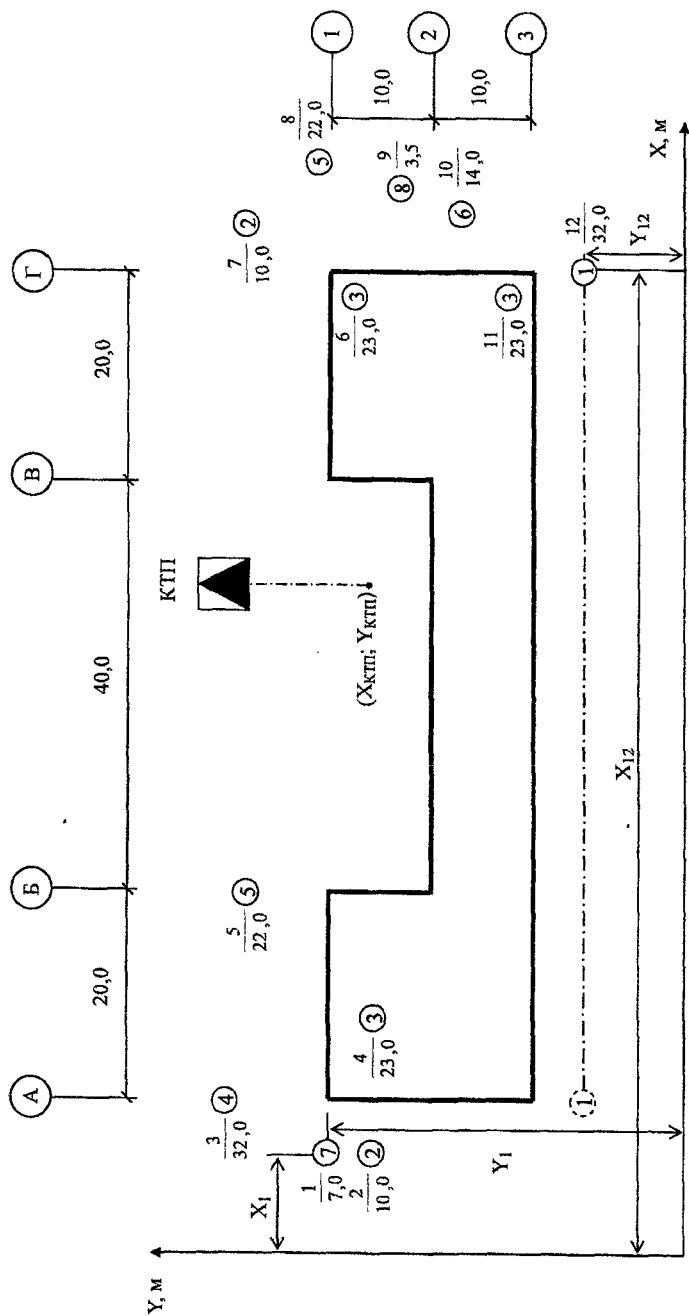


Рисунок 1 – Генеральный план строительной площадки производственного здания

Таблица 3

Координаты эл. прием. на стройгенплане, м	Номер электроприемника на стройгенплане											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x_i	10	10	15	23	35	93	100	105	103	100	93	95
y_i	35	30	45	30	43	32	46	31	28	22	17	10

в) Вычисляем координаты теоретически оптимального месторасположения КТП по формулам (6):

$$X_{\text{КТП}} = \frac{10 \cdot 7 + 10 \cdot 10 + 15 \cdot 32 + 23 \cdot 23 + 35 \cdot 22 + 93 \cdot 23 + 100 \cdot 10 + 105 \cdot 22 + 103 \cdot 3 + 100 \cdot 14 + 93 \cdot 23 + 95 \cdot 32}{7 + 10 + 32 + 23 + 22 + 23 + 10 + 22 + 3,5 + 14 + 23 + 32} = 64,7, \text{ м};$$

$$Y_{\text{КТП}} = \frac{35 \cdot 7 + 30 \cdot 10 + 45 \cdot 32 + 30 \cdot 23 + 43 \cdot 22 + 32 \cdot 23 + 46 \cdot 10 + 31 \cdot 22 + 28 \cdot 3,5 + 22 \cdot 14 + 17 \cdot 23 + 10 \cdot 32}{7 + 10 + 32 + 23 + 22 + 23 + 10 + 22 + 3,5 + 14 + 23 + 32} = 29,9, \text{ м};$$

г) Наносим рассчитанные координаты на генплан (рис.1). Оказалось, что теоретически оптимальное месторасположение КТП находится ближе 16 м от стены здания, что недопустимо при I и II степени огнестойкости здания;

д) Определяем реальное месторасположение КТП. Поскольку теоретическое месторасположение не отвечает требованиям безопасности, то изменяем его, смещая КТП по координате $Y_{\text{КТП}}$ (не изменяя координаты $X_{\text{КТП}}$) на расстояние не менее 16 м от стены здания (рис.1). Аналогично следует поступать, если расчетное месторасположение КТП окажется в пятне застройки или в зоне действия башенного крана. Смещение КТП возможно в любом направлении (исходя из реальных условий), в том числе и по другой координате.

