

архив

П.1:31

У-48

ВЫСШАЯ ШКОЛА МВД РСФСР

В. Н. ЧЕРКАСОВ

***Общие вопросы
пожарной
профилактики
в электроустановках***

Москва—1961

П.1: 31
4-48

ВЫСШАЯ ШКОЛА МВД РСФСР
Кафедра пожарной профилактики

Инженер-подполковник В. Н. ЧЕРКАСОВ

479/25547.
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ
ПОЖАРНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ
В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Лекция

БИБЛИОТЕКА
ФИПТ и Б ВШ
БРОШЮРНЫЙ ФОНД

Москва—1961

§ 1. ВВЕДЕНИЕ

Курс пожарной профилактики в электроустановках базируется на теоретических основах электротехники, научных исследованиях и экспериментах, проводимых научно-исследовательскими учреждениями и лабораториями, а также на практическом опыте эксплуатации электроустановок в промышленных и сельскохозяйственных производствах.

Систематические научные исследования в области пожаро- и взрывобезопасности электрооборудования проводятся в Макеевском научно-исследовательском институте (МакНИИ), Институте горного дела Академии наук СССР (ИГД АН), «Гипронисэлектрошахт», ЦНИИПО МВД РСФСР, ВНИИТБ нефтяной промышленности, ВостНИИ и т. д.

Контрольными цифрами развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 гг. предусматривается дальнейший значительный рост угольной, нефтяной, газовой, химической, металлургической и др. отраслей промышленности, являющихся крупными потребителями взрывозащищенного электрооборудования. Рост этих отраслей промышленности на базе широкой электрификации процессов производства, дальнейшего развития механизации и автоматизации основных и вспомогательных технологических процессов, внедрения новой передовой технологии требует освоения и организации массового производства новых типов взрывозащищенного электрооборудования.

В апреле 1958 г. в гор. Сталино состоялось Всесоюзное научно-техническое совещание по электрооборудованию угольных шахт, взрывоопасных помещений и сооружений. На совещании были представлены основные заводы электротехнической промышленности, 26 научно-исследовательских институтов, 51 проектный институт, крупнейшие угольные комбинаты и шахты и 247 промышленных предприятий химической, нефтяной, газовой и др. отраслей промышленности. На совещании обсуждались вопросы обеспечения промышленности новыми типами взрывозащищенного электрооборудования.

Необходимость тщательного изучения пожаро-взрывобезопасности электрооборудования при применении его в различных тех-

нологических условиях, особенно с повышенной пожарной и взрывной опасностью, определяется тем, что число пожаров от неисправных электроустановок и причиненный ими ущерб все еще недопустимо высоки.

Так, по данным ГУПО МВД, за 10 лет (1946—1955 гг.) количество пожаров, возникших в результате нарушения правил эксплуатации электрохозяйства и бытовых электроприборов, составляет в среднем 5,8%, а убытки — 9,5% от общего количества пожаров и убытков от них.

Исследования, проведенные ЦНИИПО МВД за период с 1947 года по 1958 год, показали, что пожары, возникающие в результате неисправности электроустановок или неправильной их эксплуатации, составляют в среднем 6%, а убытки от них — до 10%. Для установления конкретных причин пожаров, возникающих в электроустановках, ЦНИИПО подвергло исследованию 500 пожаров.

Исследованиями установлено, что от коротких замыканий в электрических сетях, машинах и аппаратах происходит 45,2% пожаров; от перегрева электронагревательных приборов и электроприемников, а также от загораний опорных поверхностей или окружающих материалов — 32,2%; от перегрузки электрических сетей, машин и аппаратов — 11,2%; от электрических дуг и искр, при разрыве цепи, а также от переходных сопротивлений и выноса напряжения — 4% и т. д.

По видам электроустановок пожары распределяются следующим образом:

- от электропроводок — 40% (26,8% от осветительных и 13,2% от силовых сетей);
- от электронагревательных приборов — 27,3%;
- от электродвигателей — 7,3%;
- от светильников — 4,6%;
- от пусковых и включающих аппаратов, установочных электроизделий и радиоаппаратуры — 2,8%;
- от силовых трансформаторов — 1,2% и т. д.

По видам помещений пожары от электроустановок распределяются следующим образом:

- в промышленных зданиях — 41,1%;
- в складах, базах и магазинах — 22%;
- в жилых зданиях — 24,3% и т. д.

§ 2. ТИПИЧНЫЕ ПРИЧИНЫ ПОЖАРОВ ОТ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Анализ пожаров, возникших в результате неисправностей электроустановок, приводит к выводу, что наиболее частыми причинами аварий и пожаров являются короткие замыкания, перегрузки, большие переходные сопротивления, электрические искры

и дуги. Кроме того, причиной пожара могут быть разряды статического электричества и грозовые разряды.

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ

1. Сущность явления и пожарная опасность

Токи коротких замыканий (К. З.) в современных мощных системах могут достигать огромных значений — несколько десятков и даже сотен тысяч ампер. Так, в сетях низкого напряжения промышленных предприятий величины токов при трехфазном металлическом коротком замыкании на шинах подстанции напряжением 380/220 в составляет 25—40 ка, на шинах главных цеховых силовых шкафов — 10—20 ка, на шинах вторичных силовых шкафов — 3,5—10 ка и на зажимах мелких электродвигателей (4—8 кВт) — 2 ка.

Столь значительный ток обладает электродинамическим и тепловым действием и может быть опасным для элементов электроустановок. Недостаточно прочное в механическом отношении электрооборудование может быть разрушено, а большой перегрев токоведущих частей, электрические искры и дуги могут повредить и воспламенить их изоляцию и окружающую горючую среду.

Явление коротких замыканий объясняется тем, что при эксплуатации электроустановок (сетей, машин, аппаратов и т. п.) электрическая изоляция их элементов может подвергаться агрессивному воздействию окружающей среды или механическим повреждениям, в результате электрическое сопротивление изоляции резко падает и при непосредственном соприкосновении проводников, находящихся под напряжением, или через малое сопротивление постороннего проводника ток будет переходить с проводника на проводник, минуя потребителя (в сети) или предназначенный ему путь по обмоткам машин и аппаратов (рис. 1), и цепь замкнется «накоротко», так как

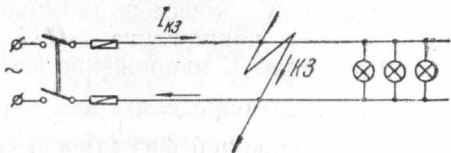


Рис. 1. Короткое замыкание на участке осветительной сети.

сопротивление проводников может быть ничтожно мало по сравнению с сопротивлением сети потребителя.

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_A - \dot{U}_C; \quad \dot{U}'_B = \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_B - \dot{U}_C$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C + (-\dot{U}_C) = 0.$$

Из векторной диаграммы на рис. 2в видно, что $U'_A = U'_B = \sqrt{3} \cdot U_A$. Угол между \dot{U}'_A и \dot{U}'_B составляет 60° .

В случае неполного замыкания на землю (через некоторое переходное сопротивление) напряжение поврежденной фазы относительно земли будет больше нуля и меньше фазного, а неповрежденных фаз — больше фазного, но меньше междуфазного (линейного). Меньше будет и ток замыкания на землю.

Повышение напряжения неповрежденных фаз относительно земли в $\sqrt{3}$ раза для изоляции сети неопасно, так как в сетях с незаземленными нейтралями изоляцию фаз относительно земли рассчитывают на линейное напряжение. Но чрезмерно длительная работа сети с замкнутой на землю фазой недопустима (хотя работа электроприемников в такой сети не нарушается), так как в случае повреждения изоляции относительно земли какой-либо другой фазы однофазное замыкание неизбежно приведет к двухфазному короткому замыканию через землю, сопровождающемуся протеканием большого тока К. З., могущего вызвать значительные разрушения электрооборудования и пожары.

Более опасно в этих сетях однофазное замыкание на землю через электрическую дугу, так как она может повредить электрооборудование и вызвать двух- или трехфазное короткое замыкание (например, при однофазном замыкании на землю одной из жил трехжильного кабеля). Особенно опасна дуга внутри машин и аппаратов при однофазных замыканиях на заземленные корпуса, когда машины и аппараты окружает пожаро- и взрывоопасная среда.

В месте замыкания на землю может возникать так называемая перемежающаяся дуга, т. е. дуга, которая периодически гаснет и зажигается вновь. Так как сеть является колебательным контуром, то при перемежающейся дуге возникают перенапряжения фаз относительно земли, величина которых может достигать $(2,5-3) U_\phi$. Эти перенапряжения распространяются на всю электрически связанную сеть, в результате чего возможны пробой изоляции и образование коротких замыканий в частях установок с ослабленной изоляцией¹.

В сетях с глухозаземленными нейтралями при замыкании на землю исключаются перемежающиеся дуги и связанные с ними перенапряжения (рис. 3).

¹ Наиболее опасны указанные дуговые перенапряжения в сетях напряжением 20—35 кВ и выше. В сетях напряжением до 1000 В дуговые перенапряжения для изоляции электрооборудования не опасны.

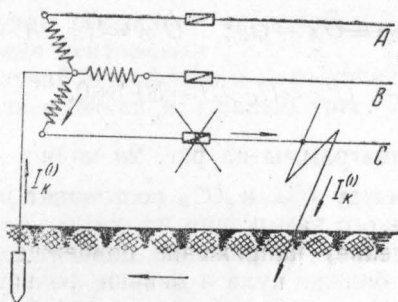


Рис. 3. Трехфазная сеть с глухо-
заземленной нейтралью.

Действительно, если в такой сети происходит замыкание на землю одной фазы, то последняя оказывается короткозамкнутой через землю и ток однофазного короткого замыкания $I_k^{(1)}$ вызывает срабатывание предохранителя или автомата и отключение поврежденного участка сети. Кроме того, при однофазном коротком замыкании напряжение неповрежденных фаз по отношению к земле не повышается, а остается равным фазному.

Таким образом, коротким замыканием называется явление, связанное с мгновенным увеличением тока в электрической цепи вследствие соединения двух или нескольких разноименных проводников, находящихся под напряжением, через малое сопротивление, не предусмотренное режимом работы данной цепи, машины или аппарата.

2. Влияние короткого замыкания на режим работы электроустановок

Следствием короткого замыкания может быть частичное или полное расстройство электроснабжения потребителей, в результате чего возможно возникновение пожаров или взрывов. Для разъяснения обратимся к рис. 4, где на диаграмме 1 показывается величина напряжения на шинах распределительного пункта РП ($U_{рп}$), трансформаторной подстанции ТП ($U_{тп}$) и станции ($U_{ст}$) при нормальном режиме работы.

В случае трехфазного короткого замыкания в точке К-1 возникает ток короткого замыкания, протекающий по генераторам электростанции и линиям Л-1 и Л-2. При этом напряжение на шинах ТП становится равным нулю, а напряжение на шинах РП ($U_{рп}^1$) и электростанции ($U_{ст}'$) значительно понижается (диаграмма 2), так как в этом случае увеличивается потеря напряжения во всех элементах цепи до места короткого замыкания (в генераторах,

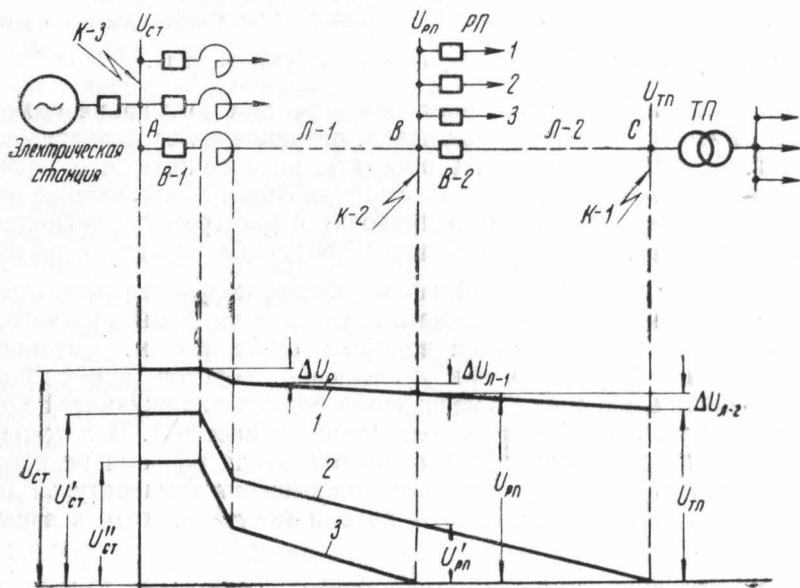


Рис. 4. Напряжения в различных точках сети при нормальном режиме и при коротких замыканиях.

в реакторе, в линиях). Кроме того, ток короткого замыкания, являясь почти чисто индуктивным током, вызывает увеличение размагничивающей реакции статора в синхронных генераторах, вследствие чего уменьшается э. д. с., наведенная в статорах генераторов. Напряжение во всех точках питающей сети будет снижено до тех пор, пока не прекратится протекание тока короткого замыкания, т. е. пока под действием релейной защиты линии не отключится выключатель В-2.

Понижение напряжения в питающей сети нарушает нормальную работу приемников электроэнергии.

Известно, что момент вращения асинхронных двигателей пропорционален квадрату подведенного к ним напряжения ($M_{дв} \propto U^2$), поэтому даже при сравнительно небольшом понижении напряжения $M_{дв}$ может оказаться недостаточным для работы механизма (станка, аппарата и т. д.), и электродвигатель остановится. Так, если при коротком замыкании в точке К-1 напряжение окажется очень малым, то не исключена возможность остановки электродвигателей, питающихся от других, неповрежденных линий РП (1, 2, 3).

Пример. Если при коротком замыкании напряжение на зажимах электродвигателя $U'_{н}$ понизилось по сравнению с номинальным $U_{н}$ на 30%, то $M'_{дв}$ при $U'_{н} = 0,7 U_{н}$ будет составлять 0,49 от $M_{дв}$ при $U_{н}$ ($M'_{дв} = 0,49 M_{дв}$). Если отноше-

ние $\frac{M_{\text{дв}}}{M_{\text{н}}} = 2$, то теперь оно будет $\frac{M_{\text{дв}}}{M_{\text{н}}} = 0,49 \cdot 2 = 0,98$. Следовательно, электродвигатель не сможет нести даже номинальную нагрузку на валу.

Если понижение напряжения при коротком замыкании сравнительно невелико, то электродвигатели, питающиеся от неповрежденных линий, будут продолжать работать, но с пониженным числом оборотов. На некоторых производствах значительное снижение числа оборотов электродвигателей приводит к расстройству технологического процесса, а иногда и к порче продукции, пожару и взрыву.

Например, на заводах нефтепереработки, получения искусственных жидких топлив, синтетического каучука и др. большинство процессов связано с интенсивным водяным охлаждением. Остановка электродвигателей насосов или уменьшение оборотов может привести к прекращению или к уменьшению подачи охлаждающей воды (вследствие уменьшения производительности насосов). И в том и в другом случае возможны крупные аварии (если вовремя не произведен аварийный останов) вследствие повышения температуры, давления внутри установок и т. д. А аварии могут привести к взрыву или пожару.

При нитрации (в нитроторах) бензола или волокнистых веществ необходимо равномерное распределение и отвод тепла, что достигается при помощи мешалок. Останов мешалки или уменьшение интенсивности перемешивания могут привести к местным перегревам, разложению нитрующей массы, воспламенению ее, выбросу или взрыву.

Кроме того, при понижении числа оборотов электродвигатели потребляют больший ток и, если короткое замыкание длительное, они перегреваются; частые же перегревы двигателей уменьшают срок их службы и могут быть причиной аварии.

Если короткое замыкание произошло в точке $K-2$ (рис. 4, диаграмма 3), напряжение на шинах станции понизится еще больше ($U''_{\text{ст}} < U'_{\text{ст}}$), так как хотя ток короткого замыкания будет больше, чем при коротком замыкании в точке $K-1$, однако сопротивление цепи короткого замыкания до точки $K-2$ меньше, чем до точки $K-1$, выключатель $B-1$ отключит линию $L-1$, и питание потребителей $РП$ прекратится.

