МИНИCТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ**

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ДГТУ)**

**В.Н. Черкасов, В.И. Зыков, А.Н. Петренко, В.Е. Мереняшев**

**ЛЕКЦИЯ № 6**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Пожарная безопасность электроустановок»**

Специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность»

Ростов-на-Дону

2022

**Учебные вопросы**

**1. Пожарная безопасность электрических сетей:**

**2.Противопожарная защита электрических сетей при проектировании.**

**3.Противопожарная защита электрических сетей при монтаже и эксплуатации.**

**Учебный вопрос №1: Нагрев проводников электрическим током**

**Пожарная безопасность электрических сетей определяется рядом факторов:** соответствием марки проводника и способа прокладки характеру и свойствам окружающей среды, в том числе и ее пожаровзрывоопасности; соответствием сечения проводников токовой нагрузке; выбором номинальных параметров аппаратов защиты от токов перегрузки и коротких замыканий; соблюдением требований мон-тажа, эксплуатации и т.д.

Важным фактором обеспечения пожарной безопасности электриче-ских сетей является допустимый нормами уровень нагрева проводников. Температура проводника, длительное время не находящегося под нагрузкой током, равна температуре окружающей среды. Если такой проводник нагрузить током неизменной величины I, его температура начнет увеличиваться и постепенно достигнет установившейся величины tу, соответствующей току I.

Для длительного режима работы, при котором допускаемый нагрев проводников обычно невелик, можно без заметной погрешности считать, что сопротивление проводника и коэффициент теплопроводности – величины постоянные. Но при увеличении температуры проводника увеличивается и его сопротивление. Следовательно, увеличивается и количество выделяющегося в нем тепла, хотя ток остается неизменным. Однако при повышении температуры проводника увеличивается перепад между температурой проводника и температурой среды, а это улучшает способность поверхности проводника рассеивать тепло (повышает коэффициент теплопроводности). В итоге увеличение количества выделяющегося тепла в определенной мере компенсируется увеличением теплоотдачи. При этих условиях установившееся превышение температуры проводника зависит только от тока и может быть определено выражением

*t*у *= t*у.н(*I/I*доп)*2*, (4.5)

где *t*у.н – допустимое превышение температуры, принятое по нормам ПУЭ для расчета длительно допустимого тока *I*доп, °С; *I* – фактический ток, А.

Допустимое превышение температуры, принятое в ПУЭ при вычислении *I*доп, определяется по формуле

*t*у.н = *t*ж.н – *t*ср.н, (4.6)

где *t*ж.н – длительно допустимая температура жил проводников по нормам, °С; *t*ср.н – расчетная температура среды по нормам, °С.

Чтобы обеспечить нормальный режим работы провода или кабеля, соединительных контактов и изоляции, а также пожарную безопасность, нагрев проводников ни при каких условиях не следует допускать выше температур, указанных в табл. 4.1. Нагрев проводников должен соответствовать данным табл. 4.1, даже и в том случае, когда расчетом установлено, что относительное старение изоляции за весь рассматриваемый период не выходит за пределы допустимого (не превышает единицы). При больших температурах могут быстро ухудшаться контакты, что обусловливает значительные переходные сопротивления и недопустимо большие местные нагревы. Все это приводит к резкому снижению механической прочности проводников, их устойчивости к КЗ, порче изоляции и ее воспламенению.

Таблица 4.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вид и материал проводника** | **Длительно допустимая температура жил по нормам *t*ж.н, °С** | **Кратковременно допустимая температура жил при перегрузках *t*п, °С** | **Максимально допустимое превышение температуры жил по нормам при токе КЗ*t*у.н, °С** | |
| Шины и голые провода:  медные  алюминиевые  Кабели с бумажной пропитанной изоляцией при напряжении:  до 3 кВ  до 6 кВ  до 10 кВ  Кабели и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией | 70  70  80  65  60  65 | 125  125  125  100  90  110 | 300  200 | |
| С медными жилами | С алюминиевыми жилами |
| 200  200  200  150 | 150  150  200  150 |