3.6. Составляем план распределительных электрических сетей в соответствии с требованиями, указанными в п. 2.5.

Поскольку электрические сети строительной площадки прокладываются временно, то рациональнее всего выполнять их по радиальной схеме электроснабжения. При ее составлении следует учитывать, что КТП имеет возможность подключения только четырех линий. В связи с этим используем распределительные щиты (РЩ) типа СПУ-68. Для определения количества, месторасположения и типа РЩ:

а) Определяем расчетные токи электроприемников по формуле (9) и выберем номинальные токи плавких вставок предохранителей из таблицы П.7. Приложений согласно условиям (17 – 19):

Статические электроприемники:

Сварочный трансформатор:

$$I_{3P} = \frac{23}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6} = 58,3 \text{ А}, \quad I_{3 \text{ ВСТ.НОМ}} = 60 \text{ А};$$

Электроосвещение:

$$I_{8P} = \frac{3,5}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot 1} = 9,2 \text{ А}, \quad I_{8 \text{ ВСТ.НОМ}} = 10 \text{ А};$$

Динамические электроприемники с легким пуском:

Вакуумный насос установки водопонижения:

$$I_{4P} = \frac{32}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 60,8 \text{ A}, \quad I_{4 \text{ ВСТ.РАСЧ.}} = \frac{6 \cdot 60,8}{2,5} = 145,9 \text{ A}, \quad I_{4 \text{ ВСТ.НОМ}} = 150 \text{ A};$$

Насос водоотлива:

$$I_{5P} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 41,8 \text{ A}, \quad I_{5 \text{ ВСТ.РАСЧ.}} = \frac{6 \cdot 41,8}{2,5} = 101,2 \text{ A}, \quad I_{5 \text{ ВСТ.НОМ}} = 120 \text{ A};$$

Бетононасос:

$$I_{6P} = \frac{14}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 25,6 \text{ A}, \quad I_{6 \text{ ВСТ.РАСЧ.}} = \frac{6 \cdot 25,6}{2,5} = 63,8 \text{ A}, \quad I_{6 \text{ ВСТ.НОМ}} = 80 \text{ A};$$

Динамические электроприемники с тяжелым пуском:

Подъемник:

$$I_{2P} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,7} = 21,7 \text{ A}, \quad I_{2 \text{ ВСТ.РАСЧ.}} = \frac{6 \cdot 21,7}{1,8} = 72,3 \text{ A}, \quad I_{2 \text{ ВСТ.НОМ}} = 80 \text{ A};$$

Ленточный транспортер:

$$I_{7P} = \frac{7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 12,5 \text{ A}, \quad I_{7 \text{ ВСТ.РАСЧ.}} = \frac{6 \cdot 12,5}{1,8} = 41,7 \text{ A}, \quad I_{7 \text{ ВСТ.НОМ}} = 50 \text{ A};$$

Башенный кран:

Кран имеет в составе электропривода пять электродвигателей (Примечание таблицы П.1. Приложений), используемых:

- В механизме подъема груза – асинхронный трехфазный двигатель с фазным ротором мощностью $P_{\text{НОМ}} = 17 \text{ кВт}$ и током $I_{\text{НОМ}} = 37,8 \text{ А}$;
- В механизме передвижения крана - аналогичный двигатель мощностью $P_{\text{НОМ}} = 6,5 \text{ кВт}$ и током $I_{\text{НОМ}} = 18 \text{ А}$;
- В механизме поворота стрелы - двигатель мощностью $P_{\text{НОМ}} = 3,5 \text{ кВт}$ и током $I_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ А}$;
- В механизме подъема стрелы - двигатель мощностью $P_{\text{НОМ}} = 2,8 \text{ кВт}$ и током $I_{\text{НОМ}} = 7,6 \text{ А}$;
- В механизме передвижения грузовой тележки - двигатель мощностью $P_{\text{НОМ}} = 2,2 \text{ кВт}$ и током $I_{\text{НОМ}} = 6,6 \text{ А}$.