Таким образом, чем ближе к станции произошло короткое замыкание, тем большее число потребителей отключается. Кроме того, нарушается и работа приемников электроэнергии, питающихся от неповрежденных линий станции. Особенно значительно понижается напряжение на шинах станции при отсутствии реакторов на отходящих линиях. Наиболее тяжелый случай короткого замыкания — это замыкание на сборных шинах станции (точка $K-3$), когда отключаются генераторы и прекращается питание всех линий.

3. Величина токов короткого замыкания

Величина тока короткого замыкания зависит от:

а) мощности источников, питающих место К.З. Чем больше мощность источников питания, тем больше и величина токов короткого замыкания (при всех прочих равных условиях);

б) электрической удаленности источников от места короткого замыкания, то есть от величины сопротивления элементов цепи, включенных между источниками и точкой К. З. Чем больше сопротивление цепи, тем меньше ток короткого замыкания;

в) вида короткого замыкания (трехфазное, однофазное и т. д.). При однофазном коротком замыкании $I_{К.З.}$ будет минимальный;

г) времени с момента возникновения короткого замыкания, что будет зависеть от аппаратов защиты, отключающих цепи при токах короткого замыкания. Если аппараты защиты будут быстродействующими, то токи К. З. не успеют достичь своего максимального, «пикового» значения.

4. Виды коротких замыканий

В трехфазной системе возможны четыре основных вида коротких замыканий: трехфазное, двухфазное, однофазное и двухфазное на землю (рис. 5).

а) Трехфазное — когда три фазы соединяются между собой (рис. 5а). Оно называется также симметричным, так как при нем не нарушается симметрия токов и напряжений (при условии равенства сопротивлений трех фаз цепи короткому замыканию).

б) Двухфазное — когда две фазы соединяются между собой без соединения с землей (рис. 5б).

в) Однофазное — когда одна фаза соединяется с нейтралью источника тока через землю (рис. 5в). Оно возможно только в системах с глухозаземленной нейтралью. Соединение одного проводника в системах с изолированной нейтралью называется просто замыканием на землю.

г) Двухфазное на землю — когда две фазы соединяются между собой через землю (рис. 5г). Этот вид в системах с незаземленной нейтралью дает тот же эффект, что и простое двухфазное короткое замыкание.

В табл. 1 приводятся сокращенные обозначения разных видов коротких замыканий и относительная их вероятность¹.

¹ См. С. А. Ульянов. Короткие замыкания в электрических системах. Госэнергоиздат, 1952.

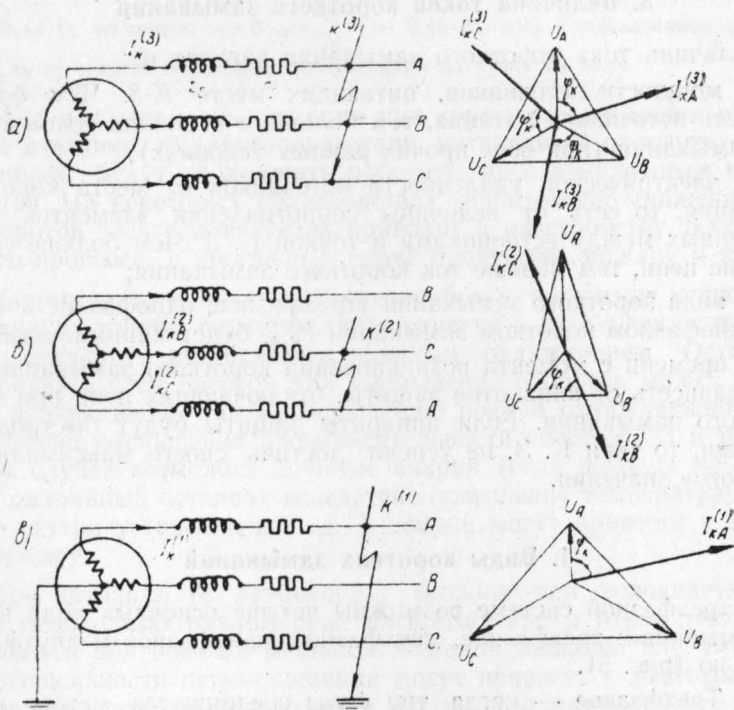


Рис. 5. Виды коротких замыканий:
а) трехфазное; б) двухфазное; в) однофазное
и двухфазное на землю.

Таблица 1

Сокращенное обозначение и относительная вероятность
видов короткого замыкания

Виды короткого замыкания	Сокращенное обозначение	Относительная вероятность короткого замыкания в %
Трехфазное	$K^{(3)}$	5
Двухфазное	$K^{(2)}$	10
Двухфазное на землю	$K^{(1,1)}$	20
Однофазное	$K^{(1)}$	65

5. Причины коротких замыканий

Причинами коротких замыканий являются нарушения изоляции токоведущих частей электрических сетей, машин и аппаратов при:

1) естественном старении изоляции («износе»), своевременно не выявленном путем профилактических осмотров и испытаний изоляции;

2) каких-либо повреждениях в процессе эксплуатации электроустановок. При этом повреждения могут быть как в результате механических воздействий на изоляцию, так и в результате агрессивного воздействия окружающей среды, то есть сырости, химически активных веществ или повышенной температуры;

3) перенапряжениях (в результате первичного и вторичного воздействия молнии, перехода напряжения с высоковольтных установок на низковольтные и т. д.).

К коротким замыканиям могут приводить ошибочные действия обслуживающего персонала, не выполняющего правила технической эксплуатации, эксплуатационных инструкций и правил техники безопасности.

Короткие замыкания возможны также вследствие перекрытия голых токоведущих частей животными и птицами.

6. Основные пожарно-профилактические мероприятия по предупреждению коротких замыканий

В целях безаварийной работы электрических установок, исключения пожаров и взрывов от коротких замыканий в них необходимо своевременно устранять и предупреждать причины, могущие вызвать короткое замыкание.

Наиболее действенным мероприятием, предупреждающим возникновение коротких замыканий, является правильный выбор, монтаж и эксплуатация сетей, машин и аппаратов в соответствии с ПУЭ и ПТЭЭПП¹. Необходимо особенно строго соблюдать правила эксплуатации электроустановок и сроки профилактических осмотров, ремонта и испытаний электроустановок (испытания изоляции сетей, машин и аппаратов).

Кроме мероприятий, способствующих предупреждению коротких замыканий, следует иметь в виду мероприятия, предупреждающие и локализуяющие последствия возникших токов короткого замыкания.

Большой эффект при этом достигается применением быстродействующих релейных защит и выключателей, установочных автоматов и плавких предохранителей. Выбор аппаратов защиты необходимо осуществлять в зависимости от параметров, назначения и условий эксплуатации электроустановок.

¹ ПУЭ — Правила устройства электроустановок. Госэнергоиздат, 1957. ПТЭЭПП — Правила технической эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. Госэнергоиздат, 1951 или 1953.

В целях уменьшения понижения напряжения в разных звеньях сети целесообразно устанавливать на генераторах автоматические регуляторы напряжения, которые увеличивают ток возбуждения генераторов при коротком замыкании, а после отключения К. З. напряжение быстро восстанавливается до нормального.

Исходя из возможных величин токов К. З., при проектировании следует предусматривать и производить выбор электроустановок по условиям работы в режиме К. З. (электрических аппаратов, шин, изоляторов, кабелей, контактных систем и т. д.).

Необходимо также предусматривать средства ограничения токов К. З. В современных мощных электрических установках без искусственного ограничения токов К. З. возникают серьезные затруднения при выборе электрооборудования, устойчивого при К. З. Для искусственного увеличения сопротивления цепи К. З. последовательно в три фазы включают индуктивные сопротивления, называемые реакторами (см. рис. 4), или включают активные сопротивления.

ЯВЛЕНИЕ ПЕРЕГРУЗКИ

1. Сущность явления перегрузки

Одним из видов преобразования электрической энергии является переход ее в тепловую энергию. Переход энергии электрического тока в тепловую связан с так называемым тепловым действием тока, открытым одновременно русским ученым академиком Ленцем и английским физиком Джоулем.

Сущность теплового действия тока и количественная сторона явления сформулированы в известном законе Ленца-Джоуля, который выражается формулой

$$Q = 0,24 I^2 r \tau \quad (1)$$

где I — ток в a ;

r — активное сопротивление в $ом$;

τ — время в $сек$.

Открытие теплового действия тока, кроме большой научной ценности, имеет огромное значение для его практического применения в различных нагревательных устройствах и приборах.

Тепловое действие тока всегда проявляется и при прохождении тока по проводникам сетей, машин и аппаратов, но в ряде случаев тепловой эффект не может быть использован и даже является вредным и пожароопасным. При этом выделяющаяся тепловая энергия бесполезно рассеивается в окружающем пространстве, а отдельные части электрических устройств нагреваются до температуры, выше допустимой.

Так, например, для голых проводов воздушных линий из меди, алюминия и стали максимально допустимая температура не должна превышать 70°C. Это объясняется не опасениями за состояние провода, а необходимостью создания надежных соединений, так как при повышении температуры усиливаются окислительные процессы и на проводах образуются окисы, имеющие высокое сопротивление, что в свою очередь увеличивает сопротивление контакта и, следовательно, количество выделяемого в нем тепла. Температура соединения растёт, увеличивается окисление, а это может привести к полному разрушению провода в месте соединения.

При прокладке голых проводов внутри зданий предельные температуры также не должны превышать 70°C. Дополнительными соображениями здесь являются обеспечение пожарной безопасности и исключение неприятного запаха вследствие сухой перегонки пыли, оседающей на поверхности провода.

Еще более опасным является перегрев изолированных проводников, особенно со сгораемой изоляцией. Перегрев проводника может отрицательно сказаться на качестве изоляции, а следовательно, на сроке службы электроустановки.

Изоляция проводников при нагреве постепенно изнашивается, стареет.

Для выяснения этого процесса пользуются законом относительного износа изоляции. Он основан на общем физико-химическом законе, согласно которому каждые дополнительные 8° нагрева ускоряют физические и химические процессы в 2 раза.

В общем виде закон относительного износа изоляции может быть выражен уравнением

$$I = 2^{(t - t_n) : 8} \quad (2)$$

где I — относительный износ изоляции, т. е. величина, показывающая, во сколько раз быстрее изнашивается изоляция при данной температуре (t), чем при длительно допустимой температуре по нормам (t_n).

При ускорении старения изоляции в 2 раза соответственно сокращается и срок ее службы. Так, например, провода с резиновой изоляцией по нормам допускают длительный перегрев 30° над температурой среды 25°. Если скорость старения (износа) изоляции при таком перегреве принять за единицу, то при нагреве до 38° скорость старения будет равна $2^{(38 - 30) : 8} = 2$; при 46° скорость старения будет: $2^{(46 - 30) : 8} = 2^2 = 4$; при 54° имеем $2^{(54 - 30) : 8} = 2^3 = 8$ и т. д. Это значит, что, работая при таких перегревах, провод составит соответственно в 2, 4, 8 и т. д. раз быстрее, чем при нагреве до 30°.

Закон старения изоляции в изложенном виде (8 — градусное правило) и подсчеты по уравнению (2) полностью действительны только для области относительно небольших температур.

Старение изоляции характеризуется уменьшением ее эластичности и механической прочности. Сильно «состарившаяся» изоляция становится настолько неэластичной и хрупкой, что под влиянием вибраций и электродинамических усилий, имеющих место при работе трансформаторов, генераторов, электродвигателей и т. п., начинает растрескиваться и ломаться. Следствием этого может быть электрический пробой изоляции и повреждение электроустановки, а при наличии сгораемой изоляции и пожаро-взрывоопасной среды может возникнуть пожар или даже взрыв.

Опыты показали, что срок «службы» изоляции класса А (пропитанной жидким диэлектриком: хлопком, шелк, бумага и т. д.) в электродвигателях при температуре нагрева до 105°C ($t_{\text{н}} = 35 + 70 = 105^{\circ}\text{C}$) исчисляется в 15—20 лет, а при температуре 140°C срок «службы» сокращается до нескольких месяцев.

Таким образом, отрицательное действие перегрева проводников требует точного определения температуры, проводов электросетей и обмоток различных электрических приборов, аппаратов и машин при прохождении по ним тока.

Предельная температура, которая может быть достигнута за счет теплового действия тока в проводе, определяется на основании соответствующих расчетов и исследований.

Из формулы (1) видно, что нагрев проводника будет возрастать с увеличением протекающего по нему тока, так как количество выделяющегося тепла пропорционально квадрату тока.

Поскольку каждый проводник рассчитан на определенный ток и максимально допустимую температуру нагрева, то возрастание тока может привести к так называемому явлению перегрузки.

Перегрузкой называется такое явление, когда в проводниках электрических сетей, машин и аппаратов возникает токовая нагрузка, длительно превышающая величины, допускаемые нормами.

2. Причины перегрузки

В электрических сетях одной из причин возникновения перегрузки может быть неправильный расчет при проектировании сетей. Действительно, если сеть будет неправильно рассчитана по допустимому максимальному нагреву проводников, то в такой сети в случае включения в нее всех потребителей возникнет явление перегрузки.

В процессе эксплуатации электрических сетей явление перегрузки может возникнуть вследствие дополнительного включения потребителей, на которые они не рассчитаны.

В подтверждение сказанного вспомним применение первого закона Кирхгофа и закона проводимостей к расчету простейших разветвленных электрических цепей, примером которых может служить цепь, показанная на рис. 6.

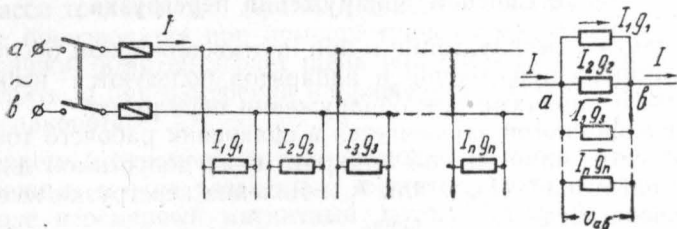


Рис. 6. Простейшие разветвленные электрические цепи.

Для данной цепи уравнения первого закона Кирхгофа и закона проводимостей можно записать в следующем виде:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (3)$$

$$g = g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n \quad (4)$$

Из приведенных уравнений видно, что при увеличении количества потребителей, питающихся от данной цепи, ток в магистральном (неразветвленном) участке цепи увеличивается, так как по закону Ома

$$I = U_{ab} g \quad (5)$$

В результате увеличения тока будет увеличиваться и количество выделяемого тепла в проводнике (так как по закону Ленца-Джоуля $Q = 0,24 I^2 R t$), что и может привести к явлению перегрузки.

В электродвигателях перегрузка может возникнуть в результате механической перегрузки на валу, потери напряжения в питающей их сети и т. д.¹

Например, при потере напряжения в сети, питающей электродвигатели, ток в обмотках возрастает. Это видно из следующих рассуждений. При напряжении на зажимах электродвигателя (например, асинхронного К. 3.), равном номинальному, ток при номинальном режиме нагрузки будет равен

$$I' I_n = \frac{P_n 1000}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta}$$

При потере напряжения на 30%, ток электродвигателя будет уже равным $I'_n = \frac{P_n 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,7 U_n \cos \varphi \eta}$ (изменениями $\cos \varphi$ и η пренебрегаем).

Из сопоставления тока I_n и I'_n видно, что $I'_n > I_n$.

¹ Явление перегрузок в электрических машинах подробно рассматривается в теме «Электрические машины и аппараты управления».

3. Способы обнаружения перегрузки

В практике эксплуатации и при противопожарном обследовании электрических сетей, машин и аппаратов пользуются несколькими способами и приемами для обнаружения перегрузки.

Основной способ заключается в сравнении рабочего тока электрической сети, машины или аппарата с их допустимой длительной токовой нагрузкой ($I_{\text{доп}}$, или I_n). Явление перегрузки имеет место при условии, когда $I_p > I_{\text{доп}(n)}$.

Следовательно, по указанным величинам можно судить о режиме работы электроустановки.

