

# БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

МОНОГРАФИИ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ  
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ ПРОФ. А.А. ПРЕССА

ВЫПУСК 15-й

Проф. С. А. ПРЕСС

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

С 170 ФИГУРАМИ В ТЕКСТЕ

ГОСТРУДИЗДАТ  
1 9 3 0

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА Депозитарий  
МОНОГРАФИИ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ  
под редакцией проф. А. А. ПРЕССА и проф. С. А. ПРЕССА

---

ВЫПУСК ПЯТНАДЦАТЫЙ

Проф. С. А. ПРЕСС

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

С 170 фигурами в тексте

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА

ГОСТРУДИЗДАТ

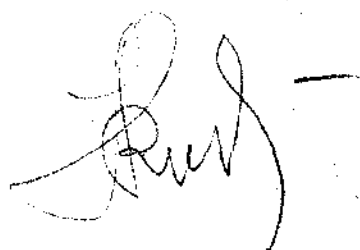
МОСКВА

1930

ЛЕНИНГРАД

71367844

ТИПОГРАФИЯ  
«КРАСНОЙ ГАЗЕТЫ»  
ИМЕНИ ВОЛОДАРСКОГО  
ЛЕНИНГРАД  
ФОНТАНКА 57

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'Линд' followed by a horizontal dash.

Светлой памяти моего дорогого отца и учителя,  
проф. АЛЕКСЕЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА ПРЕССА,  
я посвящаю эту книгу.

**Автор.**



3 декабря с. г., за несколько дней до выхода в свет настоящей книги, скончался профессор Алексей Александрович Пресс, инициатор, основатель и редактор издания „Безопасность Труда“. Сейчас, под свежим впечатлением тяжелой утраты, не время подробно говорить о деятельности проф. А. А. Пресса. Всю свою жизнь посвятил покойный делу защиты жизни и здоровья трудящихся, и имя его хорошо известно каждому работнику в области охраны труда и техники безопасности. Остаток же своих сил, в последние годы, Алексей Александрович отдал безраздельно изданию монографий по технике безопасности. Уже больной и ослабевший, он все еще редактировал книги, не желая расставаться с любимым делом. И нет лучшего способа почтить память дорогого Алексея Александровича, как продолжать, развивать и расширять издание „Безопасность Труда“!

## ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Дореволюционная Россия в электрофикации, как и в области промышленного и сельскохозяйственного машиностроения, была одной из наиболее отсталых стран. В этом между прочим и корни нашей бедности, отсталости, неграмотности и некультурности.

Ленинский план электрификации, утвержденный в 1920 году VIII съездом советов, мы развертываем в грандиозную программу по коренной перестройке всего нашего народного хозяйства на более высокой технической базе, гигантскими шагами догоняя в технико-экономическом отношении передовые капиталистические страны.

Электрификация является важнейшей составной частью всего пятилетнего плана социалистического строительства.

Благодаря дешевой энергии наших электроцентралей мы имеем возможность организовать и развить такие производства, которые нуждаются в огромном количестве электроэнергии.

Без электрификации было бы совершенно немыслимо разрешить те огромные задачи, которые мы поставили себе на будущее, в такой короткий отрезок времени, с таким размахом, с такими темпами, которых не знает ни одна страна в мире.

Возможности, открывающиеся перед нами благодаря успешному выполнению планов первого и второго года пятилетки, свидетельствуют о том, что лозунг выполнения пятилетки в 4 года вполне реален, а по некоторым отраслям промышленности этот план будет выполнен еще раньше. Так по нефтяной промышленности, по общему машиностроению, по сельскохозяйственному машиностроению и по электрической промышленности пятилетний план будет выполнен в среднем в три года.

В области электрификации за истекший 1929—30 г. план выполнен на 139% против наметок пятилетки. Выработка всей электроэнергии в 1928—29 г. составила 6,2 миллиардов киловатт-часов, а в 1929—30 г. достигает 8 миллиардов киловатт-часов — увеличение на 30%.

Электропромышленность — один из наиболее новых видов современной индустрии, порожденной электрификацией. В соответствии с его стремительным развитием, запроектированный пятилеткой выпуск продукции электропромышленности для 1932—33 г. в 1,1 миллиарда рублей к этому времени будет значительно превышен.

Все эти данные лучше всего показывают, насколько наш рабочий в социалистической промышленности и наш крестьянин-колхозник в обобщественном секторе сельского хозяйства вооружаются в своей работе машинами и механической энергией, что неминуемо должно привести к значительному повышению производительности труда и росту благосостояния трудящихся СССР.

В соответствии с этим выдвигается во всей широте вопрос о безопасности труда при работах с применением электротехнического оборудования, инструментов и разнообразной аппаратуры. Изучение этого вопроса даст возможность провести большую профилактическую работу в деле снижения травматизма и общего оздоровления условий труда, особенно в той отрасли промышленности, которая является неотъемлемой и важнейшей частью всего нашего великого производственного механизма.

## ВВЕДЕНИЕ.

Одной из главнейших и характернейших черт современной промышленности является колоссальное развитие потребления электрической энергии, и соответственно этому громадное увеличение числа электрических установок — электро-механических, электро-осветительных, электро-тепловых, электрохимических. Уже теперь большая часть всей потребляемой промышленностью энергии распределяется электрическим путем, причем процесс электрификации идет быстрыми шагами вперед, к полному вытеснению всех других способов и методов передачи энергии. Столь же важное, исключительное значение приобретает электричество и в домашнем быту, как это мы видим на примере наиболее развитых в техническом отношении стран.

Параллельно с этим мощным развитием идет и увеличение числа людей, постоянно имеющих дело с электрическим током. Если прежде, в раннюю пору развития электрификации, с электрическими установками имел дело сравнительно ограниченный круг лиц — специалистов электротехников, то теперь это положение радикально изменилось. При современном развитии электрического одиночного привода электродвигатель и электроаппаратура для его управления проникли во все уголки мастерских, став неотъемлемой, органической частью производственных машин и станков. С этим электро-оборудованием постоянно соприкасается значительная часть всех рабочих промышленных предприятий. То же самое в значительной степени относится и к другим электрическим установкам и приборам, осветительным, тепловым и пр. В особенности следует отметить сильнейшее развитие в настоящее время электрических приборов, на-

гревательных и других, в домашнем быту; эти приборы большей частью являются переносными, а при обращении с такими приборами приходится особенно тесно соприкасаться с ними.

В виду сказанного вопросы безопасности электрических установок приобретают ныне совершенно другое значение, чем это было еще сравнительно недавно. Дело идет о защите от опасности поражения электрическим током не узкого круга лиц — электротехников, а широких масс промышленных рабочих и даже всего населения. Помимо этой чисто количественной стороны дела, не меньшее значение имеет то обстоятельство, что защите подлежат люди, большей частью не имеющие никакого понятия ни об устройстве электрических машин и приборов, ни, вообще, о свойствах электрического тока и его опасности для жизни человека. Если кроме того принять во внимание невосприимчивость органов чувств человека к электрическому полю и, как следствие, невозможность использования природного инстинкта в качестве защитной меры, то указанная задача действительно станет во весь свой гигантский рост.

В раннюю эпоху развития электротехники вопрос о действии электрического тока на человеческий организм стоял очень остро, и, например, развитие электрических установок переменного тока вначале сильно тормозилось вследствие того, что такие установки считались слишком опасными для людей. В дальнейшем эти опасения в значительной степени рассеялись, и электротехника могла беспрепятственно совершать свое победоносное шествие. И действительно, среди всех других энергетических установок, служащих для производства, распределения и преобразования энергии, электрические установки оказались самыми безопасными. Электрический ток, несмотря на свое громадное распространение, фигурирует обыкновенно в ряду причин несчастных случаев на одном из последних мест. Главнейшая причина этого благоприятного явления заключается в том, что электротехника с самого начала своего развития была поставлена на прочные научные основы, обеспечивающие правильную, надежную и безопасную работу электрических установок. Больше, чем в какой-либо другой области техники вопросы безопасности для человека здесь тесно переплетаются с вопросами

надежности, долговечности и экономичности работы самих электрических установок. Достаточно указать на технику изоляции токоведущих частей, чтобы понять, насколько все указанные выше вопросы тесно связаны между собой. При таких условиях вопросы безопасности обыкновенно разрешались попутно с разрешением других технических вопросов, как при конструировании электрических машин и приборов, так и при эксплуатации электрических установок. Самое выделение и ограничение техники безопасности электрических установок, как самостоятельной отрасли знания, было затруднительным и могло казаться даже излишним.

В настоящее время, однако, в связи с указанным выше грандиозным распространением электрических установок, подобная постановка вопроса уже не может быть признана удовлетворительной. Требования к электрическим установкам в отношении их безопасности возрастают на наших глазах, и то, что еще недавно казалось достаточно надежным и вполне допустимым, сейчас уже не удовлетворяет новым правилам и нормам. Так, на первый план теперь выдвинуто требование о том, чтобы находящиеся под напряжением токоведущие части в аппаратуре, предназначенной для широкого пользования, были бы действительно недоступны для прикосновения, даже при неумелом и неосторожном обращении с этой аппаратурой. Не меньшее значение имеет и требование защитного заземления, имеющее целью предотвратить поражение током даже в случае повреждения электрической установки и появления напряжения на корпусе машины или прибора. Подобные задачи являются уже специфическими задачами предохранительной техники, ибо они касаются только защиты людей, а не действия самих установок.

Параллельно с интенсивным развитием новых предохранительных мер, конструкций и приспособлений в настоящее время повсюду идет работа по пересмотру и переработке основных правил безопасности, по разработке классификации электрических установок, по исследованию опасных моментов в электрических установках, по изучению влияния электрического тока на организм человека и т. д. В разных странах, при электротехнических объединениях и учреждениях основываются Комис-

сии для изучения и разработки указанных вопросов, которые находят себе также все большее и большее отражение в технической литературе. У нас эти вопросы, помимо электротехнических учреждений (ЦЭС и др.), поставлены в порядок дня Исследовательских Институтов по Охране труда, которые уже дали несколько работ в этой области. Таким образом за последние годы выросла и оформилась новая область знаний — техника безопасности электрических установок, которой и посвящен настоящий труд.

Первая глава книги посвящена подробному исследованию физиологического действия электрического тока на организм человека, главным образом в зависимости от тех или иных электрических факторов; вопрос этот далеко еще не достаточно изучен в науке и практике, а между тем он имеет решающее влияние на всю область техники безопасности электрических установок. Во второй главе дается статистическая характеристика электро-травматизма. Третья глава посвящена анализу электрических установок с точки зрения безопасности и расчету силы тока, могущего пройти через тело человека при разных условиях прикосновения. В четвертой главе дается оценка существующих методов классификации установок, главным образом по величине напряжения и, в связи с этим, рассматривается вопрос о применении напряжения 380/220 вольт. Пятая глава дает общий обзор правил и мер безопасности при эксплуатации электрических установок. Центральное место в книге занимают шестая и седьмая главы, касающиеся основных вопросов техники безопасности электрических установок — защиты от прикосновения к токоведущим частям и защитного заземления. Особенное внимание обращено на защитное заземление в распределительных сетях и установках, потребляющих электрическую энергию. Эта область, весьма мало до сих пор разработанная, имеет в настоящее время актуальнейшее значение и вызывает острый интерес со стороны технических кругов, как это, между прочим, обнаружилось на 1-ой Всесоюзной Конференции по электромоторным проводам (Харьков, апрель 1930 года), на которой автором этой книги был сделан доклад на тему о безопасности электромоторных установок. Отдельная — восьмая —

глава посвящена переносным электрическим устройствам (лампам и приборам), представляющим в отношении поражений электрическим током особые опасности. Наконец, последняя — девятая — глава дает обзор специальных защитных средств, применяемых при обслуживании электрических установок.

Предлагаемая книга имеет своим объектом лишь поражения электрическим током и меры борьбы с этой опасностью. Все другие опасности, связанные с обслуживанием электрических установок (переноска тяжестей, ушибы, поранения инструментами и пр.), в книге не рассматриваются, как не специфические для электрических установок; сведения о защите против этих опасностей можно найти в других выпусках настоящей серии. Равным образом не затрагивается и вопрос о пожарной опасности электрических установок, ибо этот вопрос, весьма важный и большой, должен быть по существу отнесен к области противопожарной охраны промышленных предприятий, которой предполагается посвятить в настоящей серии особую монографию.

В соответствии с общим характером монографий по технике безопасности настоящей серии, данная книга ограничивается вопросами предотвращения несчастных случаев, а не их ликвидации. Поэтому, в книгу не включена глава о подаче первой помощи пострадавшим от электрического тока, тем более, что методы оживления пораженных током мало отличаются от таковых же, применяемых при многих других несчастных случаях.

Дальнейшие ограничения вызваны стремлением избежать параллелизма с другими выпусками настоящей серии, как уже изданными, так и намеченными к изданию. В книге не разработаны некоторые вопросы, касающиеся техники безопасности электрических установок высокого напряжения, ибо эти вопросы подробно изложены в книге проф. А. А. Смурова „Токи высокого напряжения“ (выпуск 7-ой серии); в соответствующих местах в настоящей монографии имеются ссылки на указанную книгу.

Особые отрасли электротехники также выходят за рамки настоящей книги. Так, технике безопасности радио-установок



был посвящен труд безвременно погибшего проф. И. Г. Фреймана (вып. 2-ой серии), бывшего одним из первых сотрудников энциклопедического издания „Безопасность Труда“.

Электрическим горным установкам, электрическим трамваям и другим специальным установкам также предполагается посвятить отдельные монографии.

## ГЛАВА I.

### ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ.

#### а. Общие соображения.

Несчастные случаи от электричества вызываются поражениями человека электрическим током. Поражения электрическим током весьма сильно отличаются от всех прочих источников несчастных случаев в промышленности. Опасность той или иной применяемой в промышленности машины, того или иного прибора, устройства, вещества или материала характеризуется возможностью поражения одного определенного рода. Так, в отношении машин мы обыкновенно имеем дело с механическими травмами, те или иные вещества или материалы могут причинить ожоги или известного типа отравления. Во всех этих случаях обыкновенно имеется поражение более или менее локализованное, дающее определенную клиническую картину заболевания. Действие же электрического тока на организм человека, по сравнению с другими источниками несчастных случаев, можно охарактеризовать как весьма сложное, комплексное. Электрический ток действует на все части, все ткани человеческого тела, причем это действие выражается в самых разнообразных формах. Здесь наблюдается и механический эффект электрического тока (разрыв тканей), тепловой эффект (ожоги, перегревание внутренних частей тела), химический эффект (электролиз крови и других органических веществ). Помимо всех этих эффектов существуют еще и другие, в настоящее время еще мало изученные воздействия электрического тока на человеческий организм, в том числе один из наиболее важных эффектов электрического тока в отношении нервов и психической системы человека.

При настоящем уровне знаний о физиологических действиях электрического тока представляется весьма трудным дать правильную, научно обоснованную классификацию поражений электрическим током. Мы разделим электрические поражения на две главные группы — именно электрические удары и электрические травмы. Под электрическими ударами мы будем подразумевать поражения внутренних органов тела человека (сердце, органы дыхания, нервная система), под травмами — поражения внешних органов (ожоги, повреждения конечностей и пр.). Принятое нами деление в значительной степени условно, ибо весьма часто поражаются одновременно как внутренние, так и внешние органы. Кроме того, и самый термин „электрические травмы“ может иметь более общий характер, будучи относим ко всяким повреждениям от электрического тока, в том числе и к электрическим ударам. С другой стороны, практика несчастных случаев от электричества показывает, что внутренние и внешние поражения по общему своему характеру, по своим последствиям, по методам оказания первой помощи пострадавшим, настолько отличаются друг от друга, что является вполне естественным, в целях удобства изложения, ввести указанное выше деление. В дальнейшем, поэтому, мы и рассмотрим отдельно электрические удары и электрические травмы, понимая под последними повреждения внешнего характера. Прежде чем, однако, приступить к описанию поражений электрическим током, мы остановимся на свойствах человеческого организма в отношении электрической проводимости, или, другими словами, на вопросе об электрическом сопротивлении человеческого тела.

## **в. Электрическое сопротивление человеческого тела.**

Первое, с чем приходится сталкиваться в вопросе о поражениях электрическим током — это исследование тела человека, как проводника тока, обладающего некоторым электрическим сопротивлением. Измерения сопротивления человеческого тела производились уже издавна многими исследователями, физиками и врачами. Первые опыты в этом направлении сделаны были еще отцом науки об электричестве, знаменитым Volta, а систе-

матические измерения сопротивления тела человека были проведены впервые Вебером в 1836 году. Затем, во второй половине прошлого столетия этим вопросом занялись врачи, в связи с возникновением и развитием электротерапии и электродиагностики. Из работ этого периода можно отметить, в качестве примера, докторскую диссертацию русского врача И. П. Тишкова<sup>1)</sup>, опубликованную в 1886 году, весьма обстоятельную и интересную. В конце прошлого столетия, в связи с развитием электротехники сильных токов, представляющих опасность для жизни и здоровья человека, вопрос о сопротивлении человеческого тела получил интерес в отношении изучения несчастных случаев от электричества и борьбы с ними, а потому эта проблема сделалась актуальной и для техники.