Защиту крана, как многодвигательного электроприемника, выбираем по пиковому току, т.е. по условию (19):

$$I_{1 \text{ ВСТ.РАСЧ.}} = \frac{(18+10,5+7,6+6,6)+6 \cdot 37,8}{1,8} = 149,7 \text{ A}, \quad I_{1 \text{ ВСТ.НОМ}} = 150 \text{ A};$$

б) Разбиваем электроприемники объекта на группы, исходя из их взаимного расположения на генплане (рис. 1) и выбираем количество и типы РЩ.

В нашем случае рационально разбиение электроприемников на две группы с подключением их к двум РЩ.

В результате к РЩ-1 оказались подключены пять электроприемников: ленточный транспортер - №1 на генплане (предохранитель - номинальный ток плавкой вставки 50 А); подъемник - №2 (80 А); вакуумный насос установки водопонижения - №3

(150 А); сварочный трансформатор - №4 (60 А); насос водоотлива - №5 (120 А). Для этой группы по таблице П.6. Приложений выбираем распределительный шкаф типа СПУ-68-9 на семь групп предохранителей (5 x 100 + 2 x 250 А). При этом две группы (2 x 100) остаются в резерве.

К РЩ-2 подключаются семь электроприемников: сварочный трансформатор - №6 (60 А); подъемник - №7 (80 А); насос водоотлива - №8 (120 А); электроосвещение - №9 (10 А); бетононасос - №10 (80 А); сварочный трансформатор - №11 (60 А); башенный кран - №12 (150 А). Принимаем к установке для этой группы распределительный шкаф типа СПУ-68-8 на восемь групп предохранителей (2 x 60 + 4 x 100 + 2 x 250 А). При этом одна группа (1 x 60 А) останется в резерве;

в) Определяем расчетные токи и выбираем номинальные токи плавких вставок предохранителей защиты КТП со стороны низшего напряжения по условию (19):

- для отходящей к РЩ-1 линии:

$$I_{РЩ1\text{ ВСТ.РАСЧ.}} = \frac{(12,5+21,7+41,8+58,3)+6 \cdot 60,8}{2,0} = 249,5 \text{ А}, \quad I_{РЩ1\text{ ВСТ.НОМ}} = 250 \text{ А};$$

- для отходящей к РЩ-2 линии:

$$I_{РЩ2\text{ ВСТ.РАСЧ.}} = \frac{[58,3+21,7+9,2+25,6+58,3+(37,8+18+10,5+7,6+6,6)]+6 \cdot 41,8}{2,0} = 235,2 \text{ А},$$

$$I_{РЩ2\text{ ВСТ.НОМ}} = 250 \text{ А};$$

г) Составляем план распределительных электрических сетей (рис. 2) строительной площадки.

3.7. Составляем принципиальную схему электроснабжения (рис.3) строительной площадки.

При составлении схемы учитываем каталожную комплектацию КТП и РЩ, указанную в Приложениях 5 – 7, а именно:

- схема соединения обмоток трансформаторов 0 группы – У/У₀, 11 группы – Δ/У;
- для отключения отходящих линий и трансформатора со стороны сборных шин 0,38/0,22 кВ КТП комплектуются трехполюсными рубильниками типа Р-40;
- защита КТП от токов КЗ со стороны высшего напряжения осуществляется предохранителями типа ПК-10(6), со стороны низшего напряжения - предохранителями типа ПН-2;
- для организации учета потребления электрической энергии в КТП установлены трансформаторы тока типа ТК-20 и счетчик активной энергии;
- контроль нагрузки трансформатора производится с помощью амперметра, включенного в линию через трансформатор тока;
- напряжение со стороны низшего напряжения контролируется при помощи вольтметра;
- отключение РЩ от отходящих линий осуществляется трехполюсными рубильниками типа Р-40, отключение электроприемников от РЩ - трехполюсными рубильниками типа Р-25.

3.8. Определяем сечение электрических линий для трех наиболее удаленных от РЩ электроприемников, в нашем случае это: башенный кран №12, на стройгенплане длина линии от РЩ-2 до которого, с учетом длины кранового пути, составляет 116 м;

подъемник №2 - длина линии от РЩ-1 составляет 23 м; сварочный трансформатор №11 - длина линии от РЩ-2 составляет 19 м. Принимаем к прокладке сетей электроснабжения строительной площадки кабели с алюминиевыми жилами в пластмассовой изоляции типа АВВГ.