Рабочий ток сети, машины или аппарата определяется:

а) Включением амперметра в начале испытываемого участка сети. Иногда рабочий ток сети и электродвигателя можно определить по показаниям стационарно включенных амперметров.

б) При помощи токоизмерительных клещей типа Ц-30, КЭ-44 и др., предназначенных для измерения тока без разрыва цепи и снятия напряжения в сетях до 600 в (клещи Ц-30) и 10 кв (клещи КЭ-44) частотой 50 гц. Наиболее удобны клещи типа Ц-30, которые имеют пределы измерения: по току 15, 30, 75, 300 и 600 а, по напряжению — 600 в (рис. 7).

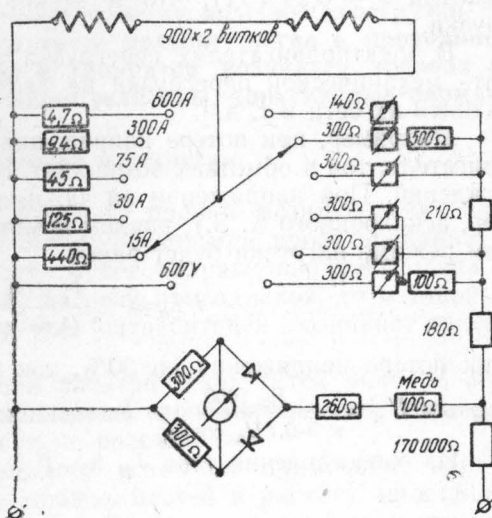
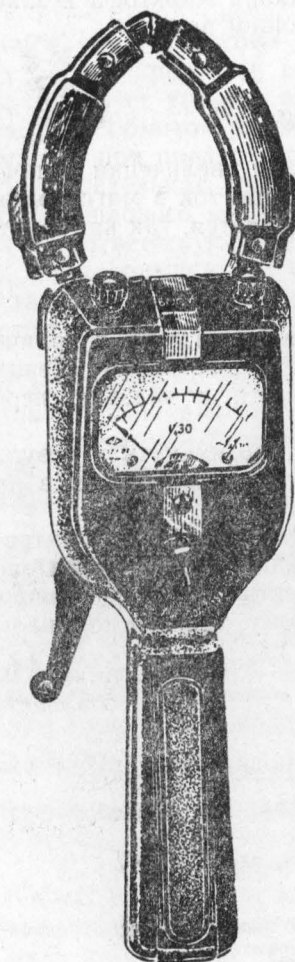


Рис. 7. Токоизмерительные клещи Ц-30.

Клещи типа Ц-30 являются переносным многопредельным прибором класса точности 2,5. Принцип действия их состоит в том, что измерение производится при помощи трансформатора тока, причем роль первичной обмотки играет шина или провод, ток которых следует измерить, а при измерении напряжения вторичная обмотка замыкается накоротко.

Измеряемый переменный ток, проходя по шине или проводу, расположенным в окне разъемного магнитопровода, создает в магнитопроводе переменный магнитный поток, который индуцирует э. д. с. во вторичной обмотке, расположенной на этом магнитопроводе. Вторичная обмотка замыкается на сопротивление, играющее роль шунта, падение напряжения на котором измеряется детекторным милливольтметром. Количество шунтирующих сопротивлений равно числу пределов измерений. Переключение пределов измерений производится при помощи рычажного переключателя (шестипозиционного).

Правила пользования клещами Ц-30 следующие. Провод или шина с измеряемым током охватывается клещами. Если величина измеряемого тока не известна, то измерение следует начинать с высшего предела (600 а). Если величина измеряемого тока известна, переключатель ставится в положение, соответствующее этой величине, переключение можно производить, не снимая клещей с провода, ток которого измеряется. При измерении напряжения переключатель пределов измерений ставится в положение «600 в», два провода присоединяются к клеммам на корпусе клещей и подключаются к измеряемому участку цепи.

Клещи имеют двойную шкалу. Верхний ряд служит для измерения тока в пределах 15, 30 и 75 а (при измерении в пределах 30 и 75 а показания прибора соответственно умножаются на 2 и 5); нижний ряд — в пределах 300 и 600 а и для измерения напряжения 600 в (при измерении в пределах 600 а и 600 в показания прибора соответственно умножаются на 2). Начало рабочей части шкалы обозначается точкой.

в) Подсчетом общей мощности всех включенных потребителей в данный участок сети по следующим выражениям:

$$I_p = \frac{\Sigma P_n 1000}{U_n} \quad \text{в сетях постоянного тока и осветительной сети однофазного переменного тока} \quad (6)$$

$$I_p = \frac{\Sigma P_n 1000 k_0}{\sqrt{3} U_n} \quad \text{в осветительных сетях трехфазного переменного тока} \quad (7)$$

$$I_p = \frac{\Sigma P_n 1000 k_c}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi} \quad \text{в силовых сетях трехфазного переменного тока} \quad (8)$$

где I_p — рабочий ток в электросети в а;
 P_n — номинальная мощность потребителей в кВт;
 U_n — номинальное напряжение потребителей в в;
 k_o — коэффициент одновременности включения потребителей;
 k_c — коэффициент спроса, зависящий от количества электродвигателей и степени их загрузки, т. е. $k_c = k_o k_3$.

Таким образом, определив рабочий ток, его сравнивают с длительно допустимым током $I_{доп}$ (для проводников сетей) или с номинальным током электродвигателя I_n (если определяется режим загрузки электродвигателя).

Допустимые длительные токовые нагрузки на провода и кабели разных марок и способов прокладки приведены в ПУЭ, гл. 1—3. Номинальные токи электродвигателей указаны в паспортных табличках на их корпусе или же приводятся в каталогах на данную серию электродвигателей.

Перегрузку проводников сетей, машин и аппаратов можно обнаружить по степени их нагрева при помощи термометров, термопар и т. п. Сравнивая температуры, получаемые этими устройствами, с максимально допустимой величиной нагрева изоляции проводников, делают вывод о режиме их работы. Максимально допустимые температуры элементов электроустановок определены соответствующими ГОСТами и ПУЭ.

4. Основные пожарно-профилактические мероприятия против перегрузки

Чтобы исключить явление перегрузки или последствия токов перегрузки, необходимо предусматривать и соблюдать ряд мероприятий как в стадии проектирования сетей, машин и аппаратов, так и в процессе их эксплуатации.

При проектировании необходимо правильно выбирать сечения проводников по условиям нагрева, допустимой величине потери напряжения и другим условиям. При этом сечение проводника принимается наибольшим.

В процессе эксплуатации нельзя включать дополнительных потребителей в сеть, если она на это не рассчитана.

При эксплуатации машин и аппаратов не следует допускать нагрев их до температур, превышающих предельно допустимые.

Наиболее эффективным средством защиты электроустановок от токов перегрузки является защита их плавкими предохранителями или автоматическими выключателями с тепловой и максимальной защитой (т. е. имеющими тепловые и электромагнитные расцепители).

Все указанные меры пожарной безопасности, направленные на недопущение перегрузки, подробно рассматриваются в соответствующих разделах курса.

ПЕРЕХОДНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

1. Сущность и пожарная опасность

Причиной аварий электроустановок и пожара могут быть переходные сопротивления в местах соединений, ответвлений и окончаний проводников, в контактах машин и аппаратов.

Например, если взять две равные контактные плоскости, выверенные линейкой, то при наложении их друг на друга они будут соприкасаться в ограниченном числе точек, как это в увеличенном виде показано на рис. 8а.

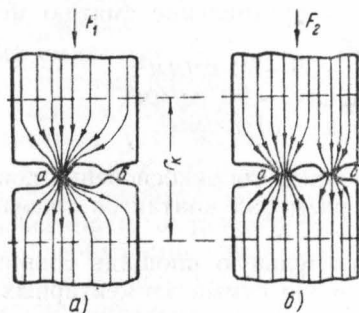


Рис. 8. Соприкосновение двух контактных поверхностей при разных силах нажатия.

Микроскопические неровности, не обнаруживаемые на глаз и при проверке линейкой, неизбежны даже при тщательной обработке и пригонке контактных поверхностей.

При протекании тока нагрузки в таком контактном соединении за единицу времени выделяется тепло, пропорциональное квадрату тока и сопротивлению точек действительного соприкосновения. Количество выделяемого тепла может быть столь значительным, что места переходных сопротивлений сильно нагреются. Следовательно, если нагретые контакты будут соприкасаться с горючими материалами, то возможно их воспламенение, а соприкосновение этих мест с взрывчатой средой может послужить причиной взрыва.

Таким образом, **переходными сопротивлениями называются сопротивления в местах перехода тока с одного контакта на другой через площадки действительного их соприкосновения.**

2. Причины переходных сопротивлений

Переходное сопротивление неокисленного контактного соединения прежде всего обусловлено сильным сужением пути протекания тока (рис. 8) при переходе его с одного контакта на другой через площадки действительного их соприкосновения.

Опытным путем установлено, что действительная площадь соприкосновения контактов не зависит от их размеров, а определяется силой, сжимающей контакты, и временным сопротивлением смятию металла контактов, что можно выразить формулой:

$$S_d = \frac{F}{\sigma_{см}} \quad (9)$$

где S_d — действительная площадь соприкосновения контактов в мм^2 ;

F — сила нажатия контактов в кг;

$\sigma_{см}$ — временное сопротивление смятию металла в кг/мм^2 , составляющее:

для меди — 39—52 кг/мм^2 ,

для алюминия — 90 кг/мм^2 ,

для серебра — 31 кг/мм^2 .

Одну и ту же площадь соприкосновения контактов можно получить при различных размерах контактов только за счет изменения силы F .

Обозначим действительную площадь соприкосновения контактных поверхностей, равную сумме элементарных площадок касания, буквой S_d , а полную «кажущуюся» площадь соприкосновения контактных поверхностей при идеальных условиях — S_n .

Естественно, что $S_d < S_n$, а переходное сопротивление контактного соединения (при условии протекания тока через S_d) $r_{к.д} < r_{к.п}$, т. е. больше переходного сопротивления при полной площади соприкосновения.

Следовательно, тепло, выделяемое в точках действительного соприкосновения контактов, пропорциональное $I^2 r_{к.д}$, будет больше тепла, пропорционального $I^2 r_{к.п}$, т. е. тепла, которое выделилось бы при полной площади соприкосновения поверхностей контактов.

Отсюда ясно, что величина переходного сопротивления контактов зависит от силы, сжимающей контакты, от материала, из которого они изготовлены, и степени обработки поверхностей контактов.

Кроме того, переходное сопротивление в значительной степени зависит от окисления контактных поверхностей. Особенно интенсивное окисление происходит при температуре нагрева контактов выше 70—75°C, а также в среде, агрессивно воздействующей на контакты (химически активная среда, повышенная влажность и т. п.). Влияние окисления контактов на величину переходных сопротивлений объясняется тем, что пленки окиси металлов даже очень небольшой толщины обладают обычно во много раз меньшей электрической проводимостью, чем чистый металл. Например, для меди ρ окиси меди $> \rho$ меди, следовательно, и нагрев контактов будет больше при их интенсивном окислении.

3. Основные пожарно-профилактические мероприятия по предупреждению переходных сопротивлений

Профилактические мероприятия по предупреждению или уменьшению переходных сопротивлений вытекают из основных причин, вызывающих это явление.

Для увеличения площадок действительного соприкосновения контактов необходимо применять упругие контакты или специальные стальные пружины.

Если контактные плоскости прижать друг к другу с некоторой силой F_2 (рис. 8б), то мелкие бугорки a в местах касания плоскостей будут несколько сминаться, при этом увеличатся размеры соприкасающихся элементарных площадок и появятся новые дополнительные площадки касания, например, b . Следовательно, степень нагрева такого контактного устройства уменьшится.

Для отвода тепла от точек соприкосновения и для рассеивания его в окружающую среду необходимо изготавливать контакты определенной массы и поверхности охлаждения.

Особое внимание необходимо уделять местам соединения проводов и подключения их к клеммным зажимам. Самый простой и старый способ соединения проводов — это скрутка двух зачищенных концов провода. В конечных соединениях провод обычно загибали петлей и зажимали винтом. Впоследствии для улучшения электрического контакта стали применять пайку. Применение скрутки с последующей пайкой обеспечивает механическую прочность и электрическую проводимость места соединения. На съемных концах для удобства и надежности контакта применяют наконечники различной формы и специальные зажимы, что особенно важно для алюминиевых проводов.

В настоящее время существуют четыре основных способа соединения проводов, дающие хороший электрический контакт при высокой механической прочности: пайка, припой, сварка и механическое соединение под давлением (прессовка). Первые три способа требуют применения источника нагрева, дополнительного металла и различных растворителей.

Мягкая пайка проводов весьма распространена. В этом случае необходим источник тепла с температурой, достаточной для того, чтобы нагреть соединяющиеся провода и расплавить применяемый при пайке дополнительный металл. Кроме того, при пайке изолированных проводов применяют предохранительные меры, чтобы не повредить изоляцию.

При сращивании проводов припоем требуется более высокая температура нагрева, чтобы нагреть концы проводов и расплавить припой (медный, серебряный и т. п.). Этот метод дает большую механическую прочность, чем мягкая пайка, и применяется для проводов, несущих большие токовые нагрузки.

Сварка проводов обеспечивает надежный электрический контакт, но требует больших предосторожностей, чтобы не ослабить механической прочности в месте сварки.

Способ соединения проводов механической прессовкой дает хороший электрический контакт, не требует источника тепла и дополнительных материалов. Кроме того, в этом случае механическая и электрическая надежность контакта не зависит от квалификации электромонтера.

Чтобы не ослаблять механической и электрической прочности мест соединений и ответвлений проводов и кабелей, не разрешается подвергать их дополнительным механическим усилиям (например, подвешивать светильники непосредственно на провода питающей сети).

В целях уменьшения влияния окисления на переходное сопротивление размыкающихся контактов необходимо следить за тем, чтобы размыкание и замыкание их сопровождалось скольжением (трением) одного контакта по другому. При этом тонкая пленка окиси разрушается и удаляется с площади действительного касания контактов, происходит их самоочищение.

Чтобы избежать окисления контактов, необходимо, во-первых, до сбалчивания очищать контактные поверхности от пленки окиси и, во-вторых, предохранять болтовые контакты от последующего окисления в эксплуатации, что достигается нанесением на контактные поверхности металлических защитных антикоррозийных покрытий (слой металла наносится в расплавленном состоянии или гальваническим путем) и путем герметизации контактных соединений.

Контакты из меди, латуни и бронзы часто защищают от окисления тонким слоем олова или сплава олова и свинца. Переходное сопротивление таких луженых контактов несколько больше (на 30—50%) сопротивления чистых неокисленных контактов, но это компенсируется тем, что оно не возрастает в период эксплуатации.

Лужение медных контактов необходимо в наружных установках, в сырых или содержащих активные газы и пары помещениях и при температуре воздуха выше 60°C. Для этой же цели в ответственных установках следует применять серебрение контактов. Серебро на воздухе не окисляется, а покрывается пленкой сульфида серебра Ag_2S , образующегося при разложении сероводорода воздуха в присутствии кислорода. Проводимость сульфидной пленки близка к проводимости серебра, поэтому покрытые серебром контакты не меняют своих свойств. Иногда к медным контактам приваривают серебряные пластинки, по которым и происходит их соприкосновение.

Жилы проводов и кабелей в местах соединений и ответвлений должны иметь такую изоляцию от окружающей среды, которая была бы равноценной изоляции жил целых мест этих проводов и кабелей.

В процессе эксплуатации необходимо систематически следить за тем, чтобы контакты плотно и с достаточной силой прилегали друг к другу. Для этого необходимо периодически их осматривать и регулировать (особенно в клеммниках машин и аппаратов).

§ 3. ПОЖАРО- И ВЗЫВООПАСНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ И НАРУЖНЫЕ УСТАНОВКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИХ ОПАСНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

При наличии пожаро-взрывоопасных сред в различных технологических процессах создается повышенная опасность возникновения пожаров и взрывов при применении электрооборудования. Указанное обстоятельство требует разработки и принятия специальных мероприятий, обеспечивающих безопасное применение электрооборудования в пожаро-взрывоопасных средах.