Если раньше, в „слаботочный“ период истории развития электротехники, при испытаниях ограничивались применением очень небольших напряжений (порядка нескольких вольт) и токов (порядка не более одного миллиампера), то в более новое время внимание исследователей было сосредоточено главным образом на испытаниях при условиях, по возможности близких к тем, которые имеются в промышленных установках сильного тока. Однако, здесь встретились затруднения из-за того, что уже напряжение в 110 вольт может при известных условиях представить опасность для жизни человека, как об этом излагается подробнее дальше. Поэтому производство опытов над людьми может быть допущено только при соблюдении целого ряда предосторожностей, что понижает ценность исследований, ибо создаются искусственные условия, не существующие в практической жизни. Производство опытов над трупами или над животными по той же причине не имеет большой практической ценности. Наблюдения над условиями прохождения через человеческое тело токов значительной силы (за исключением токов высокой частоты) возможны и действительно, производились либо случайно на электрических установках, в моменты поражений людей током, либо же во время электрических казней,

---

<sup>1)</sup> И. П. Тиш к о в. О сопротивлении человеческого тела электрическому току. Диссертация на степень доктора медицины. С.-Петербург, 1886.

применяющихся в Америке. Систематические исследования при таких условиях вряд ли могут быть произведены.

В последнее время, однако, замечается большой прогресс в деле экспериментального изучения прохождения тока через тело человека. Новейшие опыты ведутся большей частью над живыми людьми, причем токи пропускаются такой силы, какую только люди могут выдержать. Из исследований подобного рода следует отметить интересные опыты, организованные управлением электрических станций в Цюрихе (Швейцария); к результатам этих опытов мы в дальнейшем еще вернемся <sup>1)</sup>.

При ознакомлении с опытами по измерению сопротивления человеческого тела, производившимися в течение многих десятилетий, приходится отметить чрезвычайно разнообразие и неровность результатов. В длиннейшей галлерее цифр, представляющих сопротивление тела человека в омах, можно найти любые цифры, на иная от нескольких сотен до нескольких миллионов. Все эти цифры, взятые сами по себе, без надлежащего учета всех условий, при которых производился тот или иной опыт, конечно, не могут привести ни к каким выводам. Вполне же правильно учесть все эти условия является задачей весьма трудной, в виду крайней сложности и недостаточной изученности явлений прохождения тока через живой организм. Естественно, поэтому, что характеристика условий опытов, даваемая различными исследователями и авторами, обыкновенно недостаточна, а иногда и вовсе отсутствует. Таким образом, цифры, полученные из разных опытов и исследований, вообще говоря не сравнимы между собой, вследствие чего от подробного количественного анализа опытных данных необходимо отказаться.

В дальнейшем мы попытаемся проследить влияние различных факторов на величину сопротивления тела человека, пользуясь сравнением цифр, полученных в результате таких опытов, когда резко изменяется один из параметров, а другие сохраняются приблизительно постоянными.

<sup>1)</sup> См. Beitrag zur Kenntnis der Vorgänge beim Stromdurchgang durch den menschlichen Körper. Von den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich. — Bulletin, Schweiz. Elektrotechnischer Verein. 1929, № 13.

1. Расположение электродов и их площадь. На первый взгляд можно было бы ожидать, что сопротивление должно возрастать с увеличением расстояния между электродами. На самом деле, как показывают многочисленные опыты, расстояние между токоподводящими частями или электродами не имеет сколько нибудь значительного влияния на величину измеряемого сопротивления. По крайней мере, в этом отношении трудно проследить какую бы то ни было закономерность; сопротивления всевозможных порядков наблюдались как при ближайшем расположении обоих электродов, напр., на груди, на одной и той же руке, так и при расположении на противоположных концах тела, напр., на голове и на ноге. Указанное явление объясняется тем, что главное сопротивление представляет кожа человека (см. дальше), а не внутренние части тела; поэтому длина пути тока внутри тела между двумя участками кожи, где ток входит и выходит из тела, не может иметь серьезного значения.

С другой стороны, величина площади электродов имеет уже существенное значение, и сопротивление тела, как правило, падает с увеличением площади. Так, напр., в упомянутых выше опытах, произведенных в Цюрихе, ток пропусклся через людей от одной руки к другой, причем испытуемые плотно обхватывали руками электроды в виде цилиндрических брусков разных диаметров (от 9 до 20 миллиметров). Для определения площади соприкосновения электроды покрывались графитом; зачерненная поверхность руки давала искомую площадь. По данным опытов сопротивление тела, при прочих равных условиях, изменялось приблизительно обратно пропорционально площади соприкосновения, т. е. согласно закону Ома. Удельное сопротивление поверхности кожи, т. е. сопротивление, отнесенное к  $1 \text{ см}^2$  площади прикосновения, менялось для разных лиц от 22500  $\Omega$  до 180000  $\Omega$ ; но для одного и того же лица, при изменении площади от  $30 \text{ см}^2$  до  $0,75 \text{ см}^2$ , удельное сопротивление колебалось между 75000  $\Omega$  и 88000  $\Omega$ , т. е. оставалось приблизительно постоянным. Однако, при дальнейшем уменьшении площади соприкосновения, удельное сопротивление начинало быстро уменьшаться. Испытание происходило на переменном токе частотой 50 ~.

Другие исследования показывают, что падение сопротивления происходит далеко не обратно пропорционально увеличению площади электродов, т. е. удельное сопротивление меняется в очень широких пределах. Так, напр., И. П. Тишков производил измерения таким образом, что один из электродов (соединенный с батареей элементов) сохранялся постоянным, а другой состоял из четырех равных частей, прикладываемых к телу один рядом с другим. При прикладывании каждой из этих частей порознь получались следующие величины сопротивлений (в омах): 30000, 35000, 22000 и 25000. При введении же в действие всех четырех частей получилось сопротивление в 22000  $\Omega$ , между тем, как оно должно было быть значительно меньше. Объяснить подобные результаты можно тем, что электрический ток идет не только прямо сквозь кожу, нормально к ее поверхности, а распространяется также во все стороны по мелким бороздкам и трещинам в коже, наполненным влагой и потом. Это еще в гораздо большей степени относится к дальнейшему прохождению тока, прошедшего через наружный кожный покров. Здесь ток распространяется по всем направлениям, пользуясь для этого преимущественно густой сетью кровеносных сосудов, представляющих среди различных составных частей человеческого тела наименьшее электрическое сопротивление.

Что касается расположения электродов на отдельных участках тела, то некоторые из этих участков обнаруживают обыкновенно большее сопротивление, а другие меньшее. К первым относятся тыльные поверхности ладоней, коленные чашки; ко вторым — поверхность лица, внутренние поверхности ладоней (в случае отсутствия мозолей), паховая область. Решающую роль здесь играют свойства кожного покрова, а не внутренних органов, как это будет показано дальше.

2. Кожа и ее состояние. Многочисленными опытами вполне доказано то громадное значение, которое имеет для электрической проводимости тела его наружный покров или кожа, в частности внешний роговой слой эпидермы. Этот слой, лишенный кровеносных сосудов и нервов, обладает, если кожа суха, очень высоким электрическим сопротивлением, составляющим обычно большую часть сопротивления всего тела. Следующие

данные, полученные разными исследователями, ясно это показывают. Так, Hitzig обнажал на теле человека от эпидермы небольшую поверхность и пропускал слабый ток сначала через поврежденное место, а затем через рядом лежащие здоровые места. Сопротивление в первом случае оказалось равным 640  $\Omega$ , а во втором — 90000  $\Omega$ ; таким образом сопротивление эпидермы было в 140 раз больше, чем сопротивление всей остальной части тела, введенной в цепь. Тишков, ставивший свои опыты в данном случае над трупами, снимал пемзой сначала лишь роговой слой, а затем соскабливал и всю эпидерму. Сопротивление в случае неповрежденной кожи было в нескольких опытах от 36000  $\Omega$  до 45000  $\Omega$  (в других опытах до 300000  $\Omega$ ), после удаления рогового слоя оно падало до 1000—2500  $\Omega$ , а после удаления всей эпидермы — до 700—800  $\Omega$ . Более поздние данные вполне подтверждают результаты вышеуказанных опытов. Так, например, Jellinek<sup>1)</sup> находил сопротивление тела человека без наружного кожного покрова равным около 1000  $\Omega$ . Таким образом мы видим, что, действительно, наибольшее сопротивление имеет именно тонкий наружный роговой слой, затем остальная часть эпидермы и, наконец, все другие части тела, введенные в цепь тока.

Однако, под влиянием целого ряда условий, электрическое сопротивление наружного покрова может изменяться в широчайших пределах. С одной стороны, при заскорузлой, огрубелой и мозолистой коже, как это часто имеет место на ладонях рук и подошвах ног, наружный роговой слой утолщается, и сопротивление обыкновенно увеличивается. С другой стороны, обратное, и еще гораздо большее влияние имеет присутствие влаги на коже. Согласно исследованиям, произведшимся в Цюрихе, для лиц, обладающих от природы сухой, не потеющей кожей и сравнительно высоким сопротивлением тела, смачивание рук чистой ключевой водой уменьшало общее сопротивление тела в среднем на 40%, а смачивание содовым раствором — на 60%. В отношении людей, отличающихся сравнительно низким

<sup>1)</sup> Stephan Jellinek. Der elektrische Unfall. 1925. Русский перевод д-ра А. А. Ледяева и инж. П. И. Синева под названием „Несчастные случаи от электричества“ появился в 1927 г.



сопротивлением, смачивание рук водою и раствором не дает столь сильного уменьшения сопротивления, как это и должно быть, ибо кожа у таких людей обыкновенно и без смачивания несколько влажна от пота.

Присутствие пота на коже является важнейшим фактором в отношении сопротивления человеческого тела. Даже небольшие, невидимые количества пота на ладонях рук заметно уменьшают электрическое сопротивление кожи. Индивидуальные различия среди людей, обнаруживающиеся при измерении сопротивления, главным образом связаны с физиологическими особенностями кожи и в частности с работой потовых желез.

Цюрихские опыты были произведены над 25 лицами, мужчинами и женщинами, служащими и рабочими. Индивидуальные колебания сопротивления тела, главным образом в зависимости от природных свойств кожи, без искусственного ее смачивания, оказались следующие. Наивысшие величины сопротивления тела (от руки к руке, у людей с сухой кожей), измеренные среди указанных 25 лиц, превосходили наинизшие (у людей с легко потеющей кожей), при прочих равных условиях, в среднем в 3 раза. Соответствующие абсолютные величины сопротивления приведены ниже, в следующем разделе.

Опыты, произведенные другими исследователями, обнаружили еще гораздо большие колебания сопротивления в зависимости от состояния кожи. Эти опыты показывают, что при очень потной и влажной коже электрические свойства эпидермы меняются совершенно, и ее сопротивление может стать одного порядка с сопротивлением внутренних частей тела. Так, проф. Jellinek производил измерения сопротивления тела на большом числе рабочих электротехников и получал в случае сухой кожи величины от 50000  $\Omega$  до нескольких миллионов омов. У лиц же с потными руками и ногами сопротивление составляло обыкновенно лишь несколько тысяч омов. Влиянием сильно потной и влажной кожи можно объяснить целый ряд весьма низких величин сопротивления человеческого тела, полученных разными исследователями. Как на пример чрезвычайно низкого сопротивления можно указать на опыт Gieseking'a, получившего между рукой и ногой в сыром состоянии сопротивление в 362  $\Omega$ .

Такой же эффект уничтожения высокого сопротивления эпидермы получается, если приложить к телу высокое напряжение, вызывающее сравнительно большую силу тока. При этом, вследствие резкого изменения температуры, кровяного давления, деятельности потовых желез и кровеносных сосудов и т. д., эпидерма и ее роговой слой испытывают перерождение. В результате защитные свойства кожи исчезают, и ее электрическое сопротивление понижается до очень малой величины. Подробнее об этом будет сказано дальше.

3. Напряжение и сила тока. Целый ряд опытов показывает, что с увеличением приложенного напряжения, сопротивление человеческого тела сильно падает. Из опытов при малых напряжениях, на слабом токе, можно упомянуть прежде всего об опытах И. П. Тишкова, пропускавшего через тело человека ток сначала от 1 элемента, затем от 6, и, наконец, от 12 элементов, т. е. при напряжениях приблизительно в 1 V, 6 V и 12 V. Сопротивление тела при этом оказывается в одном опыте (при 3-х напряжениях) 25000  $\Omega$ , 12000  $\Omega$ , и 4000  $\Omega$ , в другом 100000  $\Omega$ , 40000  $\Omega$  и 16000  $\Omega$ , в третьем 50000  $\Omega$ , 18000  $\Omega$  и 10000  $\Omega$  и т. д. По опытам Gildemeister'a, сопротивление тела человека от одной руки до другой составляло при 2 V—160000  $\Omega$ , при 6 V—40000  $\Omega$  и при 10 V—8000  $\Omega$ ; каждое измерение производилось через 15 минут после замыкания цепи.

Весьма интересные опыты были произведены профессором Цюрихского Политехникума Вебером (H. P. Weber) в 1897 году<sup>1)</sup> над самим собой. Пользуясь трансформатором с подразделенной обмоткой и многими зажимами, Weber включался в сеть переменного тока путем прикосновения рук к массивным зажимам на различные напряжения и сам отсчитывал по приборам силу тока и напряжения. Напряжение он повышал до тех пор, пока мог выдержать электризацию тела и производить отсчеты; эти опыты он производил как с мокрыми, так и сухими руками. Результаты опытов даны в нижеследующей таблице:

<sup>1)</sup> Опыты проф. Вебера изложены в статье: Wie hoch muss eine Spannung sein, um dem Menschen gefährlich werden. Bulletin, Schweiz. Elektrotechnischer Verein 1928, № 21.

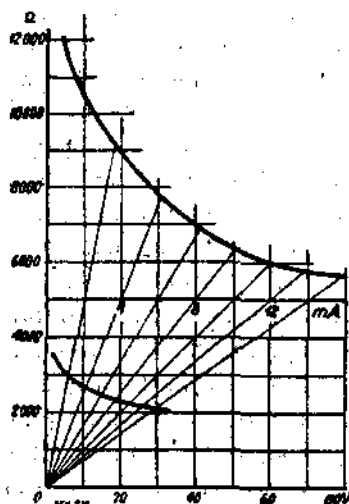
ТАБЛИЦА I.

| Напряжение<br>в вольтах | Мокрые руки            |                         | Сухие руки             |                         |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
|                         | Сила тока<br>в амперах | Сопротивление<br>в омах | Сила тока<br>в амперах | Сопротивление<br>в омах |
| 10                      | 0,001                  | 10000                   | —                      | —                       |
| 20                      | 0,0022                 | 9100                    | —                      | —                       |
| 30                      | 0,0135                 | 2220                    | —                      | —                       |
| 40                      | 0,0205                 | 1955                    | —                      | —                       |
| 50                      | —                      | —                       | 0,0001                 | 50000                   |
| 60                      | —                      | —                       | 0,0008                 | 75000                   |
| 70                      | —                      | —                       | 0,0018                 | 38900                   |
| 80                      | —                      | —                       | 0,01                   | 8000                    |

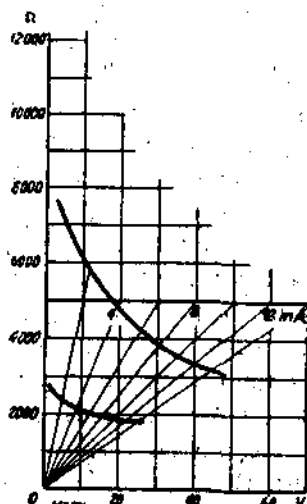
Как показывает таблица, сопротивление тела быстро убывает с возрастанием приложенного напряжения. Таблица, кроме того, ясно показывает, что значение имеет не само напряжение, а сила тока, в зависимости от которой и изменяется сопротивление при данном состоянии поверхности кожи. Падение сопротивления с увеличением силы тока наблюдается как при несмоченной, так и при мокрой коже, однако во втором случае падение сопротивления происходит далеко не так быстро. Объясняется это тем, что нагревание кожи при пропускании тока и появление на ней пота имеет гораздо большее значение в первом случае, нежели во втором, когда рука и без того, уже в самом начале опыта, покрыта влагой, хотя и не столь токопроводящей, как пот.

Опыты Вебера до последнего времени оставались мало известными и были опубликованы в технической литературе только в 1928 году, через 30 лет после их совершения. Это опубликование послужило сильным толчком для производства дальнейших опытов и исследований в более широком масштабе. Исследования, произведенные в Цюрихе над 25 лицами, о которых уже говорилось выше, в общем подтвердили результаты опытов Вебера. При всех испытаниях сопротивление падало с увеличением силы тока, причем сила тока изменялась от 0,5 мА (0,0005 А) до 14 мА (0,014 А). Переменный ток пропускался от

руки к руке, при чем подвергавшиеся испытаниям обхватывали руками цилиндрические электроды диаметром 20 мм и длиной 160 мм. Результаты измерений изображены в виде графиков фиг. 1 и 2, дающих зависимость сопротивления от силы тока; график фиг. 1 относится к испытаниям людей с сухими руками, а фиг. 2 — при смачивании рук чистой водой. Далее, на каждом графике показаны две кривые, проведенные через точки крайних значений сопротивлений, наивысших и наинизших, полученных при



Фиг. 1. График сопротивления тела человека при сухих руках.