1) Определяем сечение электрической линии к башенному крану:

а) По условию нагрева (I), такой нагрузке ($I_{12P} = I_{1P} = 80,5 \text{ A}$) в таблице П.8. Приложенной соответствует сечение $3 \times 35 + 1 \times 16 \text{ мм}^2$;

б) Проверим сечение кабельной линии к крану по условию отклонения напряжения (12), принимая удельное активное сопротивление алюминиевых проводников (табл. П.7. Приложений), равным $0,92 \text{ Ом/км}$, реактивное - $0,06 \text{ Ом/км}$:

$$\Delta U_{12} = \frac{32 \cdot 0,92 \cdot 0,116 + 32 \cdot 1,02 \cdot 0,06 \cdot 0,116}{10 \cdot 0,38^2} = 2,5\% < 5\%, \text{ т.е. выбранное сечение}$$

удовлетворяет условиям нагрева и отклонения напряжения.

2) Определяем сечение электрической линии к подъемнику:

а) По условию нагрева ($I_{2P} = 21,7 \text{ A}$) выбираем сечение - $3 \times 4 + 1 \times 2,5 \text{ мм}^2$, имеющее удельное активное сопротивление жил - $7,9 \text{ Ом/км}$, реактивное - $0,06 \text{ Ом/км}$;

б) Проверим сечение кабельной линии к подъемнику по условию отклонения напряжения:

$$\Delta U_2 = \frac{10 \cdot 7,9 \cdot 0,023 + 10 \cdot 1,02 \cdot 0,06 \cdot 0,023}{10 \cdot 0,38^2} = 1,3\% < 5\%, \text{ т.е. выбранное сечение удов-}$$

летворяет условиям нагрева и отклонения напряжения.

3) Определяем сечение электрической линии к сварочному трансформатору:

а) По условию нагрева ($I_{1P} = 58,3 \text{ A}$) выбираем сечение - $3 \times 25 + 1 \times 10 \text{ мм}^2$, имеющее удельное активное сопротивление жил - $1,28 \text{ Ом/км}$, реактивное - $0,06 \text{ Ом/км}$;

б) Проверим сечение кабельной линии к сварочному трансформатору по условию отклонения напряжения:

$$\Delta U_{11} = \frac{23 \cdot 1,28 \cdot 0,019 + 23 \cdot 1,34 \cdot 0,06 \cdot 0,019}{10 \cdot 0,38^2} = 0,4\% < 5\%, \text{ т.е. выбранное сечение}$$

удовлетворяет условиям нагрева и отклонения напряжения.

4) На плане распределительных электрических сетей (рис. 2) указываем марку кабелей, выбранных для подключения электроприемников, соответствующую их длину и отклонения напряжения.

5) На принципиальной схеме электроснабжения (рис. 3) указываем марку кабелей, выбранных для подключения электроприемников.

КТП-25-70(ТМ160/6-10)

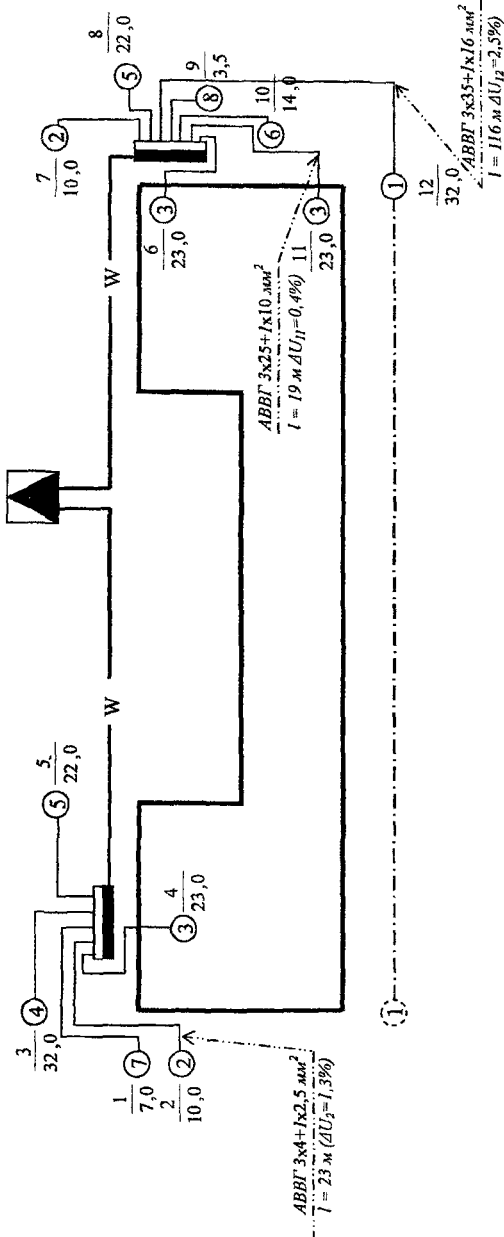


Рисунок 2 – План распределительных электрических сетей строительной площадки производственного здания