В этой связи следует разрешить вопросы, связанные с исследованием, изготовлением и применением новых видов электрооборудования, пригодного для пожаро-взрывоопасных процессов, а также с усовершенствованием существующих видов электрооборудования.

Важно также определить конкретные условия применения и работы электрооборудования в пожаро-взрывоопасных средах. Для этого помещения и наружные технологические установки разделяются на классы. Класс помещения и наружной установки зависит от свойств и характера окружающей среды, то есть от физических свойств веществ, обращающихся в производстве.

Главными из этих свойств являются: температура вспышки и самовоспламенения, пределы взрываемости паро- или газовоздушных смесей, возгораемость и условия обработки твердых и волокнистых веществ и др. Кроме того, при данной классификации учитываются и такие положения, как воздействие электрооборудования на окружающую среду, воздействие окружающей среды на электрооборудование, вопросы техники безопасности при обращении с электрооборудованием.

Таким образом, прежде чем решать вопрос об отнесении помещения к определенному классу пожаро-взрывоопасности, необходимо рассмотреть условия образования взрывоопасных смесей горючих газов, паров и пыли в помещениях и наружных технологических установках.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ СМЕСЕЙ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ, ПАРОВ И ПЫЛИ В ПОМЕЩЕНИЯХ И НАРУЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Легковоспламеняющиеся и некоторые горючие жидкости при определенных условиях способны выделять такое количество паров, которое в смеси с окружающим воздухом образует взрывоопасные

концентрации. При этом легковоспламеняющиеся и некоторые горючие жидкости образуют взрывоопасные концентрации при температуре окружающего воздуха, без предварительного нагрева, а некоторые горючие жидкости требуют нагрева до температуры вспышки и выше. Значительное количество легковоспламеняющихся жидкостей образуют взрывоопасные смеси даже при температурах ниже нуля (например, бензин при -5°C , бутан при -14°C , диэтилэфир при -45°C и др.). Естественно, что более опасными являются жидкости, образующие взрывоопасные смеси при обычных условиях без нагрева. Некоторые твердые горючие вещества образуют взрывоопасные пылевоздушные смеси при сравнительно малом содержании пыли в воздухе (канифоль, сахарная пудра и др.). Другие вещества образуют эти смеси при наличии большого количества пыли в 1 м^3 воздуха (пыль цинка — 800 г/м^3). Все это позволило при классификации помещений и наружных установок разделить их на пожаро- и взрывоопасные в зависимости от условий образования взрывоопасных смесей горючих паров, газов и пылей.

Так, помещения и наружные установки считаются взрывоопасными, если температура вспышки паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, находящихся в них, равна 45°C и ниже или превышает температуру среды менее чем на 10°C .

В производственных условиях жидкости, имеющие температуру вспышки выше 45°C , могут обрабатываться при близких к этой технологических температурах. Если разница температур вспышки и окружающей среды не превышает 10°C , то помещение с парами такой жидкости при данных условиях также следует относить к взрывоопасным.

Например, при получении фенолальдегидных смол исходным продуктом является фенол, у которого температура вспышки равна 80°C . Казалось бы, раз температуры вспышки паров фенола более 45°C , то производство следовало бы отнести к невзрывоопасным. Но при технологии получения фенолальдегидных смол в камерах поддерживается температура $70-78^{\circ}\text{C}$. Следовательно, данное производство (в том числе и помещение) следует отнести к взрывоопасным, так как температура вспышки паров фенола превышает температуру среды не более чем на $10-2^{\circ}\text{C}$.

Помещения и наружные установки будут считаться тем более взрывоопасными, если температура среды их будет равна температуре вспышки или превышать ее.

Помещения и наружные установки с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, в отношении которых условия, указанные выше, не имеют места, относятся к пожароопасным.

Помещения и наружные установки с горючими газами относятся к взрывоопасным при любых температурах окружающей среды, если они выделяются в количестве, достаточном для образования взрывоопасной смеси.

Помещения с горючими пылями или волокнами относятся к взрывоопасным, если нижний предел взрываемости пылей и волокон не превышает 65 г/м^3 . Кроме того, надо учитывать конкретные условия технологии: дисперсность пыли, влажность воздуха, систему и мощность вентиляции и другие условия.

ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ И НАРУЖНЫЕ УСТАНОВКИ

Пожароопасными называются такие помещения или наружные установки (с учетом условий образования пожароопасной среды), в которых имеются или хранятся горючие вещества. Эти помещения и наружные установки с точки зрения их опасности при применении электрооборудования подразделяются на следующие классы: П—I, П—II, П—IIa и П—III¹.

Взрывоопасными называются помещения и наружные установки (с учетом условий образования взрывоопасных смесей), в которых по условиям технологического процесса могут образоваться взрывоопасные смеси:

а) горючих газов или паров с воздухом или кислородом, а равно и с другими газами-окислителями (например, с хлором);

б) горючих пылей или волокон с воздухом при переходе их во взвешенное состояние.

По степени взрывоопасности, т. е. условиям и возможности образования взрывоопасных смесей, и опасности их при применении электрооборудования, помещения и наружные установки подразделяются на следующие классы: В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II и В-IIa².

Рассмотрение характеристик классов взрывоопасных помещений и наружных установок позволяет сделать вывод, что наиболее опасными в отношении взрыва являются помещения классов В-I и В-II и менее опасным — В-Ia, В-IIa и наружные установки В-Iг. Помещения класса В-Iб наименее опасны из всех взрывоопасных помещений, что позволяет в этих помещениях применять некоторые виды электрооборудования в общепромышленном исполнении вместо взрывозащищенного.

К взрывоопасным помещениям относятся и такие производственные помещения, которые граничат с взрывоопасными, являются смежными с ними, хотя сами не содержат технологического оборудования и материалов, представляющих опасность в отношении пожара и взрыва. Классификация помещений, смежных с взрывоопасными, приведена в табл. 2.

¹ См. приложение 1, табл. 1.

² См. приложение 1, табл. 2.

Классификация помещений, смежных с взрывоопасными

Класс взрыво- опасного поме- щения	Класс смежного помещения, отделенного от взрывоопасного	
	одной несгораемой стеной с противопожарной дверью	двумя несгораемыми стенами и противопожарными дверями, образующими коридор или тамбур
В—I	В—Iа }	невзрыво- и непожароопасное
В—Iа	В—Iб }	
В—Iб	невзрыво- и непожароопасное	невзрыво- и непожароопасное
В—II	В—IIа	
В—IIа	невзрыво- и непожароопасное	

При этом противопожарные двери должны открываться в сторону менее опасного помещения и иметь устройство для самозакрывания. Тамбуры и коридоры должны иметь такие размеры, чтобы каждую дверь можно было закрывать или открывать при закрытой второй двери.

Правила устройства электроустановок требуют, чтобы определение класса взрывоопасности помещений и наружных установок производилось технологами совместно с электриками проектирующей или эксплуатирующей организации.

Класс взрывоопасности помещений при наличии признаков классов В-I и В-II допускается снизить на одну ступень (т. е. считать их помещениями класса В-Iа и В-IIа) при:

а) устройстве системы вентиляции, основанной на установке нескольких вентиляционных агрегатов, постоянно находящихся в работе. В случае аварийного останова одного из агрегатов оставшиеся в работе должны полностью обеспечивать поддержание на надлежащем уровне кратности обмена воздуха, а также достаточную равномерность действия вентиляции по всему объему помещения (при наличии тяжелых газов с удельным весом более 0,8 по отношению к воздуху), включая подвалы, каналы и их повороты;

б) установке резервного вентиляционного агрегата, автоматически включающегося при останове рабочего агрегата;

в) устройстве автоматической сигнализации, действующей при возникновении в любом пункте помещения концентрации газов или паров, не превышающей 50% наименьшей взрывоопасной, а для ядовитых газов — при приближении концентрации к санитарным нормам. Число сигнальных приборов и их расположение, а также система резервирования должны обеспечивать безотказное действие сигнализации.

Помещения лабораторий и опытных установок класса В-Iб при выполнении одного из приведенных выше условий допускается относить к невзрывоопасным.

Весьма важным мероприятием является установка автоматических действующих сигнализаторов, определяющих наличие взрывоопасных газов и паров в воздухе взрывоопасных помещений (например, таких типов, как СГГ-В2Б, СГГ-В3Г, СГГ-В4А и др., которые калибруются на метан, коксовый газ, дивинил, пары этилового спирта и др. среды).

Для определения наличия взрывоопасных концентраций паров и газов в воздухе помещения при нормальных технологических условиях следует пользоваться также переносным взрывонепроницаемым газоанализатором типа ПГФ2-В3Г и обычного исполнения типа ПГФ-И. Все это позволит более точно и правильно решить вопрос об отнесении помещения к тому или иному классу взрывоопасности.

ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ КАМЕРЫ

Согласно ПУЭ камеры вытяжных вентиляторов, обслуживающие взрывоопасные помещения и изолированные от них, относятся к взрывоопасным помещениям на один класс ниже.

Камеры приточных вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные помещения, относятся к невзрывоопасным помещениям.

АККУМУЛЯТОРНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ

При решении вопроса об отнесении аккумуляторных помещений к классам взрывоопасных помещений, следует пользоваться данными ЦНИИПО МВД, который на основании исследований классифицирует аккумуляторные помещения следующим образом:

«Аккумуляторные помещения, в которых производится зарядка аккумуляторов (кислотных или щелочных), относятся к взрывоопасным классам В-1а, если в объеме этих помещений, с прекращением работы специальной приточно-вытяжной вентиляции, может скопиться водород в количестве более 1,6% объемных.

Допускается относить данные аккумуляторные помещения к взрывоопасным класса В-1б, если имеется блокировка, обеспечивающая отключение зарядного тока с прекращением работы вентиляции.

Аккумуляторные помещения относятся к невзрывоопасным, если при отсутствии специальной вентиляции или с прекращением действия последней может скопиться водород в количестве менее 1,6% объемных в силу значительного объема помещения или наличия естественной общеобменной вентиляции или зарядки аккумуляторов под местной вытяжкой (в вытяжных шкафах, под зонтом и т. п.)».

Приближенное количество водорода в помещении может быть определено по формуле, рекомендуемой ЦНИИПО:

$$H_2 = \frac{0,15 P}{Q} \quad (10)$$

где H_2 — количество водорода в объемных процентах;

P — номинальная мощность зарядного устройства или их сумма в *вт*;

Q — объем аккумуляторного помещения в м^3 .

§ 4. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЗРЫВООПАСНЫХ СМЕСЕЙ ГАЗОВ ИЛИ ПАРОВ С ВОЗДУХОМ

Среды взрывоопасных помещений одного и того же класса различаются по физическим свойствам веществ, обращающихся в производстве, что необходимо учитывать при выборе электрооборудования, обеспечивающего условия взрывобезопасности. Например, опасность помещения класса В-I со средой бензина будет меньше, чем помещения со средой ацетилена. Следовательно, электрооборудование соответствующей взрывозащищенности, удовлетворяющее условиям взрывобезопасности в помещении со средой бензина, может не отвечать этим условиям в помещении со средой ацетилена.

Таким образом, без учета физических свойств взрывоопасных смесей даже помещений одного класса нельзя правильно решать вопрос о выборе электрооборудования. Кроме определения класса взрывоопасности помещения, необходимо также учитывать и физические свойства среды помещения.

Учитывая изложенное, в ПУЭ произведена классификация взрывоопасных смесей с точки зрения их опасности при действующем электрооборудовании на группы воспламеняемости и категории взрываемости.

В основу классификации взрывоопасных смесей на группы воспламеняемости положена температура самовоспламенения смеси.

Известно, что опасность смеси определяется температурой ее самовоспламенения. Чем ниже температура самовоспламенения смеси, тем вероятнее возможность воспламенения ее при всех прочих равных условиях по сравнению со смесью, у которой этот параметр выше. Например, сероуглерод CS_2 имеет температуру самовоспламенения 112°C , а метиловый спирт $\text{CH}_3\text{OH} + 427^\circ\text{C}$. Естественно, что взрывоопасная смесь сероуглерода более опасна, чем метилового спирта.

Для начала горения или возникновения взрыва необходимо, чтобы источник воспламенения определенное время соприкасался с взрывоопасной смесью. Разные взрывоопасные смеси при контакте с источником воспламенения воспламеняются не одновременно, т. е. они отличаются друг от друга так называемым временем запаздыва-

вания взрыва (период индукции) ¹. Естественно, большую опасность будут представлять те смеси, у которых период индукции меньше. Период индукции для разных смесей различен и зависит от концентрации смеси, от рода источника воспламенения, его температуры и т. д., т. е. этот параметр является величиной переменной и зависит от многих условий. Поэтому существует мнение, выраженное в решениях Всесоюзного научно-технического совещания ², об исключении этого фактора при классификации смесей на группы, что и учтено в ПИВЭ ³.

Итак, в зависимости от температуры самовоспламенения взрывоопасные смеси делятся на четыре группы — А, Б, Г и Д (см. табл. 3). Причем опасность взрывоопасной смеси возрастает от группы А к группе Д.

Таблица 3

**Классификация взрывоопасных смесей
по группам воспламеняемости**

Группа взрыво- опасной смеси	Температура самовоспламенения смеси в °С
А	более 450
Б	более 300 до 450
Г	более 175 до 300
Д	от 120 до 175

Взрывоопасные смеси классифицированы также по категории взрываемости. В основе этой классификации лежит свойство взрывоопасных смесей передавать взрыв из оболочки электрооборудования в окружающую среду через фланцевые зазоры различной величины. Учитывать эти свойства необходимо потому, что один из видов взрывозащищенности современного электрооборудования — взрывонепроницаемость — основан на заключении оборудования в прочные оболочки с фланцами определенных размеров, между которыми имеются зазоры. Зазоры предотвращают передачу взрыва из оболочки в окружающую среду, т. е. они являются огнепреградителем (см. рис. 9, 10 и 11).

Разделение взрывоопасных смесей на категории производится по минимально возможной ширине зазора *б*, при которой еще про-

¹ Время запаздывания взрыва (период индукции) — промежуток времени от начала соприкосновения взрывоопасной смеси с источником воспламенения до появления пламени.

² Всесоюзное совещание, организованное Московским домом научно-технической пропаганды им. Ф. Э. Дзержинского и Московским правлением НТОЭП в г. Сталино в 1958 году.

³ Правила изготовления взрывозащищенного электрооборудования, 1960.

исходит передача взрыва (см. рис. 11). Практически взрывонепроницаемое электрооборудование, рассчитанное на ту или иную категорию взрывоопасной смеси, выпускается с зазорами, меньшими чем указано в правилах, т. е. с зазорами, при которых передача взрыва исключается (см. § 5).

Классификация смесей по минимальным зазорам, передающим взрыв, объясняется возможностью сравнительно легкого экспериментального определения таких зазоров.

Для установления передающих зазоров потребуется произвести сравнительно небольшое число опытов, которые позволяют оценить эти зазоры определенной статистической вероятностью передачи взрыва P .

Статистическая вероятность (частота) передачи взрыва определяется как отношение числа переданных взрывов m к общему числу взрывов внутри оболочки n , т. е.

$$P = \frac{m}{n} \quad (11)$$

Практически при определении категории взрывоопасной смеси по минимальным зазорам, передающим взрыв, статистическая вероятность передачи взрыва принимается равной $P = 10^{-2} - 10^{-3}$ (т. е. 100 или 1000 опытов).

Классификация взрывоопасных смесей по меньшей величине зазоров чем передающие, характеризующиеся малой статистической вероятностью передачи взрыва, например 10^{-6} , потребует значительного количества опытов (для $P = 10^{-6}$ число опытов n составляет 10^6 , что практически не приемлемо).

Итак, взрывоопасные смеси в зависимости от минимальной величины зазора между поверхностями прилегания, при котором взрыв передается из оболочки в окружающую взрывоопасную среду, делятся на четыре категории (табл. 4).