Таблица 4.2

|  |  |
| --- | --- |
| **Место прокладки проводника** | **Температура среды по ПУЭ,°С** |
| Открытая и защищенная прокладка проводов, кабелей и шин в воздухе (внутри помещений)  Один кабель с бумажной изоляцией при прокладке непосредственно в земле с удельным сопротивлением 120 Ом⋅см (тепловых)  То же, в земле (в трубах)  Кабели с бумажной изоляцией независимо от их числа при прокладке непосредственно в воде | 25  15  25  15 |

**Пожарная опасность короткого замыкания**

**в электрических сетях**

Короткие замыкания в принципе возможны во всех электроустанов-ках, в цепях или узлах которых протекает электрических ток. В параграфе 1.3 приведены причины, приводящие к коротким замыканиям в различных электроустановках.

В подавляющем большинстве случаев в результате коротких замыканий возникают токи, во много раз превышающие номинальные значения. Несмотря на кратковременность режимов коротких замыканий (секунды или доли секунды), а, следовательно, и кратковременность протекания токов короткого замыкания, они во многих случаях способны вызвать как пожар электроустановки, так и пожар на объекте за счет обильного выделения тепла раскаленными проводниками или раскаленными частицами металла расплавленных проводников.

В проводнике при протекании по нему постоянного электрического тока теряется мощность

P = I2R, (4.15)

где I – действующий ток; R – сопротивление проводника.

При постоянном токе R = р(l/S), где р – удельное сопротивление проводника, l, S – соответственно длина и поперечное сечение проводни-ка.

**Учебный вопрос №2: Противопожарная защита электрических сетей**

**при проектировании**

Внутрицеховые сети напряжением до 1000 В рассчитывают главным образом на допустимый ток по условиям нагревания проводников и на допустимую потерю напряжения. Такие расчеты необходимы для предупреждения опасного перегрева проводников, т.е. для создания условий пожарной безопасности и обеспечения электроприемников электроэнергией надлежащего качества. По экономической плотности тока проводники таких сетей не проверяются.

Из двух сечений, определенных указанными расчетами, принимается большее. Принятое сечение должно быть не меньше сечения, регламентированного условиями механической прочности для данных условий прокладки. Без этого не может быть гарантирована не только пожарная безопасность, но и электробезопасность электрических сетей, осветительной или силовой установки в целом.

При проектировании электрических сетей одновременно с выбором минимально допустимого сечения проводников выбирают номинальные параметры аппаратов защиты.

**Расчет сетей по условиям нагрева. Выбор аппаратов защиты**

**Защита электрических сетей плавкими предохранителями.** При выборе сечения проводников сетей и номинальных токов плавких вставок предохранителей необходимо соблюдение следующих правил.

**Правило 1.** Для осветительных сетей номинальный ток плавкой вставки предохранителя во всех случаях должен быть больше или равен рабочему току, т.е.

Iн.вст ≥ Iр. (4.22)

**Правило 2**. Для осветительных сетей, не подлежащих обязатель-ной защите от токов перегрузки, номинальный ток плавкой вставки предохранителя должен быть меньше или равен длительно допустимому току для выбираемого сечения, т.е.

Iн.вст ≤ Iдоп. (4.23)

Для силовых сетей характерны электроприемники со значительными пусковыми токами, превышающими их номинальные токи в 4-8 раз (например, у асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором). Пусковой ток электродвигателя при разгоне ротора падает в течение 10 сдо рабочего тока при легком пусковом режиме (электродвигатели металлообрабатывающих станков, вентиляторов, насосов и т.п.) и в течение 40 с – при тяжелом пусковом режиме (электродвигатели центрифуг, дробилок, транспортерных устройств, кранов и т.п.). В то же время (см. параграф 3.1) плавкий элемент вставки должен, не расплавляясь, выдерживать ток, равный (1,3—1,6) Iн.вст в течение 1 ч.

Таким образом, в силовых сетях выбор Iн.вст следует производить по правилу 3.

**Правило 3**. В силовых или смешанных сетях номинальный ток плавкой вставки должен быть больше или равен максимальному кратко-временному току, протекающему через предохранитель, деленному на коэффициент α, т.е.