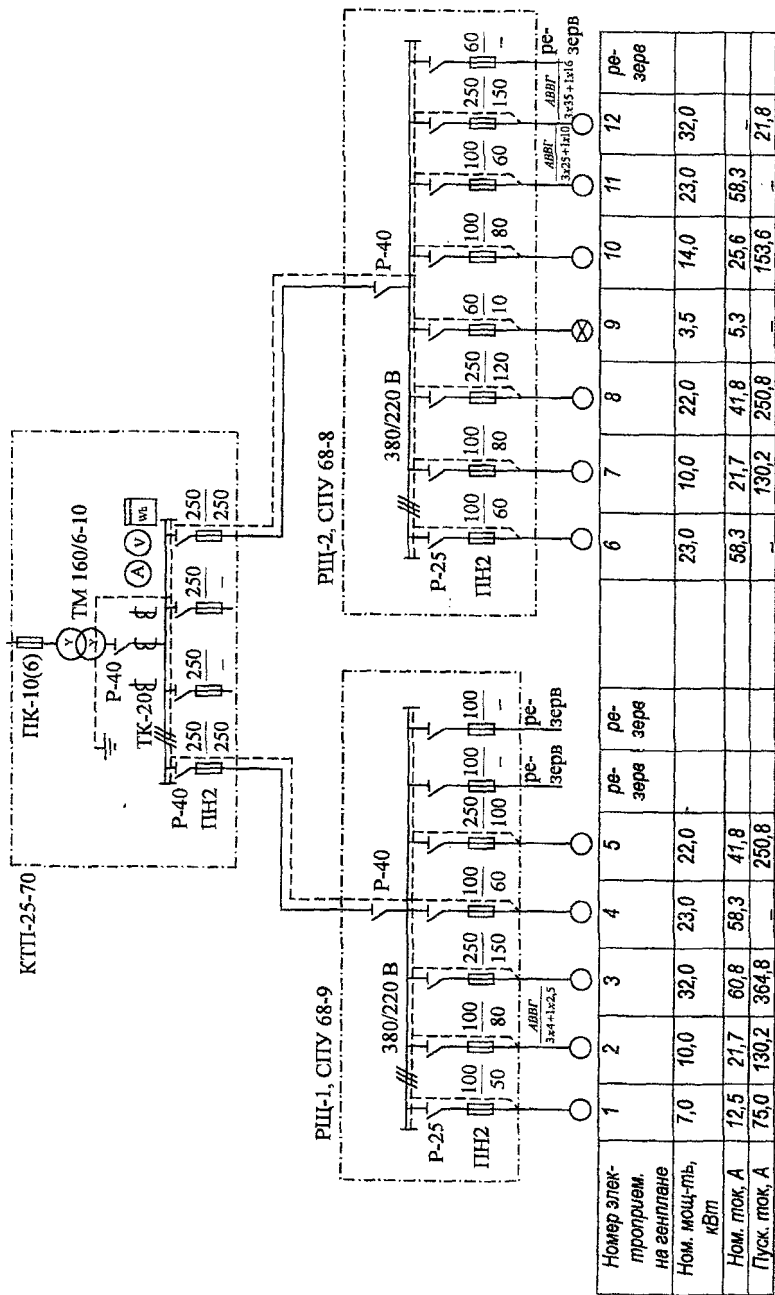


Рисунок 3 – Принципиальная схема электроснабжения строительной площадки

Приложения

Приложение 1. Технические данные электрооборудования стройплощадок.