Фиг. 2. График сопротивления тела человека при мокрых руках.

данных токах у 25 лиц, подвергнутых испытаниям. Площадь графика, заключающаяся между двумя крайними кривыми, представляет собой всю область измеренных сопротивлений, изменяющихся как в зависимости от силы тока, так и от индивидуальных особенностей испытуемых лиц. Как и следовало ожидать, наибольшее изменение в зависимости от силы тока претерпевает сопротивление у лиц с природным высоким сопротивлением, без искусственного смачивания (фиг. 1, верхняя кривая); при увеличении силы тока от 0,5 мА до 14 мА сопротивление уменьшается с 11500 Ом до 5740 Ом, т. е. в 2 раза. У людей с природным

низким сопротивлением (фиг. 1, нижняя кривая), соответствующее изменение сопротивления меньше, ибо даже и без прохождения электрического тока кожа у таких людей отличается некоторой влажностью; так, при том же увеличении силы тока, сопротивление падает с 3600  $\Omega$  до 2150  $\Omega$ , т. е. на 40%. Еще меньше падение сопротивления при искусственном смачивании рук водой, как показывает график фиг. 2.

При обычно применяемых промышленных напряжениях сильного тока, как высоких, так и низких, опыты над живыми людьми, как уже было отмечено, становятся опасными. Имеющиеся данные получены благодаря случайным наблюдениям в моменты поражений электрическим током, или же относятся к электрическим казням; как те, так и другие данные приведены в статье инженера K. Alvensleben'a<sup>1)</sup>. В этой статье описываются три несчастных случая, при которых можно было установить верхний предел сопротивления тела человека, пораженного электрическим током. Установить, хотя бы приблизительно, действительную величину сопротивления в таких случаях невозможно с одной стороны потому, что ток проходит обыкновенно через обувь, сильно увеличивающую сопротивление всей цепи, а с другой стороны потому, что наблюдения обыкновенно могут быть сделаны только по сгоревшим предохранителям и выключенным автоматам. В одном из этих случаев, по Alvensleben'у, при напряжении в 15000 V сопротивление было значительно менее 1500  $\Omega$  в другом случае, также при 15000 V — значительно менее 3750  $\Omega$ , конец, при 40000 V — значительно менее 800  $\Omega$ .

Гораздо более точными являются измерения, сделанные в Америке, во время совершения казней электрическим путем. Alvensleben приводит следующие цифры, относящиеся к разным случаям электрических казней в Америке: в одном случае от 800  $\Omega$  до 215  $\Omega$  (в зависимости от продолжительности включения) при напряжении 1600—1500 V, в другом — от 257 до 180  $\Omega$  при напряжении 1000 V (данные Spitzka) и в третьем — 250  $\Omega$  при напряжении 2500 V.

1) K. Alvensleben. Elektrische Unfälle. ETZ. 1926, № 34.

По наблюдениям Ogle<sup>1)</sup>, сделанным им в американской тюрьме Синг-Синг (Sing-Sing), известной применением к осужденным электрической казни, сопротивление человеческого тела при напряжении порядка нескольких вольт оказывалось равным 40000  $\Omega$ , при 110 V — 10000  $\Omega$ , и наконец, при напряжении 2000 V — 200  $\Omega$ .

Подобные же низкие значения сопротивления были отмечены и во время казни американских революционеров Сакко и Ванцетти, происшедшей в ночь с 22 на 23 августа 1927 года. Сакко погиб при напряжении 1800—2000 V и при силе тока 11—15 A, что соответствует сопротивлению 133—163  $\Omega$ ; при казни Ванцетти напряжение были 1400—1950 V, сила тока 9—11 A, т. е. сопротивление 155—177  $\Omega$ .

Во всех случаях электрических казней сопротивление искусственно понижается благодаря применению особых электродов с прокладками, пропитанными соляным раствором. Однако даже принимая это во внимание, нельзя не убедиться из сравнения между собой всех вышеописанных опытов, насколько разные свойства человеческого тела, как проводника, при малых и больших напряжениях и как сильно падает сопротивление тела при переходе от напряжений в несколько вольт к напряжениям в несколько тысяч вольт.

Объяснение этого факта нужно искать в отмеченном уже выше явлении перерождения кожного покрова под влиянием пропускаемого тока. Явление это происходит резко и быстро при больших напряжениях, и медленно и постепенно при малых, но сущность его остается, повидимому, одной и той же. Происходит нечто в роде электрического пробоя рогового слоя эпидермы под влиянием приложенного напряжения. Но так как мы имеем здесь дело не с диэлектриком, а с плохим проводником или полупроводником особого рода, пробой или уменьшение сопротивления может происходить не только при высоких напряжениях, но и при низких, вплоть до очень малых, порядка нескольких вольт. Возможно, что подобные же изменения электрических свойств, под влиянием тока, происходят и во

<sup>1)</sup> Ogle. Electrical World, 5 april 1922, стр. 273.

внутренних органах человеческого тела, но эти изменения влияют мало на результат измерения, в виду резкого преобладания сопротивления наружного рогового слоя над сопротивлением всей остальной части цепи.

4. Продолжительность включения. В тесной связи с влиянием напряжения и силы тока стоит и влияние продолжительности включения или контакта на величину сопротивления. Если наружный кожный покров и другие части человеческого тела изменяют под влиянием прохождения тока свои электрические свойства, и притом в сторону уменьшения сопротивления, то для такого действия тока требуется известное время. В течение этого промежутка времени сопротивление должно падать, начиная от своего наибольшего значения в момент включения и до наименьшего значения при установившемся режиме. Впрочем об установившемся режиме, в строгом смысле этого слова, здесь говорить не приходится, ибо для этого требуется производство опыта в течение продолжительного срока, во время которого остальные условия и факторы, влияющие на величину сопротивления, никогда не удастся сохранять постоянными. Если, кроме того, вспомнить, что сопротивление зависит от условий состояния и деятельности разных органов человеческого тела в каждый данный момент, в том числе и психической сферы, нужно будет признать, что о постоянстве электрического сопротивления тела, как известной физической величины, вообще трудно говорить.

Обращаясь опять к работе И. П. Тишкова, мы находим у него серию опытов, когда сопротивление измерялось через известные промежутки времени после замыкания цепи. В одном случае получились следующие величины: тотчас после замыкания более 200000  $\Omega$ , спустя 0,5 минуты — 150000  $\Omega$ , спустя 1 минуту — 100000  $\Omega$ , спустя 2 минуты — 80000  $\Omega$ ; в другом опыте тотчас после замыкания — 100000  $\Omega$ , спустя 0,5 минуты — 70000  $\Omega$ , спустя 1 минуту — 60000  $\Omega$ , спустя 2 минуты — 55000  $\Omega$  и т. д. Напряжение было при этом около 6 V. По Gildemeister'y, сопротивление тела падало при включении тела на 10 V с 19000  $\Omega$  на 9000  $\Omega$  (продолжительность включения не указана). По другому опыту Gildemeister'a, сначала было применено напряжение

в 2 V, затем оно было повышено до 6 V и 10 V и, после продолжительного включения (всего около 45 минут, по 15 минут на каждое напряжение) напряжение было вновь понижено до 2V; при первом включении на 2 V сопротивление было равно 160000  $\Omega$ , а при вторичном всего только 40000  $\Omega$ .

В описанных выше Цюрихских опытах отсчеты напряжения и силы тока брались непосредственно после включения человека в цепь; таким образом указанные величины сопротивления относятся к первому моменту прохождения тока. Для определения влияния продолжительности включения, в некоторых случаях цепь, идущая через человека, оставалась замкнутой некоторое время, и брался второй отсчет по прошествии 5 минут. В громадном большинстве случаев сила тока при втором отсчете оказывалась большей, т. е. сопротивление падало, как это и следовало ожидать. Падение сопротивления, по сравнению с начальным значением, колебалось обыкновенно от 10% до 40%, в среднем около 25%. Однако, в редких случаях наблюдалось к концу 5-минутного включения не падение, а наоборот возростание сопротивления, доходившее иногда до 60%. Причину этих аномалий выяснить не удалось.

По наблюдениям, произведенным во время одной электрической казни, в момент включения на напряжение в 1600 V сопротивление тела было 800  $\Omega$ , а затем, по прошествии 50 секунд упало до 516  $\Omega$ <sup>1)</sup>. Вообще, падение сопротивления происходит быстрее при больших напряжениях, нежели при малых, в виду более сильного действия электрического тока на кожный покров; однако, это не всегда подтверждается цифрами.

5. Род тока. В зависимости от того, какой ток пропускается через тело, постоянный ток или переменный, сопротивление человеческого тела также меняется. Как правило, наблюдаемое омическое сопротивление на постоянном токе выше нежели на переменном. Объяснить это можно тем, что в теле ток проходит преимущественно по кровеносным сосудам, т. е. по жидким проводникам. Прохождение постоянного тока по этим проводникам вызывает электролитический эффект, сопровождаемый

<sup>1)</sup> См. Alvensleben. ETZ. 1926, № 34.



поляризацией электродов. Тело таким образом представляет из себя вторичный элемент, обладающий электродвижущей силой поляризации, причем эта сила, действуя против приложенного извне напряжения, уменьшает силу тока, т. е. увеличивает наблюдаемое на приборах сопротивление цепи.

Явление поляризации тела было замечено уже давно. Так, напр., И. П. Тишков ставил опыты для измерения электродвижущей силы поляризации; после пропускания через тело в течение продолжительного времени тока от 6-вольтовой батареи, при помощи особого переключателя цепь быстро прерывалась и замыкалась другая цепь, в которой были включены только тело с приложенными к нему медными электродами и чувствительный гальванометр. По отклонениям этого гальванометра измерялась электродвижущая сила поляризации, которая оказывалась равной в разных опытах от 0,02 V до 0,07 V, т. е. приблизительно от 0,003 до 0,01 от приложенного первоначально напряжения.

С другой стороны, и при переменном токе наблюдаемое по приборам сопротивление тела выше действительного омического его сопротивления, ибо тело является проводником, обладающим кроме омического (ваттного), также и безваттным сопротивлением. Чтобы узнать, какого рода это безваттное сопротивление, Gildemeister включал в цепь, последовательно с человеческим телом, индуктивное сопротивление (катушку); в результате общее сопротивление цепи значительно уменьшилось, причем при известной величине введенного добавочного индуктивного сопротивления, получался отчетливый минимум общего сопротивления цепи. Это указывает, что человеческое тело обладает емкостью, что ток в теле по фазе опережает приложенное напряжение, и что введением добавочного индуктивного сопротивления можно достигнуть компенсации сдвига фаз. Все приведенные выше величины сопротивления тела, полученные при переменном токе, относятся таким образом к полному (кажущемуся), а не омическому сопротивлению тела.

Gildemeister, включая тело на напряжение в 10 V, нашел при постоянном токе сопротивление в 5000  $\Omega$ , а затем на переменном токе (частоты 235 ~) без компенсации — от 3000  $\Omega$  до 4000  $\Omega$ ,

и минимальное сопротивление цепи при введенном добавочном индуктивном сопротивлении—2000  $\Omega$ . Таким образом, считая последнюю цифру за меру ваттного сопротивления на переменном токе, мы видим, что оно значительно меньше, нежели наблюдаемое сопротивление на постоянном токе, что, как уже сказано, следует отнести главным образом за счет электродвижущей силы поляризации, действующей при постоянном токе.

С увеличением частоты переменного тока сопротивление человеческого тела падает, что доказано опять таки опытами Gildemeister'a. По его данным, при напряжении 10 V сопротивление при 235 ~ было равно 2000  $\Omega$ , при 790 ~ —450  $\Omega$  и при 100000 ~ —80  $\Omega$ . Эти результаты вполне согласуются с вышеуказанными данными относительно емкостного характера сопротивления человеческого тела.

Что же касается вообще переменного тока, то условия его прохождения через человеческое тело еще менее изучены, чем в случае постоянного тока. Измерения емкости человеческого тела производились крайне редко. Из таких измерений можно упомянуть об опытах, произведенных „Международным Обществом Электриков“; согласно этим опытам, емкость по отношению земли тела человека, стоящего на стеклянном листе в 3,5 мм толщиной, равна 0,009  $\mu\text{F}$ ; емкость человека, стоящего на деревянной доске, положенной на четыре изолятора в 10 см высоты—0,00016  $\mu\text{F}$ . Вопрос этот, однако, нужно считать пока еще мало выясненным, несомненно только, что емкость человеческого тела, так же, как и омическое сопротивление, представляет величину крайне изменчивую, зависящую от многих и разнообразных условий.

6. Влияние пола, возраста и других биологических факторов. О влиянии биологических факторов на электрическое сопротивление трудно сказать что-либо определенное. Исследователи более раннего периода пытались найти в этой области какуюнибудь закономерность. Так, например, И. Н. Тишков производил весьма многочисленные опыты над людьми, сгруппированными по полу и возрасту. В результате этих опытов он приходит к заключению, что электрическое сопротивление вообще меньше у лиц женского пола. Далее, сопротивление

у детей значительно ниже, нежели у взрослых, а среди последних у молодых вообще несколько ниже, нежели у стариков. По всей вероятности эти результаты объясняются просто тем, что кожа у детей и у женщин обыкновенно тоньше и нежнее, нежели у взрослых и мужчин; о громадном же влиянии кожного покрова на результаты измерений уже говорилось раньше.

Целый ряд других биологических факторов, как-то: конституция человека, состояние здоровья, степень утомления, условия состояния и деятельности различных органов, в особенности кожного покрова, наконец, нервное и психическое состояние — все это несомненно имеет большое влияние на электрическое сопротивление тела, но учесть это влияние чрезвычайно трудно. Здесь только можно высказать общее положение, защищаемое большинством исследователей, что нормальные, крепкие и здоровые субъекты отличаются более высоким электрическим сопротивлением, чем субъекты слабые, больные и отличающиеся какими либо ненормальностями и дефектами.

Любопытный факт, характеризующий влияние психического состояния человека на сопротивление его тела, упомянут в отчете об опытах, производившихся в Цюрихе в 1928 году. Как правило, все испытуемые предупреждались о предстоящем их включении в электрическую цепь. В одном случае, однако, включение произошло неожиданно для испытуемого, и сопротивление тела, измеренное в первый момент включения, оказалось ненормально низким, около 1000  $\Omega$ ; затем очевидно в связи с восстановлением психического равновесия, сопротивление быстро поднялось, приняв обычную для данных условий испытания величину.

Следует упомянуть особо о влиянии сна на электрическое сопротивление тела. Как правило, тело человека во сне обладает большим сопротивлением, чем в состоянии бодрствования. Как показывают опыты Richter'a, степень крепости сна довольно точно соответствует электрическому сопротивлению тела. В случае спокойного, крепкого сна электрическое сопротивление, по данным Richter'a, весьма сильно возрастает, раз в 15—17 (по сравнению с состоянием бодрствования); пробуждение же вызывает моментальное падение сопротивления. У людей же с не-

спокойным, чутким сном электрическое сопротивление оказывалось сравнительно низким.

В заключение можно сказать, что если очень низкие сопротивления, порядка нескольких сот ом, получаются при искусственных условиях (применение специальных электродов, удаление рогового слоя кожи и др.), то в обычных условиях эксплуатации электрических установок за нижний предел сопротивления тела человека можно принять величину порядка 1000  $\Omega$ . Более низкие величины наблюдались лишь в виде исключений.

### с. Электрические удары.

Наибольшую опасность среди поражений электрическим током представляет электрический удар, характеризующийся мгновенным появлением судорог и столбняка, потерей сознания, прекращением или сильным ослаблением деятельности органов дыхания и кровообращения и наступлением так называемой мнимой или кажущейся смерти; в тяжелых случаях или при недостаточной медицинской помощи это состояние нередко оканчивается действительной смертью.

Несмотря на повсеместное распространение электричества и на большой опыт, научный и практический, имеющийся в отношении электрических ударов, сущность и механизм последних до сих пор еще остается мало исследованным. Среди представителей медицины, работавших в этой области, и поныне существуют серьезные разногласия по вопросу о природе электрического удара. Одни видят в электрическом ударе прежде всего острое расстройство сердечной деятельности и прекращение нормальной работы сердца. Другие приписывают главную роль расстройству органов дыхания, так что по их мнению получается картина острого удушья. Наконец, третьи выдвигают на первое место поражение нервной системы, и в первую очередь головного и спинного мозга; согласно последней теории, происходит нечто подобное параличу или удару в житейском смысле этого слова. Подробный разбор существующих теорий не входит в задачи настоящей статьи, и мы этих вопросов будем в дальнейшем касаться лишь попутно, в связи с рассмотрением факторов, влияющих на силу электрического удара.