Iн.вст ≥ Iмакс/α, (4.24)

где Iн.вст – расчетная величина номинального тока плавкой вставки, А;  – коэффициент, зависящий от режима перегрузки предохранителя, его типа и условий пуска электродвигателей. Значения  приведены в табл. 4.3; Iмакс – наибольшая величина кратковременного тока, протекающего через предохранитель (зависит от вида защищаемой сети), А.

табл. 4.3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Типы и марки предохранителей** | | **Материал вставки** | **Рекомендуемые значения** | |
| **для легких условий пуска электродвигателя и самозапуска его при холостом ходе аппарата** | **для тяжелых условий пуска электродвигателя и самозапуска его при нагруженном аппарате** |
| Инерционные | Ц-27, Ц-33 при  *I*н.вст≤ 35 А, СПО и ПТ | Свинец  Медь | Выбирают только по правилу 1 *I*н.вст≥*I*р | 3,75 |
| Малоинерционные | ПР-2, П при *I*н.вст≥ 35 А | Цинк  Медь | 3 | 2 |
| Безынерционные | Ц-33 при *I*н.вст= 60 А;  КП, НПН, НПР, П  при *I*н.вст< 35 А | Серебро  Медь | 2,5 | 1,6 |
| Быстродействующие | ПНБ-2 | | По номинальному току электроприемника | |

**Правило 4.** Допустимый длительный ток провода или кабеля должен быть равен рабочему току электроприемников или большем его, т.е.

Iдоп ≥ Iр. (4.29)

**Особенности выбора сечений проводников сетей, подлежащих обязательной защите от перегрузки**. Защите от токов перегрузки подлежат:

сети внутри помещений с открыто проложенными незащищенными проводами с наружными горючими оболочкой или изоляцией, а также выполненные защищенными проводниками, проводниками, проложенными в трубах, несгораемых строительных конструкциях и т.п.

осветительные сети в жилых и общественных зданиях, торговых по-мещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников, а также в пожароопасных зонах;

силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и обще-ственных зданиях, торговых помещениях в случае, когда по условиям технологического процесса или режиму работы может возникать длительная перегрузка проводов и кабелей;

сети всех видов во взрывоопасных зонах (за исключением зон 2(В-Iб) и 2(В-Iг)) независимо от условий технологического процесса или режима работы. Во всех остальных случаях сети защищаются лишь от токов КЗ.

**Учебный вопрос №3. Противопожарная защита электрических сетей при монтаже и эксплуатации**

Электрические сети могут быть причиной аварий, несчастных случаев и пожаров, если в процессе их монтажа не выполняются необходимые технические условия или нарушаются условия нормальной эксплуатации и ремонта. Требования к электромонтажным работам определяются действующими ПУЭ, инструкциями по монтажу и техническими условиями на приемку электромонтажных работ ,а также ГОСТы Р. В основе указанных требований лежит строгое соблюдение соответствия проекту монтируемых проводов, кабелей, сечений токопроводящих жил и видов электропроводок. Особенно это важно при монтаже электрических сетей взрывоопасных зон: совершенно недопустимо производить самостоятельно (или с согласия заказчика) какую-либо замену конструкций сети; любая замена обязательно должна согласовываться с проектной организацией.

Так как на промышленных предприятиях широко применяется прокладка кабелей и проводов на лотках и в коробах, то для исключения горения по трассе электрической сети используют различные огнепреградительные устройства. Эти устройства, выполняемые в виде *поясов и перегородок из огнезащитного материала*, располагают по длине трассы, а также в местах ее прохода через стены и перекрытия. Эффективность таких устройств выявляют в процессе испытаний, при которых определяется их предел огнестойкости.

Следует отметить, что существующие в проектно-эксплуатационной практике конструктивные решения по устройству мест прохода электрической сети через стены и перекрытия не всегда препятствуют распространению огня.

Анализ результатов испытаний показал, что на величину предела огнестойкости определенное влияние оказывает сечение токопроводящих жил кабеля: чем больше сечение жил, тем меньше предел огнестойкости.