Таблица П.1

Номер элект. прием. на ген-ген-плане	Наименование электроприемника	Установленная мощность, P_u , кВт	Коеффициент спроса, k_c	Коеффициент мощности, $\cos \varphi$	Коеффициент реактивной мощности, $\tan \varphi$
1	Башенный кран *	32,0	0,2	0,7	1,02
2	Подъемник	10,0	0,15	0,7	1,02
3	Сварочный трансформатор	23,0	0,35	0,6	1,34
4	Вакуумный насос водопонижения	32,0	0,7	0,8	0,75
5	Насос водоотлива	22,0	0,7	0,8	0,75
6	Бетононасос	14,0	0,5	0,82	0,7
7	Ленточный транспортер	7,0	0,3	0,85	0,62
8	Электроосвещение	Согласно расчету	1,0	1,0	0
9	Установка прогрева бетона	43,0	0,65	0,7	1,02
10	Штукатурная станция *	21,0	0,4	0,88	0,54
11	Малярная станция *	34,0	0,4	0,86	0,59
12	Машина для подачи раствора	7,5	0,5	0,7	1,02
13	Машина для подогрева и подачи мастики на кровлю	60,0	0,5	0,95	0,33
14	Агрегат смесительно-штукатурный	5,3	0,4	0,85	0,82
15	Уплотнитель бетона вибрационный	5,5	0,4	0,45	1,99
16	Виброосгружатель	59,0	1,0	0,5	1,73
17	Компрессор	17,0	0,7	0,8	0,75

Примечание: Номинальное напряжение всех (кроме электроосвещения $U_{остн} = 220$ В) электроприемников $U_n = 380$ В. Электроприемники, отмеченные *, являются многодвигательными, т.е. имеют несколько электродвигателей для привода различных механизмов:

Башенный кран:

- Привод механизма подъема груза – асинхронный трехфазный двигатель с фазным ротором (АДф) номинальной мощностью $P_{ном} = 17$ кВт и номинальным током $I_{ном} = 37,8$ А;
- Привод механизма передвижения крана - АДф мощностью $P_{ном} = 6,5$ кВт и током $I_{ном} = 18$ А;
- Привод механизма поворота стрелы - АДф мощностью $P_{ном} = 3,5$ кВт и током $I_{ном} = 10,5$ А;
- Привод механизма подъема стрелы - АДф мощностью $P_{ном} = 2,8$ кВт и током $I_{ном} = 7,6$ А;
- Привод механизма передвижения грузовой тележки - АДф мощностью $P_{ном} = 2,2$ кВт и током $I_{ном} = 6,6$ А;

Штукатурная станция:

- Привод насоса - асинхронный трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором (АДк) номинальной мощностью $P_{ном} = 15$ кВт и номинальным током $I_{ном} = 31$ А;
- Привод механизма передачи - АДк мощностью $P_{ном} = 3,5$ кВт и током $I_{ном} = 9,8$ А;
- Привод компрессора - АДк мощностью $P_{ном} = 2,5$ кВт и током $I_{ном} = 6,7$ А;

Малярная станция:

- Привод смесителя - АДк мощностью $P_{ном} = 3$ кВт и током $I_{ном} = 9$ А;
- Привод жерновой краскотерки - АДк мощностью $P_{ном} = 5,5$ кВт и током $I_{ном} = 16$ А;
- Привод мелотерки - АДк мощностью $P_{ном} = 5,5$ кВт и током $I_{ном} = 16$ А;
- Привод насоса - АДк мощностью $P_{ном} = 1,5$ кВт и током $I_{ном} = 3,6$ А;
- Привод вибросита - АДк мощностью $P_{ном} = 0,5$ кВт и током $I_{ном} = 1,4$ А;
- Привод клеваарки - АДк мощностью $P_{ном} = 4$ кВт и током $I_{ном} = 12,5$ А;
- Привод компрессора - АДк мощностью $P_{ном} = 14$ кВт и током $I_{ном} = 28$ А.

Приложение 2. Значение коэффициента светотдачи t некоторых прожекторов.

Таблица П.2

Тип лампы	Тип прожектора	Ширина освещаемой площади, м	Значение коэффициента t		
			При нормируемой освещенности E_n , до 2,0 лк	При нормируемой освещенности E_n , 2,0+30,0 лк	При нормируемой освещенности E_n , свыше 30,0 лк
Накаливания	ПЗ	до 150	0,9	0,3	0,9
То же	То же	150+300	0,5	0,25	0,7
ДРЛ	ПЗР	до 250	0,25	0,13	0,6
То же	То же	250+350	0,3	0,15	0,7
ДРИ	ПЗИ	до 150	0,3	0,1	0,04
То же	То же	150+350	0,16	0,06	0,03

Приложение 3. Значения минимальной освещенности E_n , нормированной СНиП для некоторых видов работ, производимых на строительных площадках.