Если нет твердо установленных и всеми признанных положений в отношении биологической сущности электрического удара, то не может быть единогласия и во взглядах на условия его возникновения, а также в оценке факторов, влияющих на силу удара. В специальной литературе ведется полемика по этим вопросам, и каждый автор приводит в защиту своих взглядов большое число фактов из своей практики. Вполне разобраться во всех этих данных и фактах, научно разработать имеющийся материал и примирить существующие взгляды — это конечно, дело более или менее отдаленного будущего. Задачей же настоящей главы является некоторая систематизация в этой области, именно в виде последовательного обзора и сравнительной оценки факторов, имеющих значение при электрическом ударе. При этом мы не будем пока входить в рассмотрение чисто внешних по отношению к человеку факторов, которые сами по себе, непосредственно, не могут иметь влияния на физиологическое действие тока. Мы не будем таким образом в настоящей главе касаться общего устройства электрической сети, степени изоляции, характера заземления, состояния пола, стен и окружающих предметов в том месте, где находится человек, состояния его одежды и обуви и т. д. Все эти факторы, имеющие, конечно, громадное значение для безопасности электрических установок, мы будем рассматривать как совокупность определенных внешних условий, при постоянстве которых, однако, эффект при включении тела человека в электрическую цепь может быть совершенно различен, начиная от легкого, а иногда и вовсе незаметного щекотания и кончая смертельным исходом при электрическом ударе.

Главную роль в вопросе об опасности электрического удара играет, конечно, сила проходящего по телу человека тока. Эта сила, при определенных внешних условиях, т. е. при данном устройстве и напряжении сети и данном состоянии всех предметов, окружающих человека, зависит только от сопротивления человеческого тела. Но последнее, как это явствует из всего изложенного выше, зависит от длинного ряда самых разнообразных факторов и является величиной чрезвычайно изменчивой и непостоянной. Столь же изменчива и непостоянна будет, при

определенных внешних условиях, и сила тока, а следовательно и степень опасности электрического удара.

Но кроме силы тока на степень опасности влияет еще целый ряд других условий, многие из которых являются весьма непостоянными и трудно учитываемыми. Это делает вопрос об опасности электрических ударов, даже в тех границах, которые мы себе поставили, еще гораздо более сложным, нежели вопрос об определении сопротивления тела человека, ибо к одному длинному ряду неизвестных или мало известных величин присоединяется еще несколько таких рядов, не менее длинных. Трудность здесь заключается также и в том, что для искомой степени опасности нет сколько-нибудь пригодного мерил или критерия. Обыкновенно, для характеристики степени опасности или тяжести несчастного случая (травмы, отравления и т. д.) пользуются степенью утраты трудоспособности, приравнивая смертельный случай к полной утрате этой трудоспособности. В случае лишь временной утраты трудоспособности мерил служит число дней, потерянных пострадавшим в результате несчастного случая. В случае электрического удара, такой градации степени тяжести обыкновенно установить нельзя. В большинстве случаев электрический удар либо оканчивается смертью, либо же проходит бесследно для здоровья пострадавшего, во всяком случае настолько, что не оставляет постоянной потери трудоспособности в ощутимой, поддающейся измерению степени. Кроме того, здесь обыкновенно не может быть речи о длительном потерянном времени, ибо исход при электрическом ударе определяется в течение очень короткого срока после поражения, обыкновенно не более нескольких часов. В течение этого срока человек либо умирает, либо вполне оправляется, восстанавливая полную свою работоспособность. Случаи длительных болезненных последствий электрических ударов, правда, описаны в литературе, но они встречаются скорее как исключение и большого значения не имеют.

Тот или другой исход зависит, в большей мере, чем при каком-либо другом несчастном случае или поражении, от применения в первые минуты или даже секунды спасательных мер. Насколько быстра, рациональна и действительна была такая

помощь, в большинстве случаев весьма трудно судить. Поэтому, даже сравнивая два случая, из которых один кончился благополучно, а другой привел к роковому концу, не всегда можно определенно сказать, какое из двух поражений было, по своему действию на организм человека, тяжелее и опаснее, не говоря уже о введении какой нибудь градации и определении степени опасности.

Все эти ограничения и оговорки необходимо иметь в виду при рассмотрении различных факторов, влияющих на степень опасности электрических ударов. Некоторые из этих факторов, как сила и род тока, продолжительность включения и т. д. были уже рассмотрены раньше, в связи с их влиянием на сопротивление человеческого тела. Но мы сознательно выделяем разбор значения одних и тех же факторов в двух областях (сопротивление тела и степень опасности электрического удара), которые хотя и связаны между собой, но принципиально совершенно различны. Совместное рассмотрение обоих вопросов, по нашему мнению, вредит ясности изложения и может только внести путаницу.

1. Напряжение. Все современные исследователи сходятся в том, что напряжение само по себе, независимо от вызываемого им тока, не может иметь значения в смысле опасности для человеческого организма. Поскольку нет прохождения тока через человеческое тело, длительного или кратковременного (разряда), трудно говорить об опасности электрического удара. Правда, в медицине практикуется способ лечения путем введения тела в сильное электрическое поле („франклиннизация“), так что и статическое электричество может оказывать некоторое действие на организм. Но сколько-нибудь опасного, сильного действия на человека со стороны электростатического (также как и электромагнитного) поля до сих пор замечено не было, по крайней мере, в практических, промышленных условиях.

Поятно, что косвенно, через вызываемый им ток, напряжение играет громадную роль в вопросе об опасности электрических ударов. В данном случае величина напряжения имеет еще большее значение, чем для обычных проводников, ибо, как это было изложено выше, сопротивление тела, под влиянием приложен-

ного напряжения, сильно изменяется, причем с увеличением напряжения сопротивление падает. Таким образом, сила тока изменяется с изменением напряжения гораздо быстрее, чем это следует по закону Ома. О связи величины напряжения с числом несчастных случаев от электричества будет подробнее сказано далее, в главах II и III, пока же можно только сказать, что электрические удары, оканчивавшиеся смертью, наблюдались при любых промышленных напряжениях сильного тока, начиная от 50—60 V.

2. Сила тока. Вопрос о том, какая сила тока представляет опасность для жизни человека и какая нет,—дарно уже занимает умы многих исследователей, как врачей, так и инженеров. В литературе имеется много указаний на критическую дозу силы тока, до которой ток может считаться безопасным. Такую критическую силу тока чаще всего определяют в несколько сотых одного ампера, в среднем около 0,05 А. Так, напр., цифра в 0,05 А фигурирует в сочинениях Alvensleben'a, Philippi и др. Английский исследователь Th. Oliver считает, что опасность наступает при токах силою 0,025—0,6 А<sup>1)</sup>. В качестве же величины уже определенно опасной для жизни указывается обыкновенно сила тока в 0,1 А. Последняя величина стала выдвигаться особенно часто после известных опытов Weiss'a<sup>2)</sup> в Париже. Эти опыты над собаками, произведенные в широком масштабе, с точными записями кровяного давления, дыхания и пр., показали, что при определенной силе тока, именно около 0,1 А, наступает характерное расстройство сердечной деятельности, определяемое в медицинской литературе, как „трепетание сердечных желудочков“. Это расстройство, как показали опыты Weiss'a, Prevost и Batelli, Fleury и др., является исключительно опасным для жизни собаки и ведет, при включении тока хотя бы на самое короткое время, к смерти животного.

С увеличением силы тока от 0,1 А до 1 А, его губительное действие на организм собаки, согласно опытам Weiss'a, возра-

<sup>1)</sup> См. Дж. Ковер и В. Хансон. Профессиональные болезни и гигиена профессий. Томас Оливер. Повреждения от электричества и электрический ток. Москва. 1927.

<sup>2)</sup> G. Weiss. Sur les effets physiologiques des courants électriques. 1912.



стало, и смерть наступала быстрее. Ток порядка 1 А вызывал почти мгновенную смерть, и потому этот ток многие авторы считают наиболее опасным для жизни организма. Дальнейшее же увеличение тока, произведенное Weiss'ом, уже не повышало тяжести и опасности электрического поражения, а напротив, ее ослабляло. Именно, при больших токах, порядка 5 — 10 А явление „трепетания сердечных желудочков“ уже больше не наблюдалось и, в связи с этим, смерть не наступала мгновенно. Картина поражения получалась при сильных токах совершенно другая: на первый план выступали сильнейшие ожоги и травмы, затруднение дыхания и пр., но специфического разрушительного влияния на сердечную деятельность токи большой силы уже не имели. Только после того, как сила тока понижалась до величины около 0,5 А, наступала смерть собаки. В опытах других исследователей, в общем подтверждавших данные Weiss'a, смерть животного при пропускании токов в несколько ампер наступала только через некоторый промежуток времени после включения, причем причиной смерти было удушье, а также тяжкие ожоги.

По поводу результатов опытов над собаками, произведенных Weiss'ом и другими исследователями, существует сильное разногласие в мнениях между специалистами, занимающимися вопросом о поражениях электрическим током. Одни, как Alvensleben, придают им весьма большое значение и находят многие подтверждения вышеозначенных результатов также и в применении к человеку. Так, Alvensleben считает на основании данных своей практики, что несчастные случаи при очень высоких напряжениях (порядка нескольких десятков тысяч вольт) протекают как правило, сравнительно благополучно, если не считать сильных ожогов и др. внешних повреждений, и это он объясняет сравнительной безопасностью токов большой силы. В подтверждение своих взглядов Alvensleben ссылается на опыт электрических казней в Америке, которые он подробно описывает в своей статье<sup>1)</sup>. По свидетельству Alvensleben'a, долгое время после введения этих казней не удавалось достичь быстрой и безбо-

<sup>1)</sup> Alvensleben. Elektrische Unfälle. ETZ, 1926, № 34.

лезненной смерти казнимого, несмотря на применение токов большой силы, примерно в 10 А и выше. Смерть часто не наступала и тогда, когда все тело несчастного уже дымилось и горело. Впоследствии стали изменять напряжение во время казни, именно после включения на высокое напряжение последнее понижали, после чего смерть быстро наступала. При казни, свидетелем которой был Alvensleben, тело казнимого сначала было включено на напряжение в 2500 V (переменного тока), причем ток был равен 10 А, затем напряжение было понижено до 250 V, далее опять повышено до 2500 V, после чего цепь размыкалась. Весь период включения тока был равен около 40 секунд. Alvensleben считает, что непосредственно смерть была вызвана током при пониженном напряжении, каковой ток должен был быть порядка 1 А.

Еще дальше идет английский исследователь Jex Blake <sup>1)</sup>, который считает наиболее опасными в отношении электрических ударов токи порядка 0,1 А; эти токи, по мнению Jex Blake'a, вызывают верную смерть. Менее опасными являются токи порядка 1 А, при которых автор считает смерть лишь вероятной; и наконец, при токах порядка 10 А люди, по мнению Jex Blake'a, остаются в живых, несмотря на тяжкие ожоги. Таким образом, в случае очень низкого сопротивления тела человека, порядка 1000  $\Omega$ , наиболее опасным напряжением в отношении электрического удара является, по мнению этого автора, напряжение в 100 V, по мере же увеличения напряжения степень опасности уменьшается. Нельзя, однако, сказать, чтобы это парадоксальное мнение находило себе подтверждение в практике несчастных случаев.

Взгляды Alvensleben'a и других авторов совершенно не разделяются профессором Jellinek'ом, который не придает значения опытам над собаками в вопросе об опасности электрического тока для жизни человека. Эти опыты, помимо того, что они не подтвердились на других животных, в том числе и на обезьяне, были произведены в особых лабораторных условиях, над связанными, и наркотизированными собаками, а потому условия

<sup>1)</sup> Jex Blake. Britisch Medical Journal, March 1916.

электрического удара здесь были совершенно иными, нежели при несчастных случаях от электричества. Jellinek отрицает ту роль явления „трепетания сердечных желудочков“, которую выдвигают на первый план Alvensleben и другие авторы, и утверждает, что это явление никогда еще не было точно установлено у людей, пораженных током<sup>1)</sup>. Далее Jellinek вообще решительно оспаривает существование какой либо критической дозы тока и утверждает, что сила тока сама по себе не имеет значения в отношении опасности электрического удара; так имеется много случаев, когда пострадавшие подвергались действию тока не более 0,01 А и тотчас же погибали, а в других случаях ток силой более 1 А не оказывал разрушительного действия на организм. На этом основании Jellinek считает все деления на „опасные“ и „безопасные“ токи и напряжения — неправильными и вредными для дела борьбы с несчастными случаями и их последствиями.

Признавая правильность многих взглядов и соображений Jellinek'a, нельзя все-таки согласиться с его отрицательной оценкой значения силы тока. Нужно признать, что сила тока является одним из важнейших факторов, влияющих на степень опасности электрического удара; задача установления предела безопасности для силы тока кажется нам вовсе не столь бесполезной и нереальной, как это представляет проф. Jellinek. Доминирующее и специфическое влияние силы тока, как основного фактора физиологического действия электричества на организм человека, было ярко выявлено Цюрихскими опытами, о которых уже говорилось раньше. Эти опыты были организованы Управлением Электрических станций Цюрихского Кантона с главной целью выяснения наибольших величин силы тока и напряжения, которые человек может перенести без вреда для себя. Эту же задачу поставил себе и проф. Weber, об опытах которого в 1897 году также было упомянуто выше. Максимальная сила тока (переменный ток, 50~), который проф. Вебер мог вынести, была около 20 мА или 0,02 А (см. таблица 1, стр. 18). Ток такой силы Вебер мог вынести лишь самое короткое время, необходимое для

<sup>1)</sup> См. Еллинек. Несчастные случаи от электричества. Глава I.

того, чтобы отметить показания амперметра и вольтметра; при дальнейшем повышении напряжения и силы тока измерения становились уже невозможными. По образцу проф. Вебера были поставлены опыты в Цюрихе в 1928 году, произведенные над 25 лицами, с целью установления предельной силы тока, в зависимости от тех или иных условий. За предельную, физиологически допустимую величину силы тока, принимали ту силу тока, при которой человек лишался возможности отделить свои руки от электродов без посторонней помощи. Для предохранения от возможности поражения электрическим током электроды присоединялись к сети посредством штыковых контактов, очень свободно входивших в свои гильзы; малейшего движения руки или всего тела испытуемого было достаточно, чтобы нарушить контакт и разомкнуть цепь.

Опыты показали, что физиологические явления при электризации весьма точно соответствуют дозе пропускаемого тока причем эта дозировка весьма мало зависит от сопротивления тела, состояния кожи, индивидуальных особенностей испытуемых и т. д. Опыты производились в сравнительно большом масштабе, каждое лицо подвергалось пропусканию тока большое число раз, при разных условиях. Далее, испытанные 25 человек разного пола, возраста, профессии, физического и психического состояния должны были, конечно, сильно отличаться между собой в отношении восприимчивости к электрическому току, что и подтвердилось при измерении сопротивления тела (см. выше, стр. 19). И несмотря на все это, физиологические явления электризуемых лиц, равно как и их ощущения, протекали, в зависимости от силы тока, приблизительно одинаково, т. е. при данной силе тока всегда наступала определенная физическая и психическая реакция, независимо от условий опыта и индивидуальных особенностей испытуемого. Напряжение же, как и следовало ожидать, само по себе никакой роли не играло, ибо, вследствие больших различий в величине сопротивления тела определенные реакции наступали при самых различных напряжениях. Картина физиологических явлений при всех производственных опытах представляется в следующем виде:

ТАБЛИЦА II.

| Сила тока в миллиамперах | Физиологические явления                                                                                                                       |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 — 0,9                  | Ток не ощущается.                                                                                                                             |
| 0,9 — 3,5                | Ток ощущается, но без болезненных явлений.                                                                                                    |
| 3,5 — 4,5                | Первые болевые ощущения у непривычных, легкие судорожные рефлективные сокращения мускулов пальцев рук.                                        |
| 5 — 7                    | Боль в руках у всех испытуемых, легкая судорога в верхней части руки.                                                                         |
| 8 — 10                   | Болезненные судорожные сокращения во всей руке. Оцепенение руки.                                                                              |
| 11 — 12                  | Судорожные сокращения мускулов распространяются до плеча. Сильная боль. Прикосновение к электродам можно перенести в течение не более 30 сек. |
| 13 — 14                  | Самостоятельное разжатие руки и освобождение электрода возможно лишь с трудом. Прикосновение возможно перенести в течение не более 15 сек.    |
| 15                       | Разжатие руки и освобождение электрода невозможно.                                                                                            |

Сила тока в 15 мА (0,015 А) оказалась предельной для всех испытуемых, ибо при этой силе тока никто не мог освободиться от электрода без посторонней помощи. Любопытно, что никто из 25 исследованных не мог достичь того предела (20 мА), который был установлен 30 лет тому назад проф. Вебером, производившим к тому же опыты сам над собой. Это показывает, что проф. Вебер отличался исключительной выдержкой и силой воли.