Таблица 4

Классификация взрывоопасных смесей по категориям взрываемости

Категория взрыво- опасной смеси	Величина зазора между поверхностями фланцев шириной 10 мм, при которой частота передач взрывов составляет 50% общего числа взры- вов при объеме оболочки 2,5 л в мм
1	Более 1,0
2	0,65 до 1,0
3	0,35 до 0,65
4	Менее 0,35

Опасность взрывоопасной смеси возрастает с увеличением ее категории от 1 к 4.

Распределение некоторых наиболее распространенных взрывоопасных смесей по группам и категориям дано в табл. 5.

Таблица 5

Распределение взрывоопасных смесей по категориям и группам

Категория взрывоопасной смеси	Группа взрывоопасной смеси			
	А	Б	Г	Д
1	Аммиак, метан, аметил-стирол, уксусная кислота, изопропиловый спирт	Изопрен, бутиловый спирт (третичный)	Уайтспирит	
2	Бензин, пропан, доменный газ, этан, бензол, хлорбензол, толуол, ксилол, ацетон, диэтиламин, триэтиламин, хлористый этил, этилбензол, диизопропиловый эфир, изопропилбензол, стирол	Бутан, этилатат, метиловый спирт, этиловый спирт, пентан, пропилен, нитрил акриловой кислоты, бутиловый спирт (нормальный), дивинил, изопентан, циклогексен	Ацетальдегит, гексан	
3	Этилен, светильный газ, коксовый газ (метана 40%, водорода 60%)	Окись этилена, окись пропилена	Эфир серный	
4	Водяной газ, водород	Ацетилен	Сероводород	Сероуглерод

Примечание: Определение и отнесение к категориям и группам взрывоопасных смесей, не указанных в настоящей таблице, производится Государственным институтом по проектированию и исследованию взрывобезопасного электрооборудования.

§ 5. ПРИНЦИПЫ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Для обеспечения взрывобезопасности при применении электрооборудования во взрывоопасных помещениях промышленностью СССР изготавливается электрооборудование соответствующей взрывозащищенности.

Взрывозащищенным называется электрооборудование, имеющее одно из исполнений или сочетание этих исполнений, обеспечивающих безопасность его применения в условиях взрывоопасных помещений и наружных установок всех или только некоторых классов и утвержденное организацией, на это уполномоченной (например, «Гипронисэлектрошахт»).

Взрывозащищенность современного электрооборудования основывается на следующих принципах: взрывонепроницаемости, заполнении объема оболочек электрооборудования, искробезопасности и повышенной надежности против взрыва.

1. Взрывонепроницаемость основана на создании таких конструкций, при которых взрывоопасная смесь может проникать внутрь электрооборудования или создаваться там при разложении изоляционных материалов. При наличии источников воспламенения там может произойти взрыв, но он не передается в окружающую среду. Это достигается приданием электрооборудованию соответствующей прочности оболочек, рассчитанных на полное взрывное давление (взрывоустойчивостью), и гасящими свойствами рассчитанных зазоров в местах сочленения элементов оболочки (взрывонепроницаемостью). При этом температура нагрева поверхности оболочки не должна быть больше температуры, установленной для различных групп взрывчатых смесей, на которые рассчитано электрооборудование.

2. Взрывозащищенность, основанная на заполнении объема оболочек электрооборудования. Этот принцип основан на создании таких конструкций, при которых исключается возможность попадания взрывоопасной среды внутрь электрооборудования к частям, находящимся под напряжением. Это достигается:

а) продуванием оболочек электрооборудования чистым воздухом с созданием противодавления (такое исполнение получило название «продуваемое под избыточным давлением»);

б) заполнением оболочек электрооборудования газообразной средой (азот, воздух и др.), также создающей противодавление, или заливкой эпоксидными смолами, засыпкой кварцевым песком и т. п. (такое исполнение получило название «специальное»);

в) погружением искрящих и неискрящих частей в масло, что исключает соприкосновение взрывоопасной среды с источником воспламенения (такое исполнение получило название «с масляным наполнением»).

3. Искробезопасность основана на создании таких конструкций, при которых элементы электрооборудования, находящиеся под напряжением, могут соприкасаться с взрывоопасной средой. Но источники воспламенения (нагретые части, искрение), могущие возникать в них как при нормальных, так и при аномальных режимах работы (обрыв, короткое замыкание), по запасам тепловой энергии недостаточны для воспламенения взрывоопасной среды.

4. Повышенная надежность против взрыва основана на создании таких конструкций, при которых:

а) нагрев как их внутренних, так и наружных поверхностей не превышал бы значений, допустимых для данных взрывоопасных сред;

б) применяется изоляция с повышенной электрической прочностью и тепловой устойчивостью;

в) осуществляется защита всех токоведущих частей от попадания крупных и мелких предметов, капель и брызг или пыли;

г) исключается искрение при нормальном состоянии электрооборудования, а если оно неизбежно, то искрящие элементы оборудования должны быть в любом другом взрывозащищенном исполнении.

Рассмотрим сущность некоторых, наиболее часто применяемых принципов взрывозащищенности подробнее.

ВЗРЫВОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ

Сущность взрывонепроницаемого исполнения состоит в том, что все электрические части машин и аппаратов заключаются во взрывонепроницаемую оболочку. Последняя представляет собой прочную закрытую конструкцию, состоящую из одной или нескольких полостей. На рис. 9 показана взрывонепроницаемая оболочка магнитного пускателя, состоящая из двух полостей. Назначение оболочки — исключить возможность воспламенения окружающей взрывоопасной среды от заключенного в оболочку электрооборудования в любых режимах его работы. Это достигается благодаря определенным размерам фланцев (в местах сочленения элементов оболочки): их ширины b и зазора δ , а также взрывоустойчивости оболочки против внутренних взрывных давлений и внешних механических воздействий. Иногда взрывонепроницаемая оболочка органически входит в конструкцию электрооборудования, например, в электродвигателях взрывонепроницаемого исполнения (рис. 10).

В большинстве же случаев взрывонепроницаемая оболочка представляет собой отдельный узел, применяющийся исключительно для обеспечения взрывонепроницаемости (например, у магнитного пускателя на рис. 9).

Щелевой способ взрывозащиты электрооборудования удобно наблюдать на принципиальной схеме взрывонепроницаемой оболочки (рис. 11).

Взрывоопасная среда, в условиях которой находится взрывонепроницаемое электрооборудование, может проникнуть в оболочку как во время вскрытия ее, так и через места ее соединения (особенно когда происходит периодическое нагревание и охлаждение заключенного в оболочку электрооборудования).

Интересные данные о времени проникновения взрывчатой среды внутрь оболочки взрывонепроницаемого электрооборудования получены в ЦНИИПО¹). Оказалось, что это время весьма различно и зависит от физических свойств среды (ее плотности и диффу-

¹ Исследования кандидата технических наук В. Е. Ульященко.

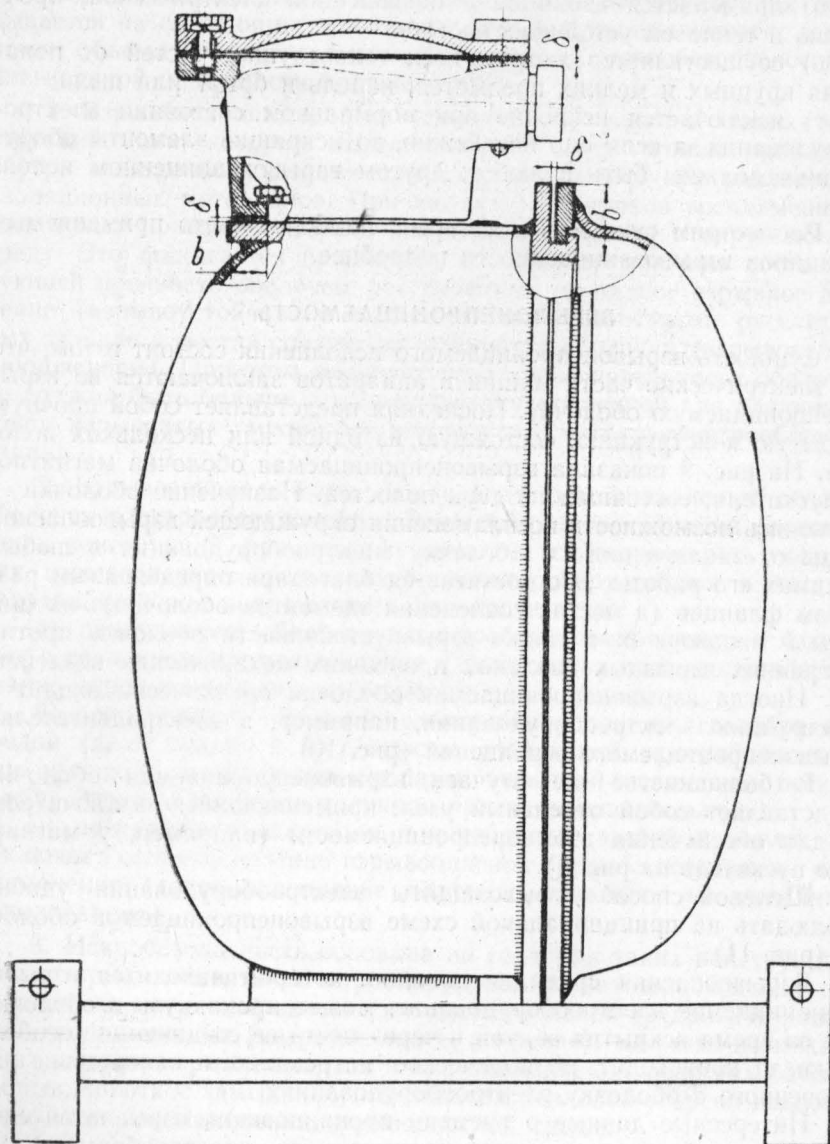


Рис. 9. Взрывонепроницаемая оболочка магнитного пускателя:
 δ — зазор; b — ширина фланца.

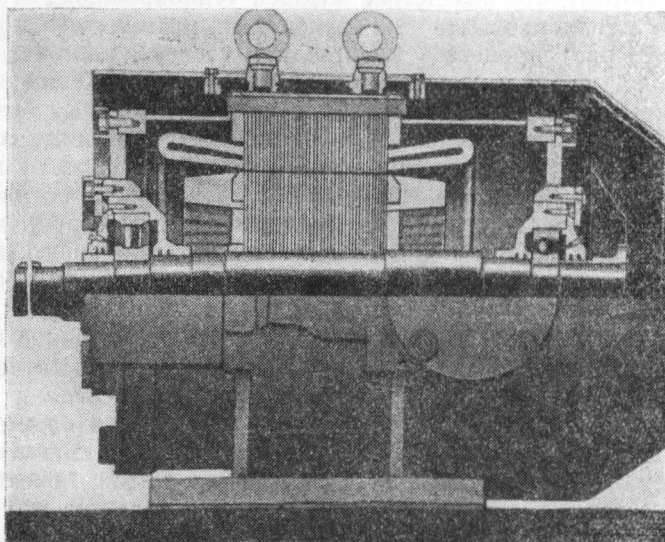


Рис. 10. Взрывонепроницаемый электродвигатель серии МА-140.



Рис. 11. Принципиальная схема взрывонепроницаемой оболочки.

зионной способности). Например, для водородо-воздушных и ацетилено-воздушных смесей оно составляет несколько минут, а для пропано-воздушной смеси — около часа.

Продукты сгорания, образующиеся во время взрыва внутри оболочки, при прохождении зазора δ охлаждаются фланцами b . Еще большее охлаждение они получают при расширении на выходе. Пламенного горения в щели малого объема, но большой площади охлаждения не происходит, а продукты сгорания, выходящие через зазор, охлаждаются ниже температуры самовоспламенения окружающей взрывчатой среды. На основе исследований советских ученых доказано, что прекращение горения в узких безграничных щелях в основном определяется теплотериями через газозвдушную смесь к стенкам. Материал стенок при этом не имеет практического

значения, потому что вследствие худшей теплопроводности газа по сравнению с теплопроводностью стенок (для металла в 100 раз, для дерева в 10 раз) процесс теплоотвода к стенкам целиком определяется теплопроводностью газа.

В закрытых оболочках в отличие от рассмотренных безграничных щелей происходят более сложные явления, связанные со значительным повышением давления, температуры и скорости горения. Увеличение этих параметров приводит к уменьшению зазора. Однако приведенные соображения, справедливые для безграничных щелей, могут быть приняты для объяснения пламегасящего действия щелевой защиты также и в случае взрывонепроницаемых оболочек.

Указанные зазоры, исключаяющие передачу взрыва из оболочек в окружающую взрывчатую среду, получили название безопасных. В дальнейшем будем называть безопасным или статистически безопасным зазор с расчетной вероятностью передачи взрыва $P = 10^{-6}$ (т. е. один передавшийся взрыв на миллион опытов).

При этом надо иметь в виду, что взрывонепроницаемое электрооборудование конструируется с щелевой защитой, имеющей не безопасные зазоры, через которые взрыв не передается в окружающую среду, а меньше безопасных, так называемые допустимые зазоры:

$$\delta_{\text{доп}} = \frac{\delta_{\text{безоп}}}{K} \quad (12)$$

где: K — коэффициент надежности.

Вероятность воспламенения наружной взрывоопасной среды при безопасных зазорах составляет $P = 10^{-6}$, т. е. из миллиона опытов или миллиона взрывов внутри оболочки возможен только один случай передачи взрыва. Казалось бы, этим можно удовлетвориться. Но в целях исключения любой случайности при конструировании взрывонепроницаемых оболочек создают еще большую надежность, переходя от безопасных зазоров к допустимым, отличающимся от первых коэффициентом надежности.

Коэффициент надежности, принятый при переходе от безопасного зазора к допустимому, учитывает время запаздывания взрыва окружающей взрывчатой среды и степень снижения температуры выходящих через зазоры продуктов сгорания. Кроме того, коэффициент надежности учитывает возможность изменения фланцевых зазоров, вызываемого условиями эксплуатации электрооборудования (например, воздействие окружающей среды — коррозия, механическое повреждение фланцевых поверхностей — вмятины, царапины и т. п.). Этот коэффициент в настоящее время принимается равным 2,5.

Чтобы узнать конструктивный допустимый зазор взрывонепроницаемого электрооборудования для данной взрывчатой среды, можно воспользоваться табл. 7 или знать безопасный зазор и

коэффициент надежности. Для иллюстрации безопасных зазоров и других данных и нахождения конструктивных допустимых зазоров воспользуемся исследованиями ЦНИИПО (см. табл. 6).

Таблица 6

Основные параметры взрывоопасных смесей

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация смеси, соотв. максимальному взрывному давл. в объемных %	Безопасные зазоры при ширине фланца		Коэффициент надежности	Зазоры, передающие взрыв при ширине фланца в 10 мм	Группа воспламеняемости	Категория взрываемости
			25 мм	10 мм				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Ацетон	5,0	1,05	0,95	2,5	1,0	А	2
2	Этилацетат	4,05	1,1	0,9		0,95	Г	2
3	Бензол	2,73	0,95	0,85		0,9	А	2
4	Метиловый спирт	12,3	0,9	0,8		0,85	Б	2
5	Метан	9,8	1,25	1,0		1,15	А	1

Предположим, что нам необходимо определить категорию взрывоопасной смеси этилацетата и конструктивный допустимый зазор для взрывонепроницаемого электрооборудования, рассчитанного на эту среду, при ширине фланца 25 мм.

По выражению (12) и графам 4 и 6 табл. 6

$$\delta_{\text{доп}} = \frac{\delta_{\text{безоп}}}{K} = \frac{1,1}{2,5} = 0,44 \text{ мм}$$

По табл. 7 определяем, что взрывоопасную смесь этилацетата следует отнести ко 2 категории взрывоопасных смесей с установлением конструктивного допустимого зазора взрывонепроницаемого электрооборудования в 0,3 мм.

Это объясняется тем, что по ПИВЭ для 1 категории взрывчатой смеси $\delta_{\text{доп}} = 0,5$, а для 2 категории $\delta = 0,3$. Полученная величина $\delta = 0,44$ мм находится между 0,5 и 0,3 мм, поэтому за основу принимается меньшая величина $\delta = 0,3$ мм.