Таблица П.3

№ п/п	Вид работ	E_n , лк
1	Немеханизированная разгрузка и погрузка стройматериалов и конструкций	2
2	Механизированная разгрузка и погрузка	10
3	Земляные и дорожные работы, забивка свай	10
4	Монтаж подкрановых путей	30
5	Монтаж стальных, железобетонных и деревянных конструкций	30
6	Установка опалубки, лесов и ограждений	30
7	Бетонирование колонн, балок и перекрытий	30
8	Кровельные работы	30
9	Сборка, пригонка и установка столярных изделий	50
10	Штукатурные работы	50
11	Стекольные работы	75
12	Отделочные работы	100

Примечание: Создание нормированной освещенности для ведения приведенных в таблице работ достигается системой общего равномерного освещения, выполненной прожекторами заливающего света (ПЗ). Более высокий уровень освещенности получают за счет максимального приближения источников света к рабочему месту. Это возможно при использовании местного (локализованного на рабочих местах) и комбинированного (совокупности общего и местного) освещений.

Приложение 4. Характеристики некоторых прожекторов заливающего света.

Таблица П.4

Тип прожектора	Лампа			Максимальная сила света прожектора J , кд
	Тип	Ном. световой поток F , лм	Ном. мощность P_n , Вт	
ПЗ-35	Накаливания	4610	300	25000
То же	То же	8300	500	40000
ПЗ-45	То же	18600	1000	130000
ПЗР	ДРЛ	25900	700	50000
То же	То же	37400	1000	135000
ПЗИ	ДРИ	59500	700	70000
То же	То же	80000	1000	150000

Примечание: 1. Номинальное напряжение ламп прожекторов $U_n = 220$ В;

2. Номинальный коэффициент мощности – $\cos \phi_n = 1,0$.

Приложение 5. Основные технические данные силовых трехфазных двухобмоточных трансформаторов.

Таблица П.5

№ п/п	Тип	Номинальная мощность $S_{ном}$, кВ·А	Группа соединения обмоток	Номинальное напряжение обмоток $U_{ном}$, кВ	
				Высшего напряжения	Низшего напряжения
1	ТМ - 25/6-10	25	11	6;10	0,4
2	ТМ - 40/6-10	40	0	6;10	0,4
3	ТМ - 63/6-10	63	0	6;10	0,4
4	ТМ - 100/6-10	100	0	6;10	0,4
5	ТМ - 160/6-10	160	0	6;10	0,4; 0,69
6	ТМ - 250/6-10	250	0	6;10	0,4; 0,69
7	ТМ - 400/6-10	400	0	6;10	0,4; 0,69
8	ТМ - 630/6-10	630	0	6;10	0,4; 0,69
9	ТМ - 1000/6-10	1000	11	6;10	0,4; 0,69
10	ТМ - 1600/6-10	1600	11	6;10	0,4; 0,69

Примечание: 1. Схема соединения обмоток трансформаторов 0 группы – Y/Y_0 , 11 группы – Δ/Y .

2. Вид охлаждения – естественная циркуляция масла и воздуха.

Приложение 6. Основные технические данные некоторых комплектных передвижных трансформаторных подстанций для наружной установки.

Таблица П.6

№ п/п	Тип	Номинальное напряжение, $U_{ном}$, кВ	Трансформаторы	
			Тип	Кол-во
1	КТП - 25 - 70 и КТП - 70 - 160	6; 10	ТМ - 25 ÷ ТМ - 160	1
2	КТП - 400	6; 10	ТМФ - 400	1,2
3	КТП - 70 - 250	6; 10	ТМ - 250	1
4	КТПН - 630	6; 10	ТМ - 630	1,2
5	КТПН - 1000	6; 10	ТМ - 1000	1,2
6	СКТП - 35	35/6 - 10	ТМ - 630; ТМ - 1600	1,2

Примечание: 1. Ввод высокого напряжения и выводы низкого напряжения выполнены воздушным способом;

3. Для отключения отходящих линий и трансформатора со стороны сборных шин 0,38/0,22 кВ КТП комплектуются трехполюсными рубильниками типа Р-40;
4. Защита КТП от токов КЗ со стороны высшего напряжения осуществляется предохранителями типа ПК-10(6), со стороны низшего напряжения - предохранителями типа ПН-2;
5. Для организации учета потребления электрической энергии в КТП установлены трансформаторы тока типа ТК-20 и счетчик активной энергии;
6. Контроль нагрузки трансформатора производится с помощью амперметра, включенного в линию через трансформатор тока;
7. Напряжение со стороны низшего напряжения контролируется при помощи вольтметра.

Приложение 7. Технические данные силовых распределительных шкафов типа СПУ – 68.

Таблица П.7.