Результаты этих опытов заслуживают большого внимания, ибо они дают предельную силу тока, значительно ниже тех величин критической силы тока (в среднем около 50 мА), которые принимаются большинством исследователей (см. выше). Если указанные результаты окончательно подтвердятся другими опытами и исследованиями, предпринятыми в настоящее время в разных странах, это, несомненно, окажет большое влияние на всю технику безопасности электрических установок, в частности на классификацию напряжений. Следует, однако, оговориться относительно значения предельной силы тока, установленной в

Цюрихских опытах. Как уже сказано, это сила тока, при которой человек не может самостоятельно освободиться от электродов, т. е. вынужден оставаться под током и подвергаться опасности электрического поражения до прихода посторонней помощи. Ясно, какое значение имеет это обстоятельство с точки зрения безопасности. Однако же, плотный обхват руками двух электродов разной полярности, как это имело место в Цюрихских опытах, наблюдается в практических условиях сравнительно редко. Более типичная форма несчастного случая от электричества — это случайное прикосновение к токоведущим частям, продолжающееся очень короткое время и прекращаемое рефлексивным движением руки. С другой стороны, предельная сила тока, установленная Цюрихскими опытами, сама по себе еще не может служить достаточным критерием опасности в отношении электрических ударов. Несмотря на сильнейшие сокращения мускулов и резкую боль, испытанную всеми 25 лицами при силе тока около 15 мА, никто из них не пострадал ни в малейшей степени от электрического удара. Что болевые ощущения не вполне соответствуют интенсивности поражения электрическим током, доказывается дополнительными опытами, произведенными в Цюрихе на постоянном токе. Болевые ощущения при постоянном токе, хотя и другого характера, оказались более интенсивными, чем при переменном токе, так что предельная сила тока, выше которой электризация оказывалась нестерпимой, у всех испытуемых наступала уже при 10 — 12 мА. Между тем, как это будет выяснено дальше, практика несчастных случаев от электричества указывает на большую опасность переменного тока, по сравнению с постоянным.

Принимая во внимание все сказанное выше, можно принять критическую силу тока, до которой он может считаться безопасным, в пределах нескольких сотых ампера, между 0,02 А и 0,05 А, а ток порядка 0,1 А представляет уже серьезную опасность для жизни человека. Мы не хотим, конечно, этим сказать что несчастный случай абсолютно исключен при силе тока в 0,01 А и меньше. Jellinek, напр., приводит один случай, когда рабочий, дотронувшись до линии высокого напряжения, отключенной от сети и лишенной заряда, умер только от испуга и

нервного потрясения. Таким образом смерть возможна и при силе тока, равной нулю, а тем более при некотором, очень слабом токе; но мы затруднились бы квалифицировать подобную смерть от нервного шока как результат поражения электрическим током. Относительно же упоминаемого Jellinek'ом большого числа несчастных случаев со смертельным исходом при силе тока, меньшей 0,01 А, мы позволяем себе выразить сомнение в том, действительно ли в большинстве этих случаев было точно установлено, что сила тока не превышала 0,01 А. Наблюдение и измерение токов подобной величины вряд ли возможно в нормальных эксплуатационных условиях электрических установок сильного тока, тем более это трудно сделать в моменты несчастных случаев. Судить же по применяемому напряжению очень трудно, ибо, как явствует из предыдущего, сопротивление тела человека может понижаться до одной тысячи омов, а при таких условиях даже низкое напряжение в 110 V может вызвать ток силой до 0,1 А, который уже несомненно представляет опасность для жизни человека.

Токи порядка нескольких десятых ампер, от 0,1 А до 1 А, следует считать смертельно опасными для жизни, причем степень опасности возрастает по мере увеличения силы тока. При известных условиях, однако, токи силой в несколько десятых ампер могут и не вызвать опасных последствий. Так напр., в электротерапии применяются постоянные токи до 0,3 А<sup>1)</sup>, а иногда даже еще выше, но здесь мы имеем дело с постепенным, осторожным повышением силы тока и соответствующей подготовкой организма. Вообще же, в промышленных условиях токи в несколько десятых ампера вызывают обыкновенно несчастные случаи, часто оканчивающиеся смертью. Приводимые в литературе случаи, когда прохождение подобного тока не вызывало серьезного электрического удара, нужно уже считать довольно редкими и счастливыми исключениями.

Что касается токов сравнительно большой силы, порядка нескольких ампер и выше, которые, по мнению Alvensleben'a, J. Blake'a и других авторов, представляют уже меньшую опас-

<sup>1)</sup> См., напр., Коваршин. Электротерапия. 1927.

ность в отношении электрического удара, то нам кажется, что пока еще нет достаточных данных, подтверждающих подобное мнение. Лабораторные опыты с собаками не могут служить в данном случае достаточным основанием; более серьезными являются данные из практики американских электрических казней, о которых говорилось выше. Однако, если действительно смерть наступает только тогда, когда напряжение уменьшается до 250 V, напрашивается вопрос, зачем же тогда вообще применяют высокое напряжение в 2500 V? Не является ли более правильным предположить, что решающее влияние имеет здесь самый факт изменения напряжения, т. е. изменения определенным образом электрического состояния тела. Последний вопрос в настоящее время мало исследован, а между тем он заслуживает большого внимания.

Если даже считать установленным, что токи, сила которых превышает определенную величину, уже не оказывают специфического влияния на деятельность сердца человека („трепетание сердечных желудочков“), то и в этом случае мнение о меньшей опасности токов большой силы нельзя признать вполне правильным, ибо электрический ток действует не только на сердце, но и на другие важнейшие органы человека, в частности на центральную нервную систему. В связи с этим некоторые исследователи, напр. д-р Schwyzer<sup>1)</sup>, полагают, что смерть от электрического удара происходит при сравнительно небольших силах тока от расстройства сердечной деятельности (Herztod), а при токах большой силы — от расстройства мозговой деятельности (Hirntod). При такой концепции вряд ли можно определить, какие токи являются более опасными для жизни человека, в отношении электрического удара.

Нам кажется, самое большее, что можно сказать о токах сравнительно большой силы, в несколько ампер и выше, это — что нет определенных данных, указывающих на их более высокую степень опасности по сравнению с токами порядка 1 А. Другими словами, если степень опасности электрического удара

<sup>1)</sup> См. Dr. Schwyzer. Physiologische Bemerkungen zum Starkstromtod. Elektrizitätswirtschaft, 1926, 1 März (№ 404).



повышается с возрастанием силы тока от 0,1 А до 1 А, то того же нельзя с уверенностью сказать о более сильных токах, начиная с одного или нескольких амперов. Можно только сказать, что при этих токах ожоги и другие повреждения достигают такой величины, что иногда действительно отодвигают на задний план поражение от электрического удара в тесном смысле этого слова.

3. Род тока. Вопрос о том, какой ток более опасен, постоянный или переменный (промышленной частоты), также является весьма сложным. В раннюю эпоху развития электротехники сильных токов, переменный ток считался чрезвычайно опасным для жизни человека; считали, что переменный ток оказывает на организм специфическое разрушительное действие, несвойственное постоянному току. Этот широко распространенный взгляд на переменный ток, как на весьма опасный по сравнению с относительно безвредным постоянным током, явился в первое время серьезным тормазом для распространения электрических установок переменного тока. Любопытно, что и первые электрические казни в Америке должны были демонстрировать смертельную опасность переменного тока, причем этот вопрос был тесно связан с конкуренцией различных электротехнических фирм <sup>1)</sup>.

Указанный взгляд был в значительной степени подкреплён выступлениями представителей медицины, прежде всего знаменитого d'Arsonval'я. По мнению d'Arsonval'я <sup>2)</sup>, интенсивность реакции нервной системы пропорциональна скорости изменения разности электрических потенциалов, а следовательно и вызываемой силы тока. Таким образом, переменный ток влияет на нервную систему в течение всего времени своего прохождения, постоянный же ток только в нестационарном состоянии, при замыкании и размыкании цепи, при изменении приложенного напряжения и т. д. Естественно, что с этой точки зрения переменный ток должен быть гораздо более опасным, чем постоянный.

<sup>1)</sup> См. об этом подробное изложение в статье Alvensleben'a, ETZ. 1926, № 34.

<sup>2)</sup> Изложение взглядов d'Arsonval'я можно найти в книге F. O. de Nerville и A. Hardy. Protection contre les effets nuisibles de l'électricité. Paris, 1928.

С другой стороны, в отношении механических, термических и химических влияний, нет оснований считать переменный ток более сильно действующим на человеческий организм, чем постоянный ток. В частности химическое (электролитическое) действие должно быть особенно резко выражено именно при постоянном токе.

Что касается экспериментальных данных, то результаты опытов над животными также обычно указывают на более сильное действие на организм переменного тока, по сравнению с постоянным током. Так, например, Prévost и Batelli нашли, что в то время, как на постоянном токе явление трепетания сердечных желудочков наступает при напряжениях, начиная с 50 V, в случае переменного тока это явление происходит, при прочих равных условиях, уже при 10 V. Нужно, однако, заметить, что сопротивление при постоянном токе вследствие поляризации, как было выяснено выше, обыкновенно больше, нежели при переменном, а потому возможно, что сила тока, которая непосредственно не измерялась в опытах Prévost и Batelli, в обоих случаях была примерно одинакова.

Мнение о большей опасности переменного тока до сих пор преобладает в медицинской литературе. Это мнение находит себе выражение в электротерапевтической практике. В то время, как при электризации постоянным током („гальванизация“) доходят, как было уже сказано, до несколько десятых долей ампера, при лечении переменным током низкой частоты (на медицинском языке эти токи носят название „фарадических“, а самый процесс лечения — „фарадизацией“) верхним пределом считается ток силой в 0,05 А. Нужно, однако, сказать, что среди врачей встречается иногда и обратное мнение о большей опасности постоянного тока; такого мнения придерживается американский специалист в области электрических поражений д-р Lauffer<sup>1)</sup>. На большую чувствительность организма человека к прохождению постоянного тока, по сравнению с переменным, указывают также результаты Цюрихских опытов. Как было уже упомянуто выше, предельная сила тока, которую можно было

<sup>1)</sup> Charles Lauffer. Electrical Injuries. 1912.

переносить хотя бы самое короткое время, при постоянном токе оказалась около 10—12 мА, между тем как при переменном токе частотой 50 ~ эта сила возрастала до 13—15 мА. При этом выяснилось, что организм реагирует на постоянный ток совершенно иначе, нежели на переменный. При постоянном токе судорожные сокращения мускулов, препятствующие разжатию рук и освобождению электродов, имеют гораздо меньшее значение, чем при переменном токе, но зато наблюдаются местные болевые ощущения в точках соприкосновения рук и токоведущих частей, в виде жара и зуда, весьма интенсивного и мучительного. Нужно, однако, сказать, что на постоянном токе в Цюрихе произведено было сравнительно мало испытаний, а потому эти данные не являются исчерпывающими.

Если перейти от опытных и клинических данных к современной электротехнической практике, то и тут нельзя установить единой общепризнанной точки зрения на сравнительную опасность постоянного и переменного тока. Конечно, старое представление об исключительной специфической опасности переменного тока за последние десятилетия, по мере роста применения переменного тока, постепенно рассеялось. Однако же, и по настоящее время взгляд на переменный ток, как на более опасный, находит себе выражение в правилах безопасности электрических установок. Так, например, во многих странах различные категории напряжений („высокое“ и „низкое“ напряжение) определяются отдельно для постоянного и переменного тока, причем для последнего граница высокого или опасного напряжения устанавливается значительно ниже, чем для постоянного тока<sup>1)</sup>. Возможно, однако, что здесь учитывается скорее явление понижения электрического сопротивления на переменном токе, а не разница в степени действия на организм постоянного и переменного тока одинаковой силы. Каковы бы ни были мотивы для введения подобных разграничений, нужно признать, что они базируются на солидном статистическом материале, как об этом будет сказано дальше, в главе II. С другой стороны, в Германии, а по ее при-

<sup>1)</sup> Подробнее о градации напряжений, применяемой в разных странах, будет сказано дальше, в главе III.

меру в целом ряде других стран, в том числе и в нашем Союзе, различия в отношении норм для напряжения постоянного и переменного тока в настоящее время уничтожены.

Конечно, это „уравнение в правах“ постоянного и переменного токов, допускаемое русскими и германскими правилами, имеет значительное преимущество в смысле единообразия в правилах и нормах. Но это не мешает признать, что старое мнение о большей опасности переменного тока в отношении электрических ударов не вполне опровергнуто и до сих пор. Уравнение возможно, поэтому, только на почве повышения требований к установкам постоянного тока, а не понижения требований к установкам переменного тока, т. е. именно так, как это имело место при пересмотре русских и германских правил.

4. Частота тока. Все имеющиеся в медицине и технике данные указывают, что с увеличением частоты переменного тока сверх известного предела опасность электрического удара понижается. Этот факт в отношении животных был установлен Prévost и Batelli; которые систематически исследовали физиологическое действие токов высокой частоты. Prévost и Batelli нашли, что при частоте тока в несколько сотен тысяч периодов в секунду электрический ток уже не представляет опасности для жизни.

Действие токов высокой частоты на организм человека было далее подробно исследовано d'Arsonval'ем, который применил токи высокой частоты для лечебных целей. D'Arsonval нашел, что нервная реакция увеличивается по мере повышения частоты переменного тока примерно до 1500 ~. При изменении частоты от 1500 ~ до 2500 ~ действие тока остается постоянным, а затем, при дальнейшем увеличении частоты, действие тока на нервную систему уменьшается; при токах высокой частоты не наблюдается уже никакой реакции в виде сокращения мускулов и т. п. На основании исследований d'Arsonval'я была разработана и введена в практику целая система лечения токами высокой частоты, которые в медицине носят название „токов Арсонваля“ и имеют в современной электротерапии первенствующее значение. Источниками для токов Арсонваля служат обыкновенно приборы, устроенные по принципу катушек Tesla, видоизмененные и усо-

вершенствованные сообразно требованиям медицинской практики. Отличительной чертой при лечении токами Арсонваля является применение весьма высоких напряжений, в несколько десятков тысяч вольт (до 100000 V), которые разумеется возможны только при частотах порядка в несколько сот тысяч периодов в секунду (иногда до 1000000 ~ и даже выше).

При лечении токами Арсонваля старой основной системы применялись и применяются электроды с очень большим сопротивлением, а потому сила тока, несмотря на громадное приложенное напряжение, вероятно, не достигает большой величины. Такие токи действуют преимущественно на внешние части тела, расположенные вблизи электродов. В последнее же время разработан и введен повсеместно в практику новый метод лечения токами высокой частоты, носящий название „диатермии“ или „термопепетрации“. При диатермии стараются достичь внутреннего прогревания различных органов человеческого тела, т. е. выделения джоулева тепла внутри самих органов, как проводников электрического тока, вместо притока тепла извне, от нагретой поверхности тела. Для такого эффекта требуются токи большой силы, — и действительно, в диатермии применяют токи порядка нескольких ампер, до 3—5 А и даже выше. Эти токи, которые при постоянном токе и промышленных частотах являются смертельно опасными, не приносят вреда организму, если только приняты меры предосторожности против ожогов.

Приведенные данные, полученные в клинической обстановке, находят себе также подтверждение и в обычных условиях быта и промышленной жизни. С развитием радио-техники стали, естественно, появляться опыты и наблюдения над действием на организм токов высокой частоты. В качестве примера упомянем об опытах американских электротехников Kennelly и Alexander <sup>1)</sup>, которые измеряли при различных частотах „физиологически допустимую“ силу тока, подразумевая под этим ту максимальную силу тока, которую человек, при длительном воздействии, мо-

<sup>1)</sup> A. S. Kennelly and E. F. W. Alexander. The Physiological Tolerance of Alternating Current Strengths up to Frequencies of 100000 Cycles per Second, Electrical World, July 21, 1910.

жет переносить, без какого либо неприятного чувства или боли. При увеличении частоты от 11000 ~ до 100000 ~ физиологически допустимая сила тока возрастала, согласно Kennelly и Alexander от 0,03 А до 0,8 А. Таким образом, с увеличением частоты тока в 9 раз, допустимая сила тока возросла почти в 27 раз. Далее, и сами ощущения, возникающие у человека при приближении силы тока к указанному пределу, различны, в зависимости от частоты тока. При частотах до 50000 ~ появляются неприятные и болезненные сокращения мускулов; при высоких же частотах, порядка в 100000 ~ и выше, эти сокращения не наблюдаются, и на первый план выступает особый зуд и ощущение жара.

С этими наблюдениями согласуются и данные промышленного травматизма; при несчастных случаях от токов высокой частоты приходится прежде всего иметь дело с ожогами, явления же электрического удара в таких случаях обыкновенно не наблюдаются.