Принятие допустимых зазоров не меньше указанных в табл. 7 необходимо для того, чтобы при изготовлении взрывонепроницаемого электрооборудования, предназначенного для взрывчатых сред одной и той же категории, был бы единый, унифицированный зазор. Это упрощает действия конструкторов и технологию изготовления электрооборудования.

В заключение вопроса о взрывонепроницаемости остановимся на факторах, влияющих на величину безопасного зазора δ .

Конструктивные допустимые зазоры взрывонепроницаемого электрооборудования

№ п/п	Наименование параметров	Категория взрывоопасной среды											
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Объем оболочки в л	до 0,2			от 0,2 до 0,5			от 0,5 до 2			свыше 2		
2	Наименьшая ширина стыка в мм (ширина фланца b)	5			8			15			25		
3	Высота зазора на стыках в месте прилегания двух деталей в мм (зазор δ)	0,5	0,3	0,2	0,5	0,3	0,2	0,5	0,3	0,2	0,5	0,3	0,2

Как показывают исследования, на величину зазора δ щелевой защиты влияют в основном следующие факторы:

- ширина фланцев, образующих зазор, и
- физико-химические свойства взрывчатой среды, для которой предназначается взрывонепроницаемое электрооборудование.

а) Ширина фланцев

Исследования, проведенные в ЦНИИПО со специально сконструированной сферической оболочкой при ширине фланцев 10, 20, 25, 35 и 50 мм, позволили выявить влияние ширины фланцев на величину безопасного зазора. Опыты проводились с водородо-воздушной средой.

Проведенные опыты показали, что при одной и той же величине зазора вероятность воспламенения была тем больше, чем меньше ширина фланца, и наоборот. Кривая, изображенная на рис. 12,

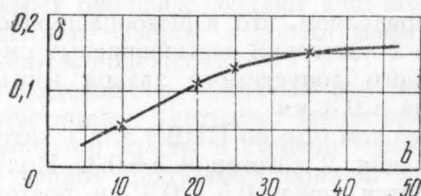


Рис. 12. Зависимость величины безопасного зазора от ширины фланца оболочки для водородо-воздушной среды.

устанавливает характер зависимости величины безопасного зазора δ от ширины фланца b . Увеличение ширины фланца до 25 мм заметно сказывается на величине безопасного зазора — кривая идет вверх. Но дальнейшее увеличение ширины фланца почти не сказыв-

вается на безопасном зазоре — кривая идет почти параллельно оси абсцисс. Однако значительное увеличение ширины фланца ограничивается неудобством пользования электрооборудованием с такими фланцами.

б) Физико-химические свойства взрывоопасной смеси

На величину безопасного зазора δ влияют и физико-химические свойства смесей, как-то: скорость реакции горения, температура самовоспламенения и время запаздывания взрыва (период индукции).

Влияние скорости реакции горения смесей на величину безопасного зазора объясняется следующим. Из опытных данных известно, что теплотворная способность (т. е. количество теплоты, выделяемой при сгорании одного кубического метра смеси за единицу времени) различных смесей разная: у одних больше, у других меньше.

Например, если взять для сравнения водород H_2 и метан CH_4 , то при сгорании 1 м^3 этих смесей условно за $0,1\text{ сек}$ выделяется разное количество тепла: H_2 — 2580 ккал/м^3 , CH_4 — 941 ккал/м^3 . Из сопоставления данных видно, что при одной и той же величине безопасного зазора, продукты сгорания водорода, проходя через зазор, будут иметь более высокую температуру, чем продукты сгорания метана. Одинаковые размеры зазоров для этих смесей могут не обеспечить взрывобезопасность электрооборудования в водородной среде. Следовательно, для водородо-воздушной среды величина безопасных зазоров должна быть меньшая, чем для среды метана. Поэтому метан отнесен к первой категории взрывоопасных смесей, а водород — к четвертой, более опасной.

Опасность смесей определяется также и их температурой самовоспламенения. Например, если сравнить сероуглерод CS_2 , у которого температура самовоспламенения равна 112°C , с метиловым спиртом, у которого эта температура равна 427°C , то опасность сероуглерода при всех прочих равных условиях будет всегда больше, чем метилового спирта.

Поэтому если для названных сред применять безопасные зазоры одинаковой величины, то продукты сгорания, проходящие через зазор с определенной температурой, могут воспламенить прежде всего смесь сероуглерода. Отсюда становится ясным, что чем ниже температура самовоспламенения взрывоопасной среды, тем величина безопасного зазора должна быть меньше, т. е. будут предъявляться более жесткие требования к электрооборудованию, предназначенному для среды 4Г, чем, например, для среды 1А.

Нельзя не учитывать влияния на величину безопасного зазора и периода индукции, т. к. при всех прочих равных условиях большую опасность представляют смеси с малым периодом индукции.

Вероятность взрыва будет больше при выходе продуктов сгорания через зазор с определенной температурой в том случае, когда смесь имеет малый период индукции. Следовательно, при определении размеров безопасного зазора более жесткие требования будут предъявляться к электрооборудованию, предназначенному для сред с малым периодом индукции.

Как уже было сказано, принцип взрывонепроницаемости достигается не только гасящими свойствами рассчитанных зазоров (т. е. взрывонепроникновением), но и взрывоустойчивостью и температурным режимом наружных стенок оболочки.

Взрывоустойчивость, т. е. прочность оболочки в эксплуатации при любых режимах работы электрооборудования, определяется расчетом. Оболочка должна выдерживать максимальное давление:

а) взрыва смесей при их воспламенении не только маломощным источником воспламенения (искра магнето), но и при мощном источнике воспламенения (дуговое короткое замыкание). При этом исследованиями установлено, что вследствие тепловых потерь в стенки оболочки давление взрыва в известной мере зависит от объема оболочки, снижаясь при его уменьшении;

б) взрыва смесей воздуха с газами, образуемыми внутри оболочки вследствие воздействия высоких температур, возникающих при дуговом коротком замыкании или перегрузке токоведущих частей, на трансформаторное масло и различные изоляционные материалы, содержащие органические вещества.

Как показали исследования А. Г. Ихно (МакНИИ), взрывонепроницаемость оболочки может быть нарушена в аварийных режимах при возникновении электрической дуги внутри оболочки. Такая дуга может нагреть оболочку до температуры, способной воспламенить окружающую среду и даже прожечь оболочку. Кроме того, причиной взрыва могут быть раскаленные металлические частицы, прорвавшиеся наружу через фланцевые зазоры, и особенно продукты разложения органической изоляции: водород, окись углерода и другие более взрывчатые газы, чем метан. Было также установлено, что при дуговых коротких замыканиях в малогабаритных оболочках происходит повышение давления. Все это приводит к тому, что приходится идти на значительное снижение допустимых зазоров (например до 0,2 мм против 0,5 для метана).

Для достижения взрывонепроницаемости оболочек в этих условиях, кроме их конструктивных изменений, необходимо также применять быстродействующую электрическую защиту, которая обеспечивала бы автоматическое отключение дугового короткого замыкания раньше, чем наступит опасность наружного взрыва смеси газа или пыли;

в) накапливающихся внутри оболочки газов или паров, образующихся при разложении жидких или твердых органических веществ под действием высоких температур. Иногда газы разложения

органических веществ во взрывонепроницаемой оболочке накапливаются без взрыва и при определенных условиях величина давления этих газов может превысить величину давления взрыва, например, метано-воздушной среды. Такое давление может создаться в течение времени отключения релейной защитой (максимальные, тепловые, температурные реле, реле утечки и др.).

При изготовлении взрывонепроницаемого электрооборудования взрывоустойчивость оболочек определяется контрольными гидравлическими испытаниями на заводах-изготовителях.

Все части оболочки в течение не менее одной минуты должны выдерживать при гидравлическом испытании избыточное давление (сверх атмосферного) согласно табл. 8.

Таблица 8¹

Величина избыточных давлений при гидравлическом испытании взрывонепроницаемых оболочек

Категория взрывоопасной смеси	Величина избыточного давления при гидравлическом испытании в атм при объеме оболочки в л		
	до 0,5 л	Свыше 0,5 — 2 л	Свыше 2 л
1	3	6	8
2	4	7,5	10
3	4	7,5	10

Температура наружных стенок оболочки, а также всех деталей, не защищенных этой оболочкой, не должна в рабочем состоянии превышать величин, указанных в табл. 9.

Таблица 9²

Допустимые температуры наружных стенок взрывонепроницаемых оболочек

Группа взрывоопасной смеси	Наибольшая температура наружных стенок оболочки в °С
А	200
Б	155
Г	105
Д	80

ИСКРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Технический прогресс в угольной, нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, химической, лакокрасочной, азотной и др. отраслях промышленности неразрывно связан с ростом энерговооружен-

¹ ПИВЭ, табл. 13.

² ПИВЭ, табл. 14.

ности и применения средств автоматизации и телемеханизации. Указанные средства весьма просты в обычном исполнении и значительно усложняются при применении во взрывоопасных средах, так как условия взрывобезопасности требуют громоздкого взрывонепроницаемого исполнения. Все это значительно удорожает аппаратуру и затрудняет ее эксплуатацию.

Требование применения во взрывоопасных средах электрооборудования в взрывонепроницаемом исполнении, справедливое для силового оборудования, является не всегда достаточно обоснованным в отношении контрольно-измерительных и автоматических устройств, так как энергия искрения в данном случае значительно меньше, чем при силовом оборудовании, и не всякая электрическая искра способна воспламенить паро- или газозвудушную смесь. В свою очередь, воспламеняющая способность искры зависит от параметров электрической цепи (I , U , g , L , C и т. д.), в которой эта искра возникает, и при соответствующем подборе параметров может быть достигнута искробезопасная система, т. е. такое исполнение электрической цепи (без специальных оболочек), при котором искры, возникающие или могущие возникнуть в любых местах системы при любых обстоятельствах, не способны воспламенить взрывчатую смесь. Такое исполнение получило название *искробезопасного*.

Принцип искробезопасности завоевал в СССР прочное место как один из основных способов взрывозащиты электрических устройств малой мощности, а иногда и в высоковольтных устройствах, например, в схемах опережающего отключения, блокировок и т. п.

В преимуществах искробезопасного электрооборудования можно убедиться из сравнения двух телефонных аппаратов, имеющих взрывонепроницаемое и искробезопасное исполнение. Взрывонепроницаемый аппарат в 6 раз больше по размерам и в 10 раз тяжелее искробезопасного.

В результате исследований, проведенных лабораториями Н. Ф. Ковалева (МакНИИ), В. С. Кравченко (ИГД АН СССР), П. А. Фетисова (ЦНИИПО), Р. Н. Енгибаровой (ВНИИТБ) и др., получены экспериментальные данные об искробезопасных токах для взрывчатых смесей ацетилена, водорода, окиси пропилена, этилена, эфира, ацетона, пропана, метана, бензола, бензина и др. Важным результатом этих исследований является создание основ теории искробезопасных систем.

Данная теория основана на таких физических явлениях, как электрический разряд при размыкании и взрыв газопаровоздушной смеси.

Серьезным результатом исследования является обнаружение стадийности электрических разрядов размыкания и выделение зажигающей стадии. Развитие электрического разряда происходит, как правило, в две стадии: разряд начинается с дуговой стадии при

токах более 0,5 а или с серии искровых пробоев при токах менее 0,2 а и затем переходит в стадию деионизации, похожую на «тлеющий» разряд. В метано-воздушной среде зажигающей являются только дуговая или искровая стадии разряда. «Тлеющий» разряд сам по себе не в состоянии поджечь метано-воздушную смесь.

Исследованиями также установлено, что энергия зажигающей стадии разряда размыкания является главным параметром, определяющим воспламеняющую способность электрических разрядов этого вида, а энергия разряда $A_{min} = 1,1 \text{ мдж}$ является «границей» зажигания (при статистической вероятности воспламенения $P = 10^{-5}$).

Формула (13), являющаяся упрощенным выражением условия зажигания, полученная Б. А. Петренко (ИГД АН СССР), раскрывает роль и влияние различных параметров электрической цепи (размыкаемого тока I , индуктивности L , напряжения источника тока U и продолжительности разряда τ_m в процессе зажигания):

$$A = \frac{3}{16} UI \tau_m + \frac{LI^2}{2} \quad (13)$$

Формула показывает, что энергия, поступающая в разряд, состоит из энергии источника тока (I член) и энергии магнитного поля катушки (LI^2 член). Однако она не учитывает влияния емкости цепи. Между тем это влияние в реальных цепях существенно.

В результате многочисленных исследований установлено, что на воспламеняющую способность искр размыкания влияют как электрические, так и механические условия.

К электрическим условиям необходимо отнести самоиндукцию цепи, рабочее напряжение, величину тока, проходящую в цепи перед размыканием, род тока и частоту.

К механическим условиям относятся род металла на размыкаемых контактах, скорость размыкания цепи, форма и площадь контактов.

Наконец, на воспламеняющую способность искр размыкания влияет концентрация взрывчатой смеси.

Результаты исследований позволили решить вопрос и о повышении искробезопасности индуктивных цепей путем шунтирования индуктивной катушки. Роль шунтов заключается в гашении части магнитной энергии, накопленной в катушке, что ведет к уменьшению энергии, рассеиваемой в искре. Исследовалось влияние емкостных и детекторных шунтов на величину воспламеняющего тока.

Конденсатор, подключенный параллельно катушке индуктивности, практически принимал на себя весь разряд магнитной энергии. Эффективным способом повышения величин воспламеняющих токов является применение селеновых шунтов.

В табл. 10 даны результаты экспериментов с емкостными и селеновыми шунтами для среды бензина.

Таблица 10¹

Искробезопасные параметры цепи

Напряжение в в	Индуктив- ность в гн	Минимальный воспламеняющий ток при условной вероятности воспламенения $P=10^{-5}$				
		без шунта	емкостный шунт			селеновый шунт
			0,05 мкф	0,1 мкф	0,5 мкф	
110	0,01	0,174	0,250	0,325	0,460	0,520
	0,1	0,084	0,170	0,260	0,420	0,450
	1,0	0,038	0,115	0,200	0,375	0,400

Из анализа результатов экспериментов можно заключить, что при включении шунтов минимальные воспламеняющие токи повышаются до величин, в 5—10 раз больших, чем без шунтирования.

При определении допустимых значений токов и мощностей в связи с выполнением практических искробезопасных устройств учитываются конкретные условия работы этих устройств. Так, например, может быть применена электрическая цепь, работа которой не связана с электрическим искрением при нормальных эксплуатационных режимах, а искрение возможно лишь при каких-либо повреждениях или неисправностях цепи.

В другом случае применяется цепь, искрение которой в эксплуатационных условиях может быть нормальным, но не частым, или, наоборот, частым и т. д. Следовательно, при рассмотрении той или иной схемы целесообразно определять допустимые токи в практических условиях введением определенного коэффициента искробезопасности в зависимости от условий и режима работы этой установки.

Коэффициент искробезопасности выражает отношение минимального воспламеняющего тока к искробезопасному и принимается равным 2,5.

Воспламеняющий ток — ток, соответствующий вероятности появления взрывов в камере (при опытах), равный 10^{-5} .

Искробезопасный ток — ток, соответствующий условному² значению вероятности, равный 10^{-12} .

Следовательно, искробезопасный ток меньше воспламеняющего в 2,5 раза.

¹ По данным ВНИИТБ.

² Вероятность воспламенения именуется условной в связи с тем, что при ее определении условно принят неизменным характер зависимости $P=f(i)$ при любых значениях P , в том числе и при очень малых.

Результаты исследований в этой области позволили ввести в ПУЭ соответствующие дополнения, дающие возможность в ряде случаев применять электрооборудование во взрывчатых средах в искробезопасном исполнении.

В практике при решении вопроса о допущении применения электрических устройств в искробезопасном исполнении для взрывоопасных помещений В-I, В-Ia и наружных установок — класса В-Iг следует руководствоваться следующими данными:

а) при отсутствии в электрооборудовании **нормально искрящих частей** величины напряжений, токов и индуктивности ни на одном участке электрической цепи электрооборудования не должны превышать значений, приведенных в табл. 11.