№ п/п	Тип	Номинальный ток аппарата ввода, А	Число отходящих линий x номинальный ток линии
1	СПУ68 - 1	250	5 x 60
2	СПУ68 - 2	250	2 x 60 + 3 x 100
3	СПУ68 - 3	250	5 x 100
4	СПУ68 - 4	250	4 x 250
5	СПУ68 - 5	400	8 x 60
6	СПУ68 - 6	400	4 x 60 + 4 x 100
7	СПУ68 - 7	400	8 x 100
8	СПУ68 - 8	400	2 x 60 + 4 x 100 + 2 x 250
9	СПУ68 - 9	400	5 x 100 + 2 x 250
10	СПУ68 - 10	400	6 x 250

Примечание: Отключение РЩ от отходящих линий осуществляется трехполюсными рубильниками типа Р-40, отключение электроприемников от РЩ - трехполюсными рубильниками типа Р-25;

Приложение 8. Технические данные предохранителей серий НПН и ПН2.

Таблица П.8.

№ п/п	Тип	Номинальный ток, А	
		предохранителя	Плавких вставок
1	НПН15	15	6, 10, 15
2	НПН60М	60	20, 25, 35, 45, 60
3	ПН2 - 100	100	30, 40, 50, 60, 80, 100
4	ПН2 - 250	250	80, 100, 120, 150, 200, 250
5	ПН2 - 400	400	200, 250, 300, 350, 400
6	ПН2 - 600	600	300, 400, 500, 600

Примечание: Предохранители типа ПН2 имеют фарфоровый корпус прямоугольного сечения, а предохранители НПН – стеклянный круглого сечения, вследствие чего не являются взаимозаменяемыми.

Приложение 9. Значения активных сопротивлений кабелей с алюминиевыми жилами.

Таблица П.9.

Сечение, мм ²	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Активное сопротивление, Ом/км	7,9	5,26	3,16	1,98	1,28	0,92	0,64	0,46	0,34	0,27	0,21	0,17

Приложение 10. Значения допустимых длительных токов нагрузки в кабелях с алюминиевыми жилами при воздушной прокладке.

Таблица П.10.

№ п/п	Сечение жил, мм ²	Значения токовых нагрузок, А	
		Кабели с резиновой или с пластмассовой изоляцией	Кабели с бумажной пропитанной изоляцией
1	3 x 4 + 1 x 2,5	25	-
2	3 x 6 + 1 x 4	29	-
3	3 x 10 + 1 x 6	39	45
4	3 x 16 + 1 x 10	55	60
5	3 x 25 + 1 x 10	69	75
6	3 x 35 + 1 x 16	83	95
7	3 x 50 + 1 x 25	101	110
8	3 x 70 + 1 x 35	129	140
9	3 x 95 + 1 x 35	156	165
10	3 x 120 + 1 x 35	184	200
11	3 x 150 + 1 x 50	216	230

Литература

1. Брускин, Д.Э. Электрические машины: в 2-х ч. / Д.Э. Брускин, А.Е. Зохорович, В.С. Хвостов – М.: Высш. шк., 1979.
2. Волынский, В.А. Электротехника / В.А. Волынский, Е.И. Зейн – М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Иванов, И.И. Электротехника / И.И. Иванов, В.С. Равдоник – М.: Высш. шк., 1984.
4. Касаткин, А.С., Немцов Н.В. Электротехника. – М.: Высш. шк., 2000.
5. Кузнецов, В.С. Электроснабжение и электроосвещение городов: учеб. пособие. – Мн.: Высш. шк., 1989.
6. Москаленко, В.В. Справочник электромонтера. – М.: ПрофОбрИздат, 2002.
7. Рекус, Г.Г. Электрооборудование производств: справ. пособие/ Г.Г. Рекус. – М.: Высш.шк., 2007.
8. Справочник электромонтера строительной площадки / В.И. Гайдукевич, Я.В. Гайдукевич – М.: Изд-во АСВ, 2003.
9. Таги-заде, Ф.Г. Энергоснабжение городов: учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1980.
10. Тополянский, А.Б. Электроустановки строительных площадок и вопросы электробезопасности. – Л.: Изд-во лит-ры по строительству, 1971.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители:

Игорь Михайлович Панасюк
Тамара Васильевна Тромзаа
Владимир Иванович Горбачук

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по выполнению электротехнических расчетов
с примерами решения типовых задач
для студентов неэлектротехнических специальностей
очной и заочной форм обучения.

Часть 3. Электроснабжение.

Ответственный за выпуск: Панасюк И.М.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано к печати 28.06.2010 г. Формат 60x84 1/16. Усл. п. л. 2,56. Уч. изд. л. 2,75. Заказ № 708. Тираж 100 экз. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.