Кроме данных научных опытов и промышленной практики относительная безопасность токов высокой частоты находит себе подтверждение в разного рода эффектных демонстрациях и фокусах, производимых при помощи таких токов. В Америке такие демонстрации, требующие от участников немалой выдержки и присутствия духа, пользуются особой популярностью. В качестве новейших достижений в этом деле можно указать на те эффектные развлечения, которыми ежегодно, в день своего праздника, студенты Электротехнического факультета Калифорнийского университета угощают своих гостей. Для опытов ими применяются катушки Tesla, дающие разряды очень высокого напряжения, около 1000000 V, и частотой до 150000 ~ <sup>1)</sup>. Разряды сопровождаются настоящими громом и молнией, из тела человека выбивается пламя и искры длиной в несколько метров; сила тока, проходящая по человеку, должна быть равна многим амперам. Несмотря на все это, при условии принятия простых мер предосторожности против ожогов, ника-

<sup>1)</sup> Описание этих опытов со многими иллюстрациями имеется в журнале „The Experimenter“, February 1925, в статье Lester Reukema: High Voltage Experiments.

ких несчастных случаев, повреждений или ударов при ~~этих~~ демонстрациях не бывает, хотя они повторяются из года в год, на большом числе людей. Во время сеанса, описанного в журнале „The Experimenter“, кроме мужчин подверглись испытаниям также около 30 молодых женщин, любительниц сильных ощущений, и даже один 6-ти летний ребенок. Все они, конечно, остались целы и невредимы.

Причина относительной безвредности токов высокой частоты пока еще мало выяснена. Долгое время существовало мнение, что токи высокой частоты не проникают внутрь тела, а распространяются только по наружному покрову, подобно тому, как это имеет место в случае металлических проводников. Однако, теперь это мнение можно считать опровергнутым. С одной стороны этому противоречат опыты над измерением сопротивления (см. выше), показавшие, что человеческое тело имеет емкостные, а не индуктивные свойства, и что его сопротивление падает с увеличением частоты. С другой же стороны, именно при помощи токов высокой частоты достигается в медицине прогревание внутренних органов проходящим через них током (диатермия). Таким образом здесь должна быть более глубокая причина, связанная с коренным различием в физиологическом действии на органы человека токов промышленной и высокой частоты. D'Arsonval, как это уже было упомянуто, объясняет сравнительную безопасность тока высокой частоты тем, что для чувствительных и двигательных центров нервной системы существует известный предел колебаний, на которые они могут реагировать. При переходе частоты за этот предел электрический ток перестает действовать на нервные центры подобно тому, как наш слух и зрение перестает воспринимать звуковые и световые колебания выше известной частоты. Однако, и это объяснение нельзя признать вполне достаточным, ибо вредное действие электрического тока, вообще говоря, не ограничивается нервной системой. Поэтому, и остальные воздействия электрического тока, напр. механические и химические, при высокой частоте, вероятно, оказываются ослабленными, по сравнению с токами промышленной частоты. В частности, в отношении электролитического действия тока инженер Binet высказал мне-

ние, что химическая необратимая реакция, именно выделение газов внутри тела, может происходить лишь до известной частоты тока. При повышении частоты сверх этого предела, реакция, за каждую половину периода, уже не успевает произойти, и органические вещества внутри тела уже не претерпевают опасных изменений <sup>1)</sup>. Каково бы ни было объяснение, самый факт резкого понижения степени опасности электрического удара при высоких частотах является твердо установленным в науке и практике.

5. Продолжительность включения. Время, требующееся для того, чтобы электрический ток мог произвести свое разрушительное действие на организм, обыкновенно очень мало и исчисляется часто секундами, а иногда даже долями одной секунды. Все же можно считать, что явление происходит не мгновенно и что для поражения током требуется некоторый, хотя бы и очень малый промежуток времени. Другими словами играет роль не только сила тока, но и количество электричества, прошедшего через тело человека. Кроме того, и сама сила тока, начиная с момента включения, более или менее быстро возрастает, вследствие падения сопротивления под действием тока, как об этом говорилось выше. Таким образом, эффект при электрическом ударе нарастает на подобие лавины и быстро приводит к печальному концу.

В опытах Prévost и Batelli, Weiss'a, Fleury и других авторов обыкновенно указывается время, в течение которого наблюдался тот или иной эффект на испытываемом животном. Так, например, согласно данным Fleury, собака могла выдержать включение на напряжение в 110 V в течение 19 секунд, а включение на напряжение в 4000 V — в течение 2 секунд; если продолжительность включения превышала эти величины, животное погибало.

Данные из практики несчастных случаев также указывают на то большое значение, которое имеет продолжительность включения. Так, весьма тяжелые поражения наблюдаются в тех случаях, когда пострадавший судорожно обхватывает рукой токо-

<sup>1)</sup> P. Bunet. Sur le danger de l'électrocution et, en particulier, l'influence de la fréquence élevée, Revue generale de l'Electricité. 1928, № 5.



ведущую часть и может быть оторван от нее только с трудом; продолжительность включения здесь, конечно, очень велика. С другой стороны, влиянием фактора продолжительности включения можно объяснить целый ряд случаев, когда поражения токами очень высокого напряжения, порядка нескольких десятков тысяч вольт, не приводили к роковым последствиям. В этих случаях, еще до непосредственного прикосновения рукой к токоведущим частям, может произойти искровой разряд через воздух. То же самое судорожное, рефлективное сокращение сгибаемых мускулов, которое при обхвате ведет к столь опасному зажиманию токоведущей части, в данном случае оказывается часто спасительным, ибо при сгибании рук и ног, рука отдергивается, человек падает, т. е. тело быстро выводится из опасной зоны, и разряд прекращается. Весь этот процесс может произойти в течение доли одной секунды, т. е. в период, который иногда бывает слишком мал для полного разрушительного эффекта электрического удара. Так как с низкими и не очень высокими напряжениями такой случай невозможен и они лишены подобного, если можно так выразиться, сигнального аппарата в виде искрового разряда, то в этом отношении можно действительно рассматривать очень высокие напряжения, как менее опасные. Некоторые исследователи, как напр. Lauffer<sup>1)</sup>, придают этому фактору немалое значение.

С малой продолжительностью включения следует поставить также в связь и сравнительно меньшую опасность при разряде от лабораторных источников большого напряжения и малой мощности, в виде лейденских банок, небольших конденсаторов и пр. В литературе можно иногда встретить утверждение о том, что подобные источники тока никогда не вызывают несчастных случаев. Если это утверждение и не совсем верно, то все же надо полагать, что благодаря малой величине количества электричества, освобождающегося при разряде, эти приборы далеко не могут быть столь опасны, как постоянные источники высокого на-

<sup>1)</sup> Charles Lauffer. Electrical Injuries. New-York, 1912. См. также прения в Германском Союзе Электротехников по поводу доклада Alvensleben'a. E. T. Z. 1926 № 48, стр. 1434,

пряжения. Мгновенный разрядный ток, хотя бы даже и большой силы, обыкновенно бывает слишком кратковременен, чтобы вызвать серьезный электрический удар.

6. Путь тока в теле. Относительно значения этого фактора в литературе существуют серьезные разногласия. Для выяснения этого вопроса Weiss несколько видоизменял свои опыты над собаками, о которых говорилось выше. В то время, как обычно один электрод находился на передней лапе собаки, а другой — на задней, в данном случае один электрод ставился на затылок, а другой укреплялся под мордой. В этом случае, несмотря на применение тока сравнительно большой силы, а именно около 0,4 А, деятельность сердца не нарушалась, но прекращалось дыхание. Однако же расстройство дыхания оказывалось, несмотря на длительное действие тока (около 30 секунд), преходящим, и дыхание восстанавливалось по прекращении тока. Но стоило только перенести один из электродов с головы на заднюю лапу, как наступало (при том же приблизительно токе) „трепетание сердечных желудочков“, приводившее собаку быстро к смерти.

Благодаря опытам Weiss'a и других исследователей над животными широко распространилось убеждение, что на степень опасности удара очень сильно влияет путь тока в теле человека, определяемый положением электродов или точек входа и выхода тока. Так, например, Alvensleben<sup>1)</sup> причисляет путь тока к трем главнейшим факторам, влияющим на степень опасности удара, именно: сила тока, продолжительность включения и путь тока. Alvensleben считает, что если путь тока лежит через сердце, то поражение является наиболее опасным. Таким образом, наиболее опасны случаи, когда пострадавший касается обеими руками разных полюсов, и наименее опасны случаи, когда человек прикасается к обоим полюсам одной и той же рукой. Подобных же взглядов придерживаются и многие другие авторы.

Jellinek здесь, как и в других вопросах, выступает решительным противником обычных, прочно укоренившихся мнений. Он

<sup>1)</sup> См. его статью Die gesundheitlichen Schädigungen durch den elektrischen Strom в книге: Syrup Handbuch des Arbeiterschutzes und der Betriebssicherheit. Band I. Berlin, 1927.

не придает значения положению электродов, считая, что ток, независимо от того, где он входит и выходит из тела, разветвляется, главным образом по кровеносным сосудам, на громадное число параллельных ветвей и, таким образом, всегда попадает в главнейшие органы, в том числе и сердце. Какова же будет часть всего тока, приходящаяся в том или ином случае на сердце или другие органы, также не играет, по Jellinek'у, никакой роли, ибо при множественности путей для тока и при громадном поперечном сечении человеческого тела, как проводника (поперечное сечение грудной клетки человека в среднем около  $40000 \text{ мм}^2$ ), плотность тока в данном органе всегда ничтожно мала, где бы ни были расположены электроды. Свое мнение Jellinek подкрепляет многими примерами из практики несчастных случаев: некоторые из них оканчивались благополучно, несмотря на то, что сердце лежало на пути тока, другие же приводили к смерти, хотя сердце не было на этом пути.

Критику Jellinek'a нельзя не признать в общем правильной, ибо упрощенная картина прохождения тока внутри тела по определенным линиям вряд-ли может соответствовать действительности. Однако, если признак нахождения сердца на пути тока и не является решающим, из этого, по нашему мнению, не вытекает необходимость отрицания всякого значения за местом расположения электродов. Последнее имеет немалое влияние хотя бы уже потому, что кожа на разных участках тела имеет разное электрическое сопротивление. Сопротивление же кожи, как это было выяснено выше, имеет первостепенное значение.

7. Физическое и психическое состояние человека. Не рискуя глубоко вдаваться в обширные и мало известные для инженера области медицинского знания, мы коснемся лишь в самых общих чертах биологических факторов, влияющих на степень опасности электрического удара.

По поводу общего физического состояния и конституции человека можно только высказать общее положение, что вполне здоровые, крепкие и нормальные люди лучше переносят электрические удары, нежели слабые, болезненные и, в особенности, люди, отличающиеся какими либо аномалиями или патологическими особенностями. Здесь кстати вспомнить, что люди первой

категории обладают вообще более высоким электрическим сопротивлением, нежели люди второй категории, так что по одному этому они подвергаются меньшей опасности при включении на одно и то же напряжение.

Что же касается влияния отдельных патологических факторов, то его, вообще говоря, установить довольно трудно, и в этом отношении мнения часто расходятся. В литературе можно встретить указания на специальную подверженность электрическим ударам людей с расстройствами в области сердечной деятельности, деятельности желез внутренней секреции и др.; однако, подобные факты нельзя считать твердо установленными.

Нужно полагать, что из всех патологических явлений наибольшее влияние на степень опасности электрических ударов имеют болезни и, вообще, ненормальности кожи, как органа, состояние которого почти всецело определяет силу тока при данном напряжении и данных внешних условиях. Люди с легко потеющей влажной кожей, особенно на руках, являются несомненно первыми кандидатами в отношении возможности получения электрического удара.

Следует упомянуть также о действии электрических поражений на алкоголиков, в виду практической важности этого вопроса. Как правило, алкоголики считаются более подверженными электрическим ударам, но нужно признать, что в этом отношении трудно найти какие либо веские доказательства и данные в пользу этого мнения.

Переходя к психическим факторам, нужно прежде всего остановиться на воззрениях проф. Jellinek'a, придающего психическим факторам исключительное значение в вопросе о поражениях электрическим током. Jellinek рассматривает электрический удар, главным образом, как поражение нервной системы (нервное потрясение) и приписывает передаче раздражения по нервам во все центры большую роль, нежели физическому распространению тока внутри тела и непосредственному его воздействию на главные органы. Сообразно такому воззрению, чисто психические свойства человека и его психическое состояние в момент поражения должны иметь еще большее значение, чем сопротивление тела и другие физические величины.

Среди элементов психического состояния Jellinek выдвигает на первый план „проблему внимания“, причем под вниманием он подразумевает степень психической подготовленности человека к возможности поражения электрическим током. Неожиданный электрический удар всегда сопровождается сильным испугом, который, по словам Jellinek'a, играет решающую роль и часто ведет к трагическому концу. Если же удар ожидается с сосредоточенным вниманием, то степень опасности удара резко падает, и поражение обыкновенно ограничивается ожогами и другими травмами. Таким образом, известное напряжение воли является надежной внутренней защитой, способной предотвратить электрический удар.

С другой стороны, во время сна, а также в состоянии под наркозом, когда с явлением испуга не приходится иметь дела, степень опасности электрического удара, по мнению Jellinek'a, также сравнительно невелика. В подтверждение своих взглядов Jellinek ссылается, с одной стороны, на свои опыты над кошками и собаками, а с другой стороны, на практику несчастных случаев.

Не оспаривая того большого значения, которое имеет на исход несчастного случая психическое состояние пострадавшего, нельзя все-таки не признать оценку этих факторов, даваемую Jellinek'ом, несколько преувеличенной и не достаточно подкрепленной фактическим материалом: Результаты опытов с животными не могут быть обобщаемы и переносимы на человека, как это справедливо замечает тот же Jellinek в другом месте, по поводу опытов *Prévost* и *Batelli*, *Weiss'a* и других исследователей. На примеры же из практики несчастных случаев можно было бы ответить, как это и делают оппоненты Jellinek'a, другими примерами, опровергающими взгляды этого ученого, как-то, примеры электротехников, которые, судя по общей картине несчастного случая, вполне сознавали о грозящей им опасности, были подготовлены к ней и все же были поражены на смерть током. С другой стороны, увеличение опасности электрических ударов в случае, если человек к ним не подготовлен, можно отчасти объяснить уменьшением электрического сопротивления тела при испуге, т. е. увеличения силы тока при данных внешних условиях, как это было обнаружено при испытаниях в Цюрихе. Равным обра-

зом, уменьшение опасности электрического удара во сне, если этот факт доказан, следовало бы, по нашему мнению, поставить в связь со значительным увеличением электрического сопротивления тела у спящих людей.

С другой стороны, конечно, невозможно было бы отрицать значение психических факторов, и в том числе степени внимания и сосредоточенности на выполняемой работе, напряжения воли, степени утомления, общего душевного равновесия человека и т. д. Несомненно, что и общий интеллектуальный уровень, и в частности знакомство с действиями электрического тока и с устройством электрических установок, должно играть некоторую роль. Человек, в котором один вид электрического разряда вселяет чувство ужаса, должен иначе реагировать на электрический удар, нежели, скажем, опытный электротехник, имевший в течение многих лет дело с электрическим током. Однако, мы совершенно не имеем здесь в виду „привычку“ к электрическому току в смысле известной тренировки тела. Все наблюдения и данные из практики убеждают в том, что никакая тренировка электротехников, регулярно испытывающих напряжение простым приложением пальцев руки к токоведущим частям, не вызывают у них ни в малейшей степени иммунитета в отношении поражений электрическим током.

В заключение настоящей главы скажем несколько слов о влиянии пола и возраста на опасность электрического удара. Несмотря на встречающиеся иногда указания на большую степень подверженности электрическим ударам женщин и детей, все же никаких определенных данных по этому вопросу в науке и практике не имеется. Поэтому, нам кажется, нет достаточных оснований для проведения каких либо различий в этом отношении; нужно считать, что все люди, мужчины, женщины и дети, подвержены в равной степени опасности поражения электрическим током. В этом отношении чрезвычайно показательны Цюрихские опыты, обнаружившие примерно одинаковую реакцию на прохождение электрического тока у 25 разных лиц, разного пола и возраста. Эти опыты далее показали, что не следует вообще преувеличивать значение индивидуальных особенностей в отношении опасности электрических ударов; эти особенности выража-

ются, главным образом, в изменении величин электрического сопротивления тела, но не характера физиологической реакции при данной величине силы тока.

В настоящее время работы по выяснению степени опасности электрических ударов ведутся в разных странах, при участии как инженеров, так и врачей, и надо думать, что уже в ближайшее время эта область окажется гораздо лучше исследованной, чем в настоящее время. Следует пожелать, чтобы и наши научно-исследовательские Институты занялись как можно скорей этими вопросами, имеющими весьма большое значение для всего развития электротехники.

#### д. Электрические травмы.

1. Ожоги. В условиях эксплуатации электрических установок ожоги происходят как при прохождении тока через тело человека, так и без такого прохождения, напр., при расплавлении плавких вставок предохранителей, от разлетающихся частиц раскаленных токоведущих частей, от прикосновения к сильно нагретым частям реостатов и других электрических приборов. Такие случаи ожогов, происходящие без прохождения электрического тока через тело, нельзя, строго говоря, рассматривать как поражения электрическим током, хотя они, как правило, и причисляются к несчастным случаям от электричества. Ожог вызывается в этих случаях путем прикосновения к нагретым или раскаленным металлическим частям, причина же, вызвавшая повышение температуры этих частей, будь то электрический ток или нет, не имеет прямого отношения к самому повреждению; о физиологическом действии тока здесь не может быть речи. Наиболее тяжелыми среди несчастных случаев указанного типа являются ожоги или повреждения глаз.

С другой стороны, часто наблюдаются случаи типичных ожогов и при электрических поражениях, когда тело составляет часть пути тока. Чаще всего это имеет место при отсутствии непосредственного контакта между кожей и токоведущей частью, когда цепь через тело человека замыкается при посредстве искры или вольтовой дуги; равным образом, искра может образоваться

и при размыкании цепи. Нередко появляются ожоги и без образования искры, именно, при плохом контакте, когда его сопротивление велико, а потому в месте перехода тока в тело человека происходит обильное выделение джоулева тепла. В этих случаях мы имеем дело с тепловым действием тока на кожу, и иногда, при очень сильных ожогах, и на внутренние органы. Электрический ожог нельзя квалифицировать как особый вид травмы; по своим признакам, клинической картине, способам лечения и пр. этот ожог не отличается от ожогов, вызываемых другими причинами. Как вообще при ожогах, здесь различаются ожоги трех степеней, именно: ожоги 1-й степени, характеризующиеся только покраснением кожи, ожоги 2-й степени, сопровождающиеся образованием пузырей, и ожоги 3-й степени, самые тяжелые, при которых происходит обугливание и омертвение кожи и мышц. Деление это вообще довольно условно и многими врачами не признается.

Так как количество выделенного тепла пропорционально квадрату силы тока, электрическому сопротивлению данной части цепи и времени прохождения тока, эти величины имеют главное значение в отношении силы и степени опасности ожогов. В виду того, что сколько-нибудь значительная сила тока при высоком сопротивлении контакта возможна лишь при высоком напряжении, ожоги происходят обыкновенно при высоком напряжении. Образование вольтовой дуги или искрового разряда в тело также происходит лишь при достаточно высоком напряжении, порядка обыкновенно не менее нескольких тысяч вольт. Иногда, в таких случаях, благодаря быстрому рефлективному движению, человек избегает опасности электрического удара и отделяется только ожогами.

Если таким образом сила тока, характер контакта и продолжительность включения имеют большое значение, то с другой стороны род тока и его частота вряд ли могут играть в данном случае серьезную роль, ибо тепловой эффект не зависит от этих факторов. И действительно, наблюдения показывают, что если токи высокой частоты не представляют серьезной опасности в отношении электрических ударов, то ожоги при них так же возможны, как и при токах промышленной частоты или при



постоянном токе. Поэтому, опыты и демонстрации с токами высокой частоты, о которых говорилось выше, могут происходить безболезненно лишь в случае принятия действительных мер против возможности появления ожогов. Эти меры заключаются главным образом в улучшении контакта между кожей и электродом, ибо при очень малых значениях сопротивления контакта выделение тепла будет незначительно. Путем применения специальных электродов, например, ванн с раствором и пр., удастся избежать ожогов даже при очень высоких напряжениях, порядка нескольких десятков тысяч вольт.

2. Электрические знаки. Помимо ожогов электрический ток часто вызывает внешние травмы особого вида, которые можно назвать „электрическими знаками“ (Strommarke). Электрический знак представляет собой большей частью припухлость на коже круглой или эллипсоидальной формы (фиг. 3). Кожа в пораженном месте затвердевает в виде мозоли и приобретает бледно-желтый или желтовато-серый цвет. В то время как края затвердения возвышаются, середина часто углублена или втянута, причем дно и края углубления обыкновенно имеют темно-серую, реже красноватую окраску. При значительной площади контакта кожа оказывается иногда пораженной на большой площади, как это изображено на фиг. 4; любопытно, что на руке при этом получается более или менее точный отпечаток той токоведущей части, которой человек прикоснулся.

До сравнительно недавнего времени электрические знаки обыкновенно относили к ожогам, причисляя их иногда к ожогам 2-й степени. Теперь же, особенно после исследований проф. Jellinek'a, можно считать установленным, что электрические знаки ничего общего с ожогами не имеют и представляют совершенно специфическое поражение. Уже по внешнему виду знаки сильно отличаются от ожогов; вокруг пораженного электрическим знаком места не замечается никаких покраснений и вообще воспалительных явлений; только узкая белая кайма наблюдается вокруг электрического знака. Кроме того, при электрических знаках не обнаруживается также и образования пузырей; наоборот, здесь образуется твердая, плотная пленка. Далее, не наблюдается и обгорания волосяного покрова кожи; волосы, находящиеся на

данном участке кожи, остаются неповрежденными даже и при глубоко проникающих поражениях. Также и одежда, покрывающая пораженное место, часто остается совершенно неповрежденной несмотря на прохождение тока. Наконец, основное различие между ожогом и электрическим знаком заключается в том, что последний совершенно безболезнен, как в момент своего появления, так и в течении всего процесса выздоровления. Самый этот процесс также происходит весьма своеобразно, при-



Фиг. 3. Электрический знак круглой формы.



Фиг. 4. Электрический знак в виде отпечатка токоведущей части.

чем электрические знаки обнаруживают исключительную тенденцию к благополучному исцелению, без всякого лечения или вообще внешнего воздействия.

Изредка происходят весьма сильные поражения электрическим током, с разрушением значительных частей тела, которые, однако, также можно отнести к категории электрических знаков, в виду наличия общих свойств. На фиг. 5 изображен случай такого тяжкого повреждения левой руки, которая вся, до плеча, поражена электрическим током. Несмотря на глубокое пораже-

ние, вплоть до костей, такие повреждения также протекают безболезненно. Процесс выздоровления происходит без значительного повышения температуры, без нагноения, заражения и вообще без серьезного нарушения общего состояния организма. В случае, показанном на фиг. 5, вскоре после несчастного случая рука отекала, затем мумифицировалась (отсохла), и наконец, сама отвалилась у плеча, а рана быстро зажила. Никакой ампутации или



Фиг. 5. Тяжелое поражение руки электрическим током.

вообще какого-нибудь хирургического вмешательства не потребовалось, и оно, по мнению проф. Jellinek'a, могло бы принести только вред. Подобный процесс, носящий название „асептического некроза“, является весьма характерным для рассматриваемых электрических поражений и резко отличает их от ожогов и других промышленных травм. Подробности об этой крайне любопытной форме заболевания можно найти в книге проф. Jellinek'a „Несчастные случаи от электричества“.

Сущность рассматриваемого поражения, которое мы квалифицировали как электрический знак, в легкой или тяжелой форме, в настоящее время еще очень мало выяснена. Несомненно однако, что здесь мы имеем главным образом дело не с тепловым действием тока, как при ожогах, а с другими его проявлениями, механическими или химическими. Соответственно этому и условия поражения здесь будут иные, нежели при ожогах. Последние имеют место при искровом разряде или при плохом контакте, с высоким сопротивлением. Электрические же знаки, наоборот, происходят при хорошем контакте кожи с токоведущей частью, когда переходное сопротивление мало; таковы

напр., условия, когда прикосновение происходит не случайно, а умышленно, т. е. пострадавший обхватывает рукой токоведущую часть.

Влияние отдельных факторов (сила и род тока, продолжительность включения и т. д.) в отношении электрических знаков исследовано сравнительно мало. Нужно полагать, что это влияние того же порядка, что и для электрических ударов. В частности токи высокой частоты, насколько позволяют судить производившиеся опыты над животными и людьми, не вызывают электрических знаков, несмотря на весьма низкое сопротивление искусственного контакта. Из сказанного однако не следует, что эти оба поражения (удары и знаки) всегда происходят одновременно или соответствуют друг другу по своей интенсивности. Нередко тяжелый электрический удар, оканчивающийся смертью, сопровождается едва заметным электрическим знаком, и наоборот тяжкое повреждение, вроде изображенного на фиг. 3. может не иметь никаких последствий на общее состояние здоровья пострадавшего, как то и было в указанном случае. Несмотря на это, электрические знаки признаются одним из наиболее характерных внешних признаков электрического поражения; очень часто, если условия, при которых произошел несчастный случай, неизвестны, наличие на теле электрического знака, хотя бы и мельчайших размеров, служит доказательством того, что причиной несчастья был именно электрический ток. Этому обстоятельству электрический знак обязан между прочим и своим названием. Делу опознавания несчастных случаев от электричества, главным образом при помощи электрических знаков, проф. Jellinek посвятил отдельный труд <sup>1)</sup>.

Помимо резко выраженных электрических знаков, столь отличных от ожогов, нередко происходят травмы смешанного характера, когда налицо симптомы как электрического знака, так и ожога. Существование подобных смешанных травм было причиной того, что долгое время вообще не делали никаких различий между ожогами и знаками, считая их повреждениями одного и того же порядка. Смешанные травмы происходят при

<sup>1)</sup> См. Stephan Jellinek. Elektrische Spurenkunde. Berlin. 1927.

условиях контакта, промежуточных между теми, которые соответствуют той и другой травме в чистом виде. Таким образом, наряду с тепловым действием тока, вызывающим ожог, имеют место и другие эффекты тока, ведущие к образованию электрического знака.

Из других специфических травм, имеющих своей причиной электрический ток, можно упомянуть об „электрической металлизации“, которая заключается в поверхностном пропитывании кожи расплавленными или превращенными в газообразное состояние металлическими частицами. Измененный таким образом участок кожи имеет шероховатую, жесткую поверхность; пострадавший испытывает ощущение напряжения и присутствия инородного тела. Тот же характер имеют и окрашивания и осадки, состоящие из распыленных частиц, отделяющихся от проводника и связывающихся с кожей.

Наконец, нужно упомянуть о механических повреждениях, ушибах, переломах и пр., связанных с падением с высоты, когда под влиянием электрического тока пострадавший лишается сознания или просто теряет равновесие. Эти травмы имеют на практике немалое значение, и относятся обыкновенно также к электрическим несчастным случаям, хотя, конечно, электричество является лишь косвенной их причиной.

Как ни тяжелы бывают иногда ожоги и другие травмы, вызываемые электрическим током, сами по себе они редко представляют опасность для жизни человека. Главная и грозная опасность заключается в электрическом ударе, поражающем внутренние, самые важные органы человека.

---

## ГЛАВА II.

### СТАТИСТИКА НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА.

#### а. Общие данные о несчастных случаях от электричества.

Число несчастных случаев от электричества следует признать, вообще говоря, очень небольшим, если принять во внимание колоссальное распространение электричества в промышленности и в быту и повсеместное применение электрического тока. По сравнению с несчастными случаями от других причин, число несчастных случаев от электрического тока — величина незаметная. Для иллюстрации этого положения мы приведем данные о несчастных случаях в Германии за 1924 год, взятые нами из статьи инженера Pohl'a в журнале ETZ.<sup>1)</sup> В этом году, во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства зарегистрировано всего 645.974 несчастных случаев, сопровождавшихся выдачей страховых пособий; из этого громадного числа на долю несчастных случаев от электричества приходится всего 599 случаев, т. е. несколько менее 0,1%. Последний процент получился бы вероятно значительно выше, если бы учитывались несчастные случаи только в промышленности.

Более подробные данные мы можем привести относительно несчастных случаев, происшедших на предприятиях, которые входят в Германское Страховое Товарищество Точной Механики и Электротехники (Berufsgenossenschaft der Feinmechanik

<sup>1)</sup> Hermann Pohl. Statistische Wertung der sogenannten elektrischen Unfälle. ETZ. 1927, № 19.

und Elektrotechnik). В это объединение входят электротехнические предприятия, как то центральные электрические станции и электротехнические заводы, а потому данные этого Товарищества представляют особый интерес. В таблице III приведены как общие числа несчастных случаев, происшедших в предприятиях Товарищества за ряд последних лет и сопровождавшихся выдачей страховых пособий, так и числа несчастных случаев, причиной которых был электрический ток. Таблица составлена на основании годовых отчетов Товарищества <sup>1)</sup>.

ТАБЛИЦА III.

| Г о д ы                                                                  | 1920 | 1921 | 1922 | 1923 | 1924 | 1925 | 1926 | 1927 |
|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Все несчастные случаи                                                    | 2287 | 2520 | 2341 | 2121 | 1988 | 2485 | 2873 | 2601 |
| Несчастные случаи от электричества . . .                                 | 164  | 193  | 193  | 192  | 217  | 226  | 196  | 206  |
| ✓ Отношение числа несчастных случаев от электричества к общему числу в % | 7,2  | 7,6  | 8,2  | 9,0  | 10,9 | 9,1  | 6,8  | 7,9  |

Таким образом, даже в группе электротехнических предприятий несчастные случаи от электричества составляют обыкновенно не более 10% всего числа случаев; среднее отношение за 8 лет составляет около 8,5%.

Английские данные, относящиеся ко всем отраслям промышленности (без транспорта и сельского хозяйства) и составленные на основании годовых отчетов Британского Главного Фабричного Инспектора <sup>2)</sup>, приведены в таблице IV.

<sup>1)</sup> Jahresberichte der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik für die Jahre 1920 - 1927. Berlin 1921—1928.

<sup>2)</sup> Annual Reports of the Chief Inspector of Factories and Workshops. For the Years 1923, 1924, 1925 and 1927.

Данных за 1926 год у автора не имеется;

ТАБЛИЦА IV.

| Г о д ы                                                                          | 1923   | 1924   | 1925   | 1927   |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Общее число несчастных случаев . . . . .                                         | 125551 | 169723 | 159693 | 156974 |
| Число несчастных случаев от электричества                                        | 361    | 433    | 414    | 372    |
| Отношение числа несчастных случаев от электричества к общему числу в % . . . . . | 0,29   | 0,25   | 0,26   | 0,24   |

Мы видим, что несчастные случаи от электричества составляют в английской промышленности в среднем около одной четверти процента (0,25%) от всего числа несчастных случаев.

Большее значение имеют несчастные случаи от электрического тока в Америке, что, вероятно, следует поставить в связь с гигантским развитием потребления электрической энергии в Соединенных Штатах. Так, по имеющимся у нас данным за 1919—1920 годы<sup>1)</sup>, среди причин несчастных случаев в Американской промышленности на электрический ток приходится 0,8%.

Переходя к русской статистике, можно привести данные инж. Белинского из работ Государственного Научного Института Охраны Труда в Москве<sup>2)</sup>. В таблице V (стр. 64) приведены цифры несчастных случаев в промышленности РСФСР (включая городские предприятия, в частности трамваи) за 1923—1925 годы.

Интересно также проследить распределение несчастных случаев от электричества по разным отраслям промышленности. Таблица VI (стр. 64), взятая также из работы инж. Белинского, дает это распределение для РСФСР за 1925 год.

<sup>1)</sup> См. Техника Безопасности. Сборник статей. А. П. Якимов. Промышленный травматизм. Ленинград, 1927 г.

<sup>2)</sup> См. Несчастные случаи от электричества на промышленных предприятиях РСФСР в 1925 году. „Электричество“, 1929, № 15—16.



ТАБЛИЦА V.

| Г о д ы                                                                          | 1923  | 1924  | 1925   |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------|
| Общее число несчастных случаев . . . . .                                         | 33989 | 71177 | 113439 |
| Число несчастных случаев от электричества                                        | 158   | 244   | 354    |
| Отношение числа несчастных случаев от электричества к общему числу в % . . . . . | 0,47  | 0,34  | 0,31   |

ТАБЛИЦА VI.

| Наименование производства                                                                                                                  | Т р а м в а и | Производство и распределение электрич. энергии (электрич. станции и сети) | Металлопромышленность (обработка металлов и металлургия) | Текстильное производство | Прочие производства | По всем производствам |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| Общее число всех несчастных случаев . . . . .                                                                                              | 1374          | 1096                                                                      | 44822                                                    | 20781                    | 55366               | 113439                |
| Число несчастных случаев от электричества                                                                                                  | 57            | 28                                                                        | 162                                                      | 58                       | 49                  | 354                   |
| Отношение числа несчастных случаев от электричества к общему числу несчастных случаев в % . . . . .                                        | 4,15          | 2,56                                                                      | 0,36                                                     | 0,28                     | 0,09                | 0,31                  |
| Отношение числа несчастных случаев от электричества в данном производстве ко всему числу несчастных случаев от электричества в % . . . . . | 16,1          | 7,9                                                                       | 45,8                                                     | 16,4                     | 13,8                | 100,0                 |

Таким образом, по удельному весу электрического тока в ряду материальных причин несчастных случаев на первом месте, как и следовало ожидать, стоят электротехнические предприятия, как трамваи и электрические станции. С другой стороны, если рассматривать абсолютные числа несчастных случаев от электричества, независимо от их отношения к общему числу случаев, то на первом месте стоит металлопромышленность, дающая около половины всех несчастных случаев от электричества. Электрические же станции и сети дают всего около 8% всех случаев от электричества, что свидетельствует о сравнительно высоком техническом уровне электрического оборудования предприятий по производству и распределению электрической энергии.