Таблица 11

Данные для электрических цепей электрооборудования с нормально неискрящими частями

Среда	напряжении источника питания в в	Допустимые токи в а при			
		индуктивности электрической цепи в гн			
		0,0001	0,001	0,1	0,5
Водород	6	0,3	0,15	0,04	—
Эфир или пропан	24	1,15	0,7	0,08	0,04

б) при наличии в электрооборудовании нормально, но не часто искрящих частей (сигнальные ключи, кнопки и т. п. — до 10 000 искрений в год). Величина напряжений, токов, индуктивности ни на одном участке электрической цепи электрооборудования не должна превышать значений, приведенных в табл. 12.

Таблица 12

Данные для электрических цепей электрооборудования с нормально, но не часто искрящими частями

Среда	напряжении источника питания в в	Допустимые токи в а при			
		индуктивности электрической цепи в гн			
		0,0001	1,001	0,1	0,5
Водород	6	0,25	0,1	0,02	—
Эфир или пропан	24	0,65	0,4	0,05	0,025

Примечания: 1) При выборе и конструировании искробезопасной электрической цепи должна учитываться наибольшая возможная величина протекающего тока как в каждой ветви, так и в общей цепи устройства или прибо-

ра с учетом, кроме рабочего режима, любых неблагоприятных условий и неисправностей. Величина этого наибольшего возможного тока не должна превосходить значений, указанных выше.

2) Исполнение и монтаж проводов, а также токоведущих деталей должны исключать возможность их ослабления, касания и какого-либо искрения как между собой, так и между любыми деталями и корпусом этого устройства или прибора.

3) Электрические приборы и аппараты, удовлетворяющие вышензложенным требованиям, могут считаться искробезопасными для сред, указанных в таблицах, и быть допущены к эксплуатации только после испытания их типового образца на искробезопасность в «Гипронисэлектрошахте».

В таблицах 1, 2, 3 и 4 приложения 2 представлены искробезопасные токи и соответствующие мощности при различных сочетаниях параметров цепей, для различных взрывоопасных сред.

ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОСТЬ, ОСНОВАННАЯ НА ЗАПОЛНЕНИИ ОБЪЕМА ОБОЛОЧКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Принцип взрывозащищенности достигается тремя путями:

1. Продувкой плотно закрытых оболочек электрооборудования чистым воздухом, не содержащим взрывоопасных газов, паров и пыли, в течение всего времени работы электрооборудования. Внутри указанных оболочек во все время работы установки поддерживается избыточное давление, предотвращающее засасывание в нее среды из взрывоопасного помещения.

В случае невозможности продувки воздухом всех частей электрооборудования нормально неискрящие части их (например, клеммники электрических машин) должны быть заключены во взрывонепроницаемую или другой взрывозащищенности оболочку.

К такому электрооборудованию правилами предъявляется ряд требований, выполнение которых обеспечивает безопасную его работу в условиях всех сред, в том числе и наиболее взрывоопасных (например, среде 4Д):

а) включение под напряжение с запаздыванием по отношению к начальному моменту продувания, гарантирующим предварительное освобождение полости оболочки от опасной среды, которая могла туда проникнуть во время остановки;

б) выброс отработанного воздуха в невзрывоопасное помещение и др.

2. Взрывозащищенность электрооборудования можно обеспечить путем заполнения оболочек электрооборудования чистым воздухом или инертным газом без продувки, а также заливкой эпоксидальными смолами, кварцевым песком и т. п. При этом воздух или инертный газ должны создавать избыточное давление.

3. Исключить возможность соприкосновения между искрящими и не искрящими, но находящимися под напряжением, частями и взрывоопасными смесями можно путем погружения их в масло.

При невозможности погружения в масло всех частей электрооборудования отдельные искрящие части его должны быть заключены в оболочку любой другой взрывозащищенности.

§ 6. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОМУ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЮ

1. Взрывонепроницаемое электрооборудование должно быть установлено таким образом, чтобы фланцевые зазоры оболочки не примыкали вплотную к какой-либо поверхности, а находились от нее на расстоянии не менее 100 мм.

Необходимость соблюдения этого требования объясняется тем, что соприкосновение поверхности с фланцевым зазором увеличивает возможность передачи взрыва из оболочки в окружающую среду и ухудшает ее защитные свойства. Результаты исследований для водородо-воздушной взрывчатой среды на сферической оболочке емкостью 2,5 л и фланцами шириной 25 мм позволяют сделать следующий вывод: безопасный зазор ($\delta_{\text{безоп}}$) при наличии преграждающей поверхности перед фланцами равен 0,0317 мм в то время, как при свободных фланцах величина его равна 0,131 мм.

Таким образом, наличие преграждающей поверхности, установленной вплотную к фланцам, уменьшает величину безопасного зазора в условиях водородо-воздушной взрывчатой среды более чем в 4 раза.

2. Электрооборудование будет взрывонепроницаемым в данной взрывоопасной среде только при условии, если категория и группа этой среды такие же или более низкие, чем наивысшая категория и группа взрывоопасной среды, для которой предназначено это электрооборудование.

Так, например, светильник типа ВЗГ-200 является взрывонепроницаемым на все взрывчатые смеси 1, 2 и 3 категории и групп А, Б и Г (см. табл. 5). А для взрывчатой смеси ацетилена этот светильник уже не пригоден, так как и категория и группа смеси (4А) ацетилена по опасности выше тех, на которые рассчитан светильник. Нельзя применять этот светильник и для водородо-воздушной взрывчатой смеси, хотя эта смесь и отнесена к группе А, так как категория ее 4.

3. В зависимости от вида исполнения, а также наивысшей категории взрывоопасной смеси и группы самовоспламенения ее, для которых данное электрооборудование признано взрывозащищенным, устанавливаются следующие условные обозначения:

а) в начале обозначения в зависимости от вида исполнения ставится:

- для взрывонепроницаемого исполнения — буква «В»;
- для исполнения с масляным наполнением — буква «М»;

— для исполнения повышенной надежности против взрыва — буква «Н»;

— для искробезопасного исполнения с письменным наименованием газа или пара, для которого исполнено это оборудование — буква «И»;

— для исполнения продуваемого под избыточным давлением — буква «П»;

— для специального исполнения — буква «С»;

б) далее ставится обозначение физических свойств взрывоопасной смеси. Оно состоит из цифры, соответствующей категории взрывоопасной смеси, и буквы, соответствующей группе взрывоопасной смеси согласно табл. 3, 4 и 5;

в) для исполнений с масляным наполнением, продуваемого под избыточным давлением, искробезопасного и повышенной надежности против взрыва цифра, соответствующая категории взрывоопасной смеси, согласно табл. 4 ставится только в случаях, когда конструкция содержит элементы, выполненные как взрывонепроницаемые (например, контактные кольца электродвигателя повышенной надежности против взрыва). Когда же конструкция не имеет таких элементов, то взамен цифры ставится «0» (нуль).

Для электрооборудования в исполнении повышенной надежности против взрыва с искрящими частями, заключенными в продуваемую оболочку или погруженными в масло, или выполненными как искробезопасные, взамен цифры, указывающей категорию взрывоопасной смеси, ставится буква, соответствующая исполнению: «П», «М» или «И»;

г) для специальных и искробезопасных исполнений обозначения физических свойств взрывоопасной смеси устанавливается особым при утверждении конструкции;

д) условные обозначения взрывозащищенных исполнений должны выполняться на кожухах аппаратов и машин в виде хорошо заметных выпуклых и надежно укрепленных (приваренных или отлитых) букв и цифр.

Примеры обозначений приводятся в табл. 13.

4. Взрывонепроницаемое электрооборудование, не имеющее в своей конструкции нормально искрящих частей (например, электродвигатели с коротко замкнутым ротором), в условиях взрывоопасной среды более высокой категории, чем категория среды, для которой оно изготовлено, допускается применять как электрооборудование повышенной надежности против взрыва. Температура его деталей внутри и вне оболочки не должна превышать температуру, допустимую для данной группы взрывоопасных смесей согласно табл. 14.

Например, рудничное взрывобезопасное электрооборудование, не имеющее в своей конструкции нормально искрящих частей (электродвигатели с К. 3. ротором), допускается применять в условиях

других взрывоопасных сред, отнесенных к категориям 2, 3 и 4, той же группы А по воспламеняемости, как электрооборудование повышенной надежности против взрыва. Шахтные взрывонепроницаемые электродвигатели серии МА-140 могут применяться как электродвигатели повышенной надежности против взрыва во взрывоопасных помещениях класса В-Ia, где в случае аварии возможно образование водорода-воздушных взрывчатых сред.

Таблица 13

Условные обозначения взрывозащищенности электрооборудования

Исполнение	Взрывоопасная среда	Обозначение
Взрывонепроницаемое	Эфир	ВЗГ
С масляным наполнением		
а) без взрывонепроницаемых элементов	Сероуглерод	МОД
б) с взрывонепроницаемыми элементами	Ацетон	М2А
в) с элементами повышенной надежности против взрыва	Пентан	МНБ
Повышенной надежности против взрыва		
а) без взрывонепроницаемых элементов	Этилацетат	НОБ
б) с взрывонепроницаемыми элементами	Толуол	Н2А
в) с продуваемыми под избыточным давлением элементами	Сероуглерод	НПД
г) с маслонеполненными элементами	Сероводород	НМГ
д) с искробезопасными элементами	Бензол	НИА
Продуваемое под избыточным давлением		
а) с взрывонепроницаемыми элементами	Гексан	П2Г
б) без взрывонепроницаемых элементов	Водород	ПОА
в) с элементами повышенной надежности против взрыва	Водород	ПНА
Искробезопасное		
а) с взрывонепроницаемыми элементами	Эфир	ИЗГ «Эфир»
б) без взрывонепроницаемых элементов	Водород	ИОА «Водород»

5. Наибольшая температура электрооборудования во взрывозащищенном исполнении или превышение ее над температурой окружающей среды должно соответствовать значениям, установленным ГОСТом, и не превышать величин, приведенных в табл. 14 для различных типов взрывозащищенного исполнения и групп взрывчатых смесей.

6. В помещениях классов В-II и В-IIa температуры нагрева наружных поверхностей оболочек электрооборудования должны соответствовать значениям, установленным ГОСТом, но не превышать 125°C.

Допустимые температуры для взрывозащищенного электрооборудования

Группа воспламеняемости смеси	Наибольшие температуры электрооборудования в исполнении					
	повышенной надежности против взрыва, искробезопасном				взрывонепроницаемом, продуваемом под избыточным давлением, специальным	масло-наполненном
	температура и перегрев на деталях, могущих соприкасаться со взрывоопасными смесями, °C				температура на стенках наружных оболочек, °C	температура верхнего слоя масла, °C
	внутри пыленепроницаемых корпусов		не защищенных пыленепроницаемыми оболочками			
	температура	превышение температуры	температура	превышение температуры		
А	300	265	200	165	200	100
Б	275	240	155	120	155	100
Г	140	105	105	70	105	100
Д	100	65	80	45	80	80

Примечание: На колбах электрических машин внутри светильников повышенной надежности против взрыва для взрывоопасных сред групп А, Б, Г температуры допускаются выше приведенных в таблице, но не выше температуры самовоспламенения для этих сред.

§ 7. ПОМЕЩЕНИЯ С НЕПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНОЙ СРЕДОЙ

Применение и эксплуатация электрооборудования связаны также с помещениями, в которых окружающая среда не содержит горючих газов, паров и пылей. Однако и в таких помещениях электрооборудование должно соответствовать условиям окружающей среды.

В основу классификации подобных помещений положено два соображения — воздействие окружающей среды на электрооборудование и техника безопасности при обращении с электрооборудованием.

Например, в помещениях с химически активной средой, которая разрушающе воздействует на изоляционные материалы электрооборудования, электрооборудование должно быть специального исполнения, отличающееся от такого же в помещениях с чистой сухой средой. Опасность поражения человека электрическим током

повышается в помещениях со средами, содержащими повышенную влагу, токопроводящую пыль и т. п.

В связи с этим по ПУЭ указанные помещения разделяются на следующие классы:

1. **Сухие помещения**, в которых относительная влажность не превышает 60%. При отсутствии в таких помещениях повышенной температуры ($+30^{\circ}\text{C}$ и выше), пыли и химически активной среды, они называются нормальными (жилые помещения, некоторые помещения учебных заведений, больниц, механические мастерские, цехи холодной обработки металлов, инструментальные цехи, воздухоудовные и компрессорные станции воздуха и других негорючих газов, цехи холодной штамповки и прокатки и т. п.).

С точки зрения возможности возникновения пожара от электрооборудования вследствие быстрого износа и разрушения электроизолирующих материалов эти помещения наиболее безопасные, ибо температура и влажность их являются нормальными, а других факторов, разрушающе действующих на изоляцию, нет.

2. **Влажные помещения**, в которых пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь временно и притом в небольших количествах и относительная влажность в которых не превышает 75% (неотапливаемые склады негорючих материалов, кухни в квартирах и т. п.).

3. **Сырые помещения**, в которых относительная влажность длительно превышает 75% (ванные комнаты, кухни общественных столовых, некоторые фабрично-заводские помещения, в которых применяется вода, водонасосные станции и т. п.).

4. **Особо сырые помещения**, в которых относительная влажность воздуха близка к 100% (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой). К особо сырým помещениям относятся некоторые помещения бань, прачечные, моечные, красильные, шлихтовые, отбелочные отделения текстильных фабрик и другие цехи с мокрым процессом.

В сырых и особо сырых помещениях создается большая опасность поражения человека электрическим током, так как изолирующие и защитные части машин и аппаратов в этих условиях покрываются влагой, их электроизолирующие свойства ухудшаются и создается возможность возникновения короткого замыкания, замыкания на землю, перекрытия изоляторов и других элементов.

5. **Жаркие помещения**, в которых температура длительно превышает $+30^{\circ}\text{C}$ (кузнечные, термические цехи, сушилки, сталелитейные, чугунолитейные, прокатные цехи, котельные и т. п.).

В помещениях этого класса при расчете электрических сетей необходимо уменьшать допустимую нагрузку, а требования к изоляции должны быть повышены, поскольку она быстро теряет свои качества.

6. **Пыльные помещения**, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль, оседающая на проводах и проводящая внутрь машин и аппаратов.

Пыльные помещения подразделяются на помещения с проводящей пылью (шлифовально-металлические цехи и т. п.) и на помещения с не проводящей пылью (цехи цементных и гипсовых заводов и т. п.).

Опасность помещений с проводящей пылью объясняется тем, что пыль, покрывая поверхность изоляторов, делает их проводниками, а покрывая поверхность человеческого тела, создает большую опасность поражения током.

7. **Помещения с химически активной средой**, в которых по условиям производства постоянно или длительно содержатся пары или образуются отложения, разрушающе действующие на изоляцию и токоведущие части электрооборудования (травильные отделения цехов, цех переработки азота, хлора, получения серной кислоты и т. п.).

§ 8. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ ПО КОНСТРУКТИВНОМУ ИСПОЛНЕНИЮ

Для обеспечения электрификации производственных процессов и создания нормальных условий работы электрооборудования электротехническая промышленность СССР выпускает электрические машины и аппараты различных конструктивных исполнений.

1. **Открытыми** называются машины и аппараты, не имеющие специальных приспособлений для предохранения от случайного прикосновения к вращающимся и токоведущим частям, а также для предотвращения попадания внутрь их посторонних тел.

2. **Защищенными** называются машины и аппараты, имеющие приспособления для предохранения от случайного прикосновения к вращающимся и токоведущим частям, а также для предотвращения попадания внутрь их посторонних предметов.

3. **Каплезащищенными** называются защищенные машины или аппараты, имеющие приспособления для предохранения их внутренних частей от попадания капель влаги, падающих отвесно.

4. **Брызгозащищенными** называются защищенные машины или аппараты, имеющие приспособления для предохранения от попадания внутрь их водяных брызг, падающих под углом до 45° к вертикали с любой стороны.