При переходе кабелей и проводов через перекрытие они находятся в худших температурных условиях, чем при переходе через стену. Из-за того, что перекрытие имеет небольшую толщину, затрудняется защита проходящих через него кабелей и проводов. Положительный результат в этом случае был достигнут за счет дополнительного покрытия выходящих из перекрытия участков кабелей составом ОПК на длину не менее 0,1 м. Предел огнестойкости при этом повышается в два раза.

Таким образом, испытания показали, что:

на вероятность пожара от кабелей и проводов оказывает влияние наличие огнезащитных поясов и перегородок;

применение огнезащитных поясов менее эффективно, чем перегородок;

эффективность огнезащитных свойств поясов зависит от их длины;

с увеличением длины пояса и толщины перегородки скорость распространения горения уменьшается;

применение огнезащитной перегородки уменьшает скорость распространения горения по кабелям и проводам по сравнению с поясами длиной 2,0 м на два порядка (более чем в 118 раз);

предел огнестойкости огнепреградительной перегородки при проходе кабелей пучком через перекрытия по сравнению со стеной несколько снижается;

повышение предела огнестойкости возможно путем покрытия огнезащитным составом выходящих из перегородки участков кабелей и проводов на длине не менее 0,1 м;

применение для огнепреградительной перегородки материалов с коэффициентом теплопроводности 0,5-0,3 Вт⋅м-1⋅ К-1 при небольших перегрузках приводит к перегреву изоляции кабелей и проводов и повышению скорости ее старения.

Электропроводка во взрывоопасных зонах должна монтироваться особенно тщательно и надежно. Во взрывоопасных зонах всех классов наиболее надежной является электропроводка в стальных водогазопроводных трубах с соответствующим антикоррозийным покрытием. Такие проводки являются взрывонепроницаемыми или повышенной надежности против взрыва.

Для ответвлений и соединений проводов и кабелей, для протягивания проводов в стальных трубах должны применяться взрывозащищенные коробки серии КВП (пластмассовые) или В (чугунные, например: КПП – проходная прямая; КТО – тройниковая ответвительная; КПЛ – проходная разделительная для локальных испытаний и др.).

Необходимо исключить возможность распространения взрывоопасных смесей в невзрывоопасные помещения или наружу через неплотности заделки проходов или образующиеся усадочные трещины

Проходы кабелей сквозь стены, перегородки и перекрытия следует выполнять через заделанные в них отрезки труб с уплотнением концов труб составом УС-65 (рис. 4.10). При этом в зонах класса 1 уплотнение выполняют по обе стороны прохода, а в зонах классов 2 – только со стороны взрывоопасной зоны более высокого класса; в зонах одного класса – со стороны зоны, содержащей взрывоопасные смеси более высокой категории и группы.

Состояние изоляции электрических сетей определяют измерением сопротивления при текущих ремонтах, но не реже одного раза в три года. Для измерения сопротивления изоляции силовых и осветительных сетей напряжением до 500 В используют мегомметры на 1000 В. Сопротивление изоляции сетей на участке между двумя смежными предохранителями, за последними предохранителями, между любыми проводами и землей, а также любыми двумя проводами *должно быть не менее 0,5 МОм*. Если электросеть не выдерживает эти испытания, производится испытание изоляции напряжением 1000 В промышленной частоты в течение 1 мин. Испытания изоляции сетей напряжением 1000 В промышленной частоты могут быть заменены измерением в течение 1 мин мегомметром с напряжением 2500 В.

Кроме указанных приборов, для испытания изоляции сетей повышенным напряжением можно пользоваться мегомметрами типа МС-05 и  
МС-06 напряжением 2500 В.

Перечисленные мегаомметры все еще находят применение в практике эксплуатации на старых объектах.

На объектах нового поколения широкое применение находят мегаомметры новых модификаций, часто портативных, цифровых и с широкими возможностями измерений и испытаний сетей и электротехнических изделий.

К таким приборам отечественного и зарубежного производства следует отнести мегаомметры и их технические характеристики, приведенные в табл. 4.6.

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование прибора, его тип** | **Краткие технические характеристики** |
| 1 | 2 |
| Отечественные мегаомметры | |
| Еб-24 | Цифровой мегаомметр: измерение сопротивления изоляции до 10 ГОм напряжением 500 В, 1000 В и 2500 В; напряжения сети до 400 В; автоматический расчет коэффициента абсорбации; погрешность 3%; питание аккумулятор 10…14 В, сетевой адаптер; рабочая температура –30 до +50 оС; габариты 80х120х250 мм; масса 1,2 кг |

|  |  |
| --- | --- |
| 1 | 2 |
| Еб-24/1 | Цифровой мегаомметр: измерение сопротивления изоляции до 1 ГОм напряжением 100 В, 250 В, 500 В и 1000 В; напряжения сети до 400 В; автоматический расчет коэффициента абсорбации; погрешность 3%; питание аккумулятор 10…14 В, сетевой адаптер; рабочая температура –30 до +50 оС; габариты 80х120х250 мм; масса 1,2 кг |
| Ф-4102/1-М1 | Электронный измеритель сопротивления изоляции 0…20 ГОм напряжением 100 В, 500 В или 1000 В. Класс точности 1,5. Питание 220 В/аккум. Габариты 305х125х165 мм. Масса 3 кг. |
| Ф-4102/2-М1 | Электронный измеритель сопротивления изоляции. Диапазоны: 0…50 ГОм напряжением 1000 В или 2500 В. Класс точности 1,5. Питание 220 В/аккум. Габариты 305х125х165 мм. Масса 3 кг. |
| ЭСО-202/2-Г | Мегаомметр диапазон измерения 0…10000 МОм. Выходное напряжение 500 В, 1000 В, 2500 В. Питание от встроенного генератора. Габариты 166х130х200 мм. Масса 2,2 кг. |

**В эксплуатационной практике** для повышения уровня пожаровзрывобезопасности электроустановок следует использовать многофункциональные измерители параметров электроустановок. В качестве примера следует рассмотреть измерительный прибор EurotestXE 2,5 кВ типа МI3102Н. Этот прибор сочетает в себе компактный эргономичный дизайн и полный набор функций для измерения параметров электроустановок. Прибор позволяет проводить измерение сопротивления изоляции при напряжении от 100 до 2500 В. В приборе встроена таблица характеристик предохранителей и УЗО, что обеспечивает быструю оценку результатов измерений. С помощью прибора могут быть измерены освещенность и действующее значение тока. Прибор оснащен переключателем функций. Все измерения могут быть сохранены в память прибора, основанную на 3-уровневой структуре. Прибор удовлетворяет потребности пользователя, работающего в соответствии с требованиями нормативных документов Российской Федерации. При его разработке были учтены требования главы 1.8 ПУЭ и приложения 3 ПТЭЭП. Это позволяет использовать данный прибор для испытаний силовых кабельных линий, синхронных генераторов и компенсаторов, электродвигателей переменного тока, трансформаторов тока, трансформаторов напряжения, конденсаторов, полупроводниковых устройств, вводов, проходных изоляторов, выключателей и разъединителей, короткозамыкателей, комплектных распределительных устройств, щитов и токопроводов, сборных и соединительных шин, цепей питания приводов выключателей и разъединителей, цепей управления, защиты, автоматики, телемеханики и др.

**К основным функциям измерительного прибора относятся**:

- измерение сопротивления изоляции напряжением до 2500 В;

- проверка непрерывности защитных проводников;

- измерение полного сопротивления линии и контура со встроенной таблицей характеристик предохранителя;

-автоматический расчет тока К.З.; проверка параметров УЗО;

- проверка правильности чередования фаз в трехфазных системах;

- измерение сопротивления заземления по 3-х проводной схеме; измерение и отображение напряжения в режиме реального времени;

- измерение действующего значения тока;

- измерение освещенности с помощью дополнительного датчика;

- измерение токов К.З., в том числе токов утечки, с помощью токовых клещей.