В результате рассмотрения вышеприведенных данных по разным странам, следует признать, что число несчастных случаев от электричества составляет вообще лишь долю одного процента от общего от числа несчастных случаев в промышленности, обыкновенно (за исключением Америки) не более 0,5%. Такую сравнительно очень малую частоту несчастных случаев от электричества следует объяснить только высокой степенью технического развития электрических установок, по сравнению с другими отраслями промышленности и техники. Электротехника с самого начала развивалась на почве глубокого научного анализа физических явлений и в ней, более чем в какой либо другой отрасли техники, наблюдается теснейшая связь теории и практики. С другой стороны, безопасность электрических установок всегда была главной задачей всякого электротехника, а не только специалиста по технике безопасности, и таким образом достигалась необходимая органическая связь между вопросами надежности и безопасности с одной стороны и производственно-экономическими вопросами — с другой.

По мере технического развития и усовершенствования электрических установок возрастает и степень их безопасности. Так, например, в Германии, за период времени с 1913 по 1924 годы, степень безопасности электрических установок весьма сильно возросла, как это можно усмотреть из следующей таблицы VII (стр. 66), взятой из упомянутой выше статьи Pohl'a

ТАБЛИЦА VII.

| Г о д ы            | Присоединенная<br>мощность в kW | Полезно отданная<br>энергия в kWh | Число несчастных<br>случаев |
|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1913 . . . . .     | 4700000                         | 2100000000                        | 480                         |
| 1924 . . . . .     | 12000000                        | 11000000000                       | 599                         |
| Приращение . . . . | + 155%                          | + 420%                            | + 30%                       |

Таким образом, за время с 1913 по 1924 год — период исключительного прогресса во всех отраслях электротехнической промышленности — число несчастных случаев возросло незначительно, всего на 30%, в то время, как мощность установок возросла в 2,5 раза, а количество потребленной электрической энергии — более чем в 5 раз. Можно сказать, что электротехника не знает явления, свойственного многим другим областям техники, именно повышения степени опасности в связи с существенными элементами технического прогресса, например, с увеличением скорости движения машин, степенью их использования и пр. Технический прогресс в электротехнике, и в первую голову повышение напряжения тока, всегда сопровождается настолько существенным повышением требований и норм безопасности, что в результате получается не уменьшение, а наоборот, скорее увеличение степени безопасности.

#### в. Смертные случаи от электричества.

Из общего числа несчастных случаев от электричества особый интерес представляют случаи, оканчивающиеся смертью. Эти случаи, как было выяснено выше, характеризуют опасность электрического удара, в противоположность другим, менее серьезным случаям, связанным обыкновенно с ожогами и другими травматическими повреждениями от электрического тока.

По данным Британского Главного Фабричного Инспектора смертные несчастные случаи от электричества и от других причин распределялись в 1923, 1924, 1925 и 1927 годах следующим образом:

ТАБЛИЦА VIII.

| Г о д ы                                                                        | 1923 | 1924 | 1925 | 1927 |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Общее число смертных случаев в промышленности                                  | 867  | 956  | 944  | 973  |
| Число смертных случаев от электричества . . . . .                              | 21   | 27   | 24   | 27   |
| Отношение числа смертных случаев от электричества к общему числу в ‰ . . . . . | 2,42 | 2,83 | 2,54 | 2,67 |

Как видим, значение электрического тока в ряду причин смертных несчастных случаев гораздо выше, нежели для всех вообще несчастных случаев. В то время, как среди несчастных случаев от электричества один смертный случай приходится в среднем на 16 случаев (6,2‰), для всех несчастных случаев одна смерть приходится на 160 случаев (0,62‰). Таким образом среди несчастных случаев от электричества смертные случаи происходят в 10 раз чаще, чем вообще для всех несчастных случаев.

По германским данным, степень тяжести несчастных случаев от электричества получается еще гораздо более высокой. По данным Alvensleben'a <sup>1)</sup>, в Пруссии в 1922 году произошло во всей стране, в промышленности, транспорте и домашнем быту 259 смертей от электричества, а в 1923 году — 292 смертей. Если таким образом среднее число смертных несчастных случаев от электричества в Пруссии равно около 270, то во всей Германии, по расчетам Alvensleben'a его можно принять 360. Из этого числа, по данным Alvensleben'a, около 80‰, т. е. около 290—300 падает на промышленность и транспорт. По расчетам Pohl'a, число смертных несчастных случаев от электричества в промышленности (без транспорта) составило в 1924 году — 211, что, при общем числе несчастных случаев от электричества в 599 (стр. 61), составляет более одной трети (35,2‰).

Отчеты Германского Страхового Товарищества Точной Механики и Электротехники дают возможность более точно про-

<sup>1)</sup> См. ETZ 1928, стр. 1061—1062.

следить сравнительную тяжесть несчастных случаев от электричества. Таблица IX, составленная нами на основании годовых отчетов Товарищества, дает полное представление о смертных случаях на предприятиях, входящих в Товарищество, за целый ряд лет.

ТАБЛИЦА IX.

| Г о д ы                                                                                         | 1920 | 1921 | 1922 | 1923 | 1924 | 1925 | 1926 | 1927 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Общее число смертных несчастных случаев . . . . .                                               | 224  | 208  | 224  | 205  | 196  | 239  | 264  | 248  |
| Число смертных несчастных случаев от электричества . . . . .                                    | 84   | 91   | 102  | 82   | 111  | 106  | 107  | 97   |
| Отношение числа смертных случаев от электричества к общему числу смертных случаев в % . . . . . | 37,5 | 43,6 | 45,0 | 40   | 56,6 | 44,5 | 40,6 | 39,2 |

Сравнивая данные таблицы III с данными таблицы IX, мы видим, что если среди всех несчастных случаев электричество является причиной в среднем около 8,5% случаев, то для смертных случаев этот процент увеличивается в 5 раз, будучи в среднем за 8 лет около 42%. Если подсчитывать отношения чисел смертных случаев к числам всех несчастных случаев соответствующей категории, то для случаев, вызванных всеми причинами, это отношение равно, в среднем за 8 лет, около 9,5%, а для „электрических“ несчастных случаев — 48%. Другими словами, почти каждый второй несчастный случай от электричества оканчивается смертью.

Германским данным довольно хорошо соответствуют Швейцарские. По данным Швейцарского Инспектората электрических установок сильного тока (Inspectorat des installations à fort courant <sup>1)</sup>) среднее годовое число электрических несчастных случаев в промышленности (не включая транспорт) за десятилетний период 1919—1928 годы, равно 73; из них 27 случаев смертных, что составляет 37%.

<sup>1)</sup> См. Accidents dus au courant électrique, survenus en Suisse en 1927 et 1928. Bulletin A. S. E. 1929, № 7.

Что касается РСФСР, то по данным инж. Белинского в 1925 году было всего 316 смертных несчастных случаев во всех отраслях промышленности, из них всего 13 или 4,1% — от электрического тока. Если же мы сопоставим число смертных случаев от электричества с общим числом несчастных случаев от электричества в том же году, равным 354 (см. таблицу III), то окажется, что из электрических несчастных случаев оканчивается смертью всего 3,7%.

Значительно большее число смертных несчастных случаев от электрического тока зарегистрировано в 1929 году. По данным инж. Шапошникова <sup>1)</sup> за этот год произошло в СССР 44 смертных случая от электричества, что составляет 11,7% от всех смертных случаев в промышленности. Из 44 указанных случаев 30 приходится на РСФСР и 14 — на УССР.

Сравнивая между собой вышеприведенные цифры, мы замечаем сильное расхождение в данных по разным странам. В то время как в РСФСР (по данным Белинского) один смертный случай приходится на 27 несчастных случаев от электричества, а в Англии 1 на 16, в Германии одна смерть приходится на каждые 2 — 3 электрических несчастных случая. Столь значительное расхождение можно, по нашему мнению, объяснить только различием в способах регистрации и оценки несчастных случаев. Дело в том, что наши и английские данные относятся ко всем зарегистрированным несчастным случаям, германские же — только к „ликвидированным“ несчастным случаям, сопровождавшимся выдачей страховых пособий и связанным с длительной утратой трудоспособности (не менее 13 недель). Германские несчастные случаи поэтому совершенно неравноценны нашим и английским и представляют сравнительно тяжелые случаи.

Как бы то ни было, все вышеприведенные данные с несомненностью указывают на то, что коэффициент смертности среди несчастных случаев от электричества во много раз превышает таковую же величину для других категорий промышленного травматизма. Это вполне согласуется с тем, что было сказано в главе I-й об электрических ударах, которые чаще всего либо

<sup>1)</sup> См. И. И. Шапошников. Смертельные несчастные случаи в СССР в 1929 году. „Гигиена, безопасность и патология труда“. 1930, № 6.

происходят без вреда для здоровья и без какой-либо длительной утраты трудоспособности (т. е. не представляют собой несчастных случаев в смысле, напр., Германской статистики), либо же оканчиваются смертью.

### с. Несчастные случаи от электричества в зависимости от напряжения и рода тока.

Для выяснения вопроса о влиянии напряжения и рода тока на частоту несчастных случаев приведем сначала таблицу X, составленную на основании отчетов Германского Товарищества Точной Механики и Электротехники и дающую распределение несчастных случаев по роду тока и напряжения установки. Градация напряжений в этой таблице, так же как и во всем дальнейшем изложении (если не имеется особых указаний), соответствуют, действующим у нас правилам, т. е. высоким напряжением считается то, которое превышает 250 V между линейным проводом и землей; таким образом напряжение постоянного тока в  $2 \times 220$  V и напряжение трехфазного тока в 380/220 V, при заземленной нейтрали, относятся к низкому напряжению.

ТАБЛИЦА X.

| Г о д ы        | Постоянный ток    |                    | Переменный ток    |                    | Род тока и напряжение неизвестны |
|----------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------------------|
|                | Низкое напряжение | Высокое напряжение | Низкое напряжение | Высокое напряжение |                                  |
| 1920 . . . . . | 3                 |                    | 47                | 114                | —                                |
| 1921 . . . . . | 2                 |                    | 64                | 126                | —                                |
| 1922 . . . . . | 2                 |                    | 53                | 138                | —                                |
| 1923 . . . . . | 2                 |                    | 51                | 141                | —                                |
| 1924 . . . . . | 2                 | 2                  | 50                | 161                | 2                                |
| 1925 . . . . . | —                 | 2                  | 56                | 166                | 2                                |
| 1926 . . . . . | 6                 | 3                  | 48                | 136                | 3                                |
| 1927 . . . . . | 9                 | 2                  | 61                | 125                | 2                                |
| Итого за 8 лет | 35                |                    | 490               | 1107               | 9                                |

Таким образом, если взять данные за 8 лет в процентах к итогу, то несчастные случаи, вызванные переменным током высокого напряжения дают 70,2%, переменным током низкого напряжения — 27,1%, постоянным током — 2,2%, и происшедшие при неизвестных обстоятельствах — 0,5%.

Таблица указывает на преобладание несчастных случаев от токов высокого напряжения и на ничтожное значение, которое имеет постоянный ток в качестве причины несчастных случаев.

Этот результат в значительной степени связан с тем, что данные относятся к несчастным случаям не во всей промышленности, а главным образом только в специальных электротехнических предприятиях, в которых установки переменного тока высокого напряжения распространены гораздо больше, нежели вообще в промышленности, т. е. у потребителей. Однако и здесь несчастные случаи на низком напряжении (переменного тока) составляют значительную часть общего числа случаев.

Согласно отчета Швейцарского Инспектората электрических установок сильного тока средние годовые числа несчастных случаев от электричества во всей промышленности, взятые за 10 лет (1919—1928 годы), распределяются следующим образом:

ТАБЛИЦА XI.

|                            | Общее среднее годовое число несчастных случаев | Низкое напряжение |           | Высокое напряжение |           |
|----------------------------|------------------------------------------------|-------------------|-----------|--------------------|-----------|
|                            |                                                | Абсол. число      | % к итогу | Абсол. число       | % к итогу |
| Все несчастные случаи . .  | 73                                             | 42                | 57,5%     | 31                 | 42,5%     |
| Смертные несчастные случаи | 27                                             | 14                | 52%       | 13                 | 48%       |

Здесь, в отличие от Германских данных, замечается преобладание, хотя и не очень резкое, несчастных случаев, происшедших на низком напряжении. Так как Швейцарские данные отно-



сятся ко всей промышленности, указанное расхождение является вполне объяснимым.

Интересно также привести данные о несчастных случаях от электричества в Голландии, взятые из доклада Dopple<sup>1)</sup> на 3-ей Международной Конференции по Высоким напряжениям в Париже <sup>1)</sup>. Данные относятся к несчастным случаям на всех электрических установках Голландии за последние 16 лет.

ТАБЛИЦА XII:

|                            | Общее число несчастных случаев за 16 лет. | Низкое напряжение |                                  | Высокое напряжение |                                  |
|----------------------------|-------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|
|                            |                                           | Абсол. число      | % к итогу                        | Абсол. число       | % к итогу                        |
| Все несчастные случаи . .  | 1084                                      | 908               | 83,8 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> | 176                | 16,2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> |
| Смертные несчастные случаи | 119                                       | 89                | 74,8 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> | 30                 | 25,2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> |

Голландская статистика дает уже весьма резкое преобладание числа несчастных случаев на низком напряжении над таковыми же на высоком напряжении. Различие в цифрах Голландской и Швейцарской статистики, вероятно, можно объяснить тем, что в Голландии далеко нет той централизации в производстве и распределении электрической энергии, и того развития высоковольтных сетей и установок, как в Швейцарии, стоящей в этом отношении на одном из первых мест в ряду западно-европейских стран.

Что касается несчастных случаев от постоянного тока, то их число как в Швейцарии, так и в Голландии очень мало. Так напр. в Швейцарии в 1927 году было всего 3 несчастных случая от постоянного тока, а в 1928 — 4.

Особенный интерес представляют английские данные; именно годовые отчеты Британского Главного Фабричного Инспектора.

<sup>1)</sup> N. M. H. Doppler. Quelques notes sur les statistiques d'accidents par l'électricité et les dangers du courant électrique. Compte rendu de la 3-me. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques. Vol. II. p. 876.

В этих отчетах имеется специальный отдел, посвященный докладу Электротехнической Инспекции Безопасности <sup>1)</sup>, в котором обыкновенно приводятся списки смертных несчастных случаев, происшедших в английской промышленности, с распределением их по напряжению и роду тока. В списках указывается 2 напряжения: одно — напряжение данной электрической установки, и другое — вероятное напряжение при электрическом поражении, т. е. напряжение, под которым оказался пострадавший. Последнее напряжение равно либо полному рабочему напряжению установки, когда пострадавший коснулся одновременно двух полюсов или фаз сети, либо же равно напряжению между одним из проводов и землей, когда пострадавший коснулся только одного провода (см. главу III). Исключение представляет случай, отмеченный в таблице XIII звездочкой; здесь пострадавший коснулся колец неподвижного индукционного двигателя, вторичное напряжение которого больше первичного, т. е. напряжения сети. Таблица XIII (стр. 74) представляет собой сводный список смертных случаев от электрического тока, составленный на основании отчетов Британской Электротехнической Инспекции за 4 года, именно 1923, 1924, 1925 и 1927. Все случаи расположены в порядке убывания не основного напряжения установки, а вероятного напряжения при поражении, которое и является фактором, влияющим на степень опасности поражений.

Таким образом, всего за 4 года произошло в английской промышленности 99 смертных несчастных случаев от электричества, из них 39 (40%) — на высоком напряжении и 60 (60%) — на низком напряжении. Интересно отметить, что среди случаев на низком напряжении большая часть падает на следующие три напряжения трехфазного тока с заземленной нейтралью: 440/250, 415/240 и 400/230. На эти напряжения падает 37 случаев, т. е. 62% случаев на низком напряжении и 37% от всех смертных случаев. Согласно таблице все эти 37 случаев произошли при включении на фазное напряжение, между одним из проводов и землей.

<sup>1)</sup> Annual Report of the Chief Inspector of Factories and Workshops. Report of Senior Electrical Inspector G. Scott Ram. For the Years 1923, 1924, 1925 and 1927.

ТАБЛИЦА XIII.

|                                 | Число смер-<br>тных несчаст-<br>ных случаев | Напряжение<br>установки | Вероятное напря-<br>жение при пора-<br>жении | Род тока   |
|---------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|------------|
| Высокое напряжение — 39 случаев | 1                                           | 33000                   | 19000                                        | 3-фазный   |
|                                 | 1                                           | 18000                   | 10000                                        | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 10500                   | 10500                                        | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 10000                   | 10000                                        | 1- .       |
|                                 | 1                                           | 6600                    | 6600                                         | 2- .       |
|                                 | 1                                           | 11000                   | 6400                                         | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 10000                   | 5780                                         | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 4800                    | 4800                                         | 1- .       |
|                                 | 10                                          | 6600                    | 3800                                         | 3- .       |
|                                 | 2                                           | 5750                    | 3300                                         | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 3000                    | 3000                                         | Постоянный |
|                                 | 1                                           | 5000                    | 2900                                         | 3-фазный   |
|                                 | 1                                           | 2500