5. **Закрытыми** называются машины и аппараты, у которых внутренняя полость отделена от внешней среды оболочкой, защищающей их внутренние части от проникновения пыли.

5. **Обдуваемыми** называются закрытые машины или аппараты, снабженные вентиляционным устройством для обдувания их наружной части.

7. **Продуваемыми** называются брызгозащищенные машины или аппараты, в которых имеется возможность охлаждения их внутренних частей посторонним воздухом (или каким-либо другим агентом). В случае отвода охлаждающего воздуха (или иного агента) вне помещения продуваемые машины или аппараты являются **закрытыми** для данного помещения.

8. **Пыленепроницаемыми** называются аппараты, имеющие оболочку, уплотненную таким образом, что она не допускает проникновения внутрь аппарата тонкой пыли.

9. **Маслонаполненными** называются аппараты, у которых все нормально искрящие части погружены в масло таким образом, что исключается возможность соприкосновения между ними и окружающим воздухом, а неискрящие части заключены в закрытую или пыленепроницаемую оболочку.

10. **Взрывозащищенными** называются машины или аппараты, имеющие одно из исполнений, обеспечивающих безопасность его применения в условиях взрывоопасных помещений и наружных установок всех или только некоторых классов и утвержденное организацией, на это уполномоченной. Электрооборудование указанного типа рассмотрено в § 5.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Классификация пожароопасных помещений и наружных установок¹

№№ пп	Характеристика пожароопасности помещений или наружной установки	Класс пожаро- опасности
1	Помещения, в которых применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 45°C (например, склады минеральных масел, установки по регенерации минеральных масел, насосные станции ГЖ, цехи по пропитке хлопчатобумажной оплетки проводов и кабелей и т. п.).	П-I
2	Помещения, характеризующиеся выделением горючей пыли или волокон, переходящих во взвешенное состояние. Горючие частицы проникают внутрь электрооборудования, оседают на нем, технологических аппаратах и конструкциях здания. Возникающая при этом опасность ограничена пожаром (но не взрывом) либо в силу физических свойств пыли или волокон (степень измельчения, влажность и т. п.), при которых нижний предел взрыва составляет более 65 г/м ³ , либо в силу того, что содержание их в воздухе по условиям эксплуатации не достигает взрывоопасных концентраций (например, деревообделочные цехи, малозапыленные помещения мельниц и элеваторов, трепальные, прядильные и др. цехи текстильных фабрик, цехи хлопкоперерабатывающих и льноперерабатывающих заводов и т. п.)	П-II
3	Производственные и складские помещения, содержащие твердые или водокнистые горючие вещества, причем выделение горючих пылей или волокон, переходящих во взвешенное состояние, здесь не происходит (например, склады мануфактуры, бумаги, мебели и т. п., пакгаузы смешанных грузов, библиотеки, музеи и т. п.)	П-IIa
4	Наружные установки, в которых применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 45°C (например, открытые склады минеральных масел), а также открытые склады угля, торфа, дерева и т. п.	П-III

¹ Классификация дана в соответствии с ПУЭ.

Классификация взрывоопасных помещений и наружных установок¹

№№ п/п	Характеристика взрывоопасности помещений или наружной установки	Класс взрыво- опасности
1	2	3
1	Помещения, в которых выделяются горючие газы или пары в таком количестве и обладающие такими свойствами, что они могут образовать с воздухом или другими окислителями взрывоопасные смеси при нормальных недлительных режимах работы, например, при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранения или переливании легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, находящихся в открытых сосудах, и т. д.	B-I
2	Помещения, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих паров или газов с воздухом или другими окислителями не имеют места, а возможны только в результате аварий или неисправностей. К классам B-I и B-Ia, как правило, относятся помещения нефтеперегонных, газовых и химических заводов, в которых технологические процессы связаны с применением горючих газов, паров и жидкостей.	B-Ia
3	Помещения, характеризующиеся так же, как и помещения класса B-Ia, но имеющие одну из следующих особенностей: а) горючие газы в этих помещениях обладают высоким нижним пределом взрываемости (15% и более) и резким запахом при предельно допустимых по санитарным нормам концентрациях (например, машинные залы аммиачных, компрессорных и холодильных абсорбционных установок, отделения конверсии и контактное производство слабой азотной кислоты, отделения нейтрализации и грануляции, производства аммиачной селитры и др.); б) образование в аварийных случаях в помещениях общей взрывоопасной концентрации по условиям технологического процесса исключается, а возможна лишь местная взрывоопасная концентрация (например, помещения электролиза воды и поваренной соли); в) горючие газы, легко воспламеняющиеся и горючие жидкости имеются в помещениях в небольших количествах, не создающих общей взрывоопасной концентрации, работа с ними производится без применения открытого огня. Эти помещения относятся к нормальным,	B-1б

¹ Классификация дана в соответствии с ПУЭ.

1	2	3
	если работа производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами (лабораторные и опытные установки).	
4	Наружные установки, содержащие взрывоопасные газы, пары, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости (например, газгольдеры, сливные и наливные эстакады, резервуары с легковоспламеняющимися жидкостями, ректификационные, газофракционирующие и др. установки), где взрывоопасные смеси возможны только в результате аварии или неисправности.	B-Ir
5	Помещения, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна, обладающие такими свойствами, при которых они способны образовать с воздухом и другими окислителями взрывоопасные смеси при нормальных недлительных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов).	B-II
6	Помещения, в которых опасные состояния, указанные в характеристике помещений класса B-II, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей. К помещениям классов B-II и B-IIa могут относиться некоторые помещения мукомольных, комбикормовых, угле-размольных, крахмальных и т. п. производств, а также производства по приготовлению древесной муки и др.	B-IIa

Значения искробезопасных токов и мощностей

бензин

Индуктив- ность в μH	Напряжение в B	Значения искробезопасных токов (a) и мощностей ($вт$) при условной вероятности воспламенения $P=10^{-12}$									
		без шунта		$C=0,05 \text{ мкф}$		$C=0,1 \text{ мкф}$		$C=0,5 \text{ мкф}$		седловый шунт	
		a	$вт$	a	$вт$	a	$вт$	a	$вт$	a	$вт$
0,0001	6	1,628	9,72	—	—	—	—	—	—	—	—
	24	0,590	14,20	—	—	—	—	—	—	—	—
	110	0,363	40,00	—	—	—	—	—	—	—	—
0,001	6	0,422	2,54	—	—	—	—	—	—	—	—
	24	0,272	6,51	—	—	—	—	—	—	—	—
	110	2,190	20,80	—	—	—	—	—	—	—	—
0,01	6	0,176	1,06	—	—	—	—	—	—	—	—
	24	0,090	2,17	—	—	—	—	—	—	—	—
	110	0,069	7,65	—	—	—	—	—	—	—	—
0,1	6	0,053	0,32	0,136	3,26	0,180	4,32	0,210	5,05	0,257	6,15
	24	0,038	0,91	0,100	11,00	0,130	14,30	0,184	20,25	0,208	22,80
	110	0,034	3,69	—	—	—	—	—	—	—	—
1,0	6	0,017	0,40	0,084	2,02	0,130	3,12	0,180	4,32	0,232	5,56
	24	0,015	1,27	0,068	7,48	0,104	11,42	0,168	18,50	0,108	19,82
	110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6	0,017	0,40	0,051	1,27	0,098	2,35	0,152	3,65	0,203	4,89
	24	0,015	1,27	0,046	5,01	0,080	8,78	0,150	15,50	0,164	18,05
	110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Значения искробезопасных токов и мощностей

бензол	Индуктив- ность в 2π	Напряжение в α	Значения искробезопасных токов (a) и мощностей ($вт$) при условной вероятности воспламенения $P=10^{-12}$									
			без шунта		$C=0,05 \text{ мкф}$		$C=0,1 \text{ мкф}$		$C=0,5 \text{ мкф}$		селеновый шунт	
			a	$вт$	a	$вт$	a	$вт$	a	$вт$	a	$вт$
0,0001	6 24 110		1,360	8,16	—	—	—	—	—	—	—	—
			0,525	12,63								
			0,350	38,60								
0,001	6 24 110		0,323	1,84	—	—	—	—	—	—	—	—
			0,240	5,76								
			0,168	18,50								
0,01	6 24 110		0,134	0,80	0,120 0,100	2,88 11,00	0,148 0,112	3,54 12,30	0,180 0,140	4,32 15,40	0,240 0,180	5,75 19,80
			0,080	1,92								
			0,063	6,95								
0,1	6 24 110		0,040	0,24	0,076 0,066	1,82 7,25	0,112 0,092	2,68 10,10	0,160 0,128	3,84 14,10	0,204 0,148	4,90 16,30
			0,036	0,87								
			0,031	3,43								
1,0	6 24 110		0,016	0,39	0,046 0,044	1,11 4,84	0,090 0,068	2,16 7,48	0,144 0,116	3,46 12,76	0,190 0,130	4,56 14,30
			0,014	0,54								

Таблица 3

Допустимые значения токов для разных взрывоопасных сред

Взрывоопасная среда	напряжение источника тока в в	Допустимые токи в ма					
		индуктивность электрической цепи в гн					
		0,0001	0,001	0,01	0,1	0,5	1,0
ацетилен	6	250	140	50	30	15	—
	24	200	110	40	25	12	—
	60	100	90	30	20	8	—
водород	6	300	150	55	40	17	—
	24	220	120	45	30	14	—
	60	120	100	40	25	10	—
окись этилена	24	300	200	75	35	16	—
этилен, окись пропилена	6	500	350	120	45	22	—
	24	400	300	100	40	20	—
	60	220	180	60	35	18	—
эфир, пропан, ацетон	24	1150	700	200	80	40	—
	60	500	350	120	55	25	—
бензин	6	3300	855	358	105	—	—
	24	1190	550	180	75	—	34,0
	110	735	385	140	65	—	30,0
бензол	6	2760	795	270	80	—	—
	24	1065	485	160	70	—	32,0
	110	710	340	120	60	—	28,0

Примечание: Допустимые значения токов даны при вероятности воспламенения $P = 10^{-6}$ для постоянного тока и тока промышленной частоты (50 гц).

Таблица 4

Допустимые значения токов для разных взрывоопасных сред

Взрывоопасная среда	Допустимые токи в <i>ма</i>						
	напряже- ние источ- ника тока в <i>в</i>	индуктивность электрической цепи в <i>гн</i>					
		0,0001	0,001	0,01	0,1	0,5	1,0
ацетилен	6	200	90	35	18	10	—
	24	120	70	28	16	8	—
	60	70	55	20	14	5	—
водород	6	250	100	39	20	12	—
	24	130	75	30	18	10	—
	60	80	60	24	15	7	—
окись этилена	24	200	120	35	25	12	—
этилен, окись про- пилена	6	350	250	85	35	16	—
	24	300	200	70	28	14	—
	60	120	100	35	22	10	—
эфир, про- пан, ацетон	24	650	400	120	60	25	—
	60	250	200	70	30	14	—
							—
бензин	6	2520	679	283	85	—	—
	24	950	437	145	60	—	27
	110	580	305	111	54	—	24
бензол	6	2180	630	215	54	—	—
	24	845	385	125	58	—	25
	110	560	270	100	50	—	22

Примечание: Допустимые значения токов даны при вероятности воспламенения $P = 10^{-8}$ для постоянного тока и тока промышленной частоты (50 гц).

ЛИТЕРАТУРА

Л. Н. Баптиданов и В. И. Тарасов. Электрооборудование электрических станций и подстанций, т. I. Госэнергоиздат, 1960.

Сборник материалов Всесоюзного совещания в гор. Сталино «Взрывобезопасное электрооборудование». Изд. ЦБТИ МЭП СССР, 1959.

В. Е. Ульященко. Исследование взрывобезопасности электрооборудования в различных взрывчатых средах. Автореферат, 1958.

Р. Н. Енгибарова. Исследование влияния параметров электрических цепей на искробезопасность при работе контрольно-измерительных и автоматических устройств в атмосфере паров бензина и бензола. Автореферат, 1957.

В. Е. Ульященко. Исследование и испытание взрывозащищенного электрооборудования. Информационный сборник ЦНИИПО «Пожарная профилактика и средства пожаротушения». Изд. МКХ РСФСР, 1955.

В. Е. Ульященко. Исследование взрывобезопасности электрооборудования в условиях водорода-воздушной среды. Журн. «Пожарное дело» № 5, 1955.

В. Е. Ульященко. Пожарно-технические требования к электрооборудованию пожаровзрывоопасных помещений и наружных установок». Изд. МКХ РСФСР, 1957.

В. С. Кравченко и В. Е. Ульященко. Взрывобезопасность электрооборудования в атмосфере взрывчатых газов. Журн. «Вестник электропромышленности» № 9, 1958.

П. А. Фетисов. Взрывобезопасность электрического искрения в газовых смесях. Изд. МКХ РСФСР, 1959.

В. Н. Черкасов. Пожарная профилактика в сельских электроустановках. Изд. МКХ РСФСР, 1957.

В. Н. Черкасов. Методика рассмотрения электротехнической части проектов. Изд. ВШ МВД СССР, 1958.

В. Н. Черкасов. Пожарная профилактика в электротехнических установках (на правах рукописи). Обллитиздат, 1955.

ОГЛАВЛЕНИЕ

§ 1. Введение	3
§ 2. Типичные причины пожаров от электроустановок	4
Короткие замыкания	
1. Сущность явления и пожарная опасность	5
2. Влияние короткого замыкания на режим работы электроустановок	8
3. Величина токов короткого замыкания	11
4. Виды коротких замыканий	11
5. Причины коротких замыканий	12
6. Основные пожарно-профилактические мероприятия по предупреждению коротких замыканий	13
Явления перегрузки	
1. Сущность явления перегрузки	14
2. Причины перегрузки	16
3. Способы обнаружения перегрузки	18
4. Основные пожарно-профилактические мероприятия против перегрузки	20
Переходные сопротивления	
1. Сущность и пожарная опасность	21
2. Причины переходных сопротивлений	21
3. Основные пожарно-профилактические мероприятия по предупреждению переходных сопротивлений	23
§ 3. Пожаро- и взрывоопасные помещения и наружные установки с точки зрения их опасности при применении электрооборудования	25
Условия образования взрывоопасных смесей горючих газов, паров и пыли в помещениях и наружных технологических установках	25
Пожаро- и взрывоопасные помещения и наружные установки	27
Вентиляционные камеры	29
Аккумуляторные помещения	29
§ 4. Физические свойства взрывоопасных смесей газов или паров с воздухом	30
§ 5. Принципы взрывозащищенности электрооборудования	33
Взрывонепроницаемость	35
а) ширина фланцев	40
б) физико-химические свойства взрывоопасной смеси	41
Искробезопасность	43
Взрывозащищенность, основанная на заполнении объема оболочки электрооборудования	48
§ 6. Общие требования к взрывозащищенному электрооборудованию	49
§ 7. Помещения с непожаро- и взрывоопасной средой	52
§ 8. Классификация электрических машин и аппаратов по конструктивному исполнению	54
Приложения	57
Литература	65

Владимир Николаевич Черкасов

**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ
В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ**

Редактор **Н. С. Сухарев.**

Литературный редактор **Э. П. Чурова.**

Сдано в набор 17 октября 1960 года.

Подписано к печати 25.11.1961 г.

Л-71749. Формат бумаги 60×92¹/₁₆.

Печ. л. 4,25. Уч. изд. л. 3,56.

Тираж 1000 экз.

Заказ 6565.

Цена 11 коп.

Типография им. Воровского, Москва

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
8 11 16	3 снизу 7 снизу 1 снизу	$(U^1_{\text{рп}})$ через землю на рис 6.	$(U'_{\text{рп}})$ и земель на рис. 6, с чисто активной нагрузкой
17	формула	$I' I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} 1000}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi \eta}$	$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} 1000}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi \eta}$
33	табл. 5, графа «А», 2 строка сверху	аметил-стирол,	α -метил-стирол,
39 60	16 снизу 7—8 сверху	по табл. 7 пары, горючие и легковоспламеняю- щиеся жидкости	по табл. 4, 6 и 7 пары легковоспла- меняющихся жид- костей

К зак. 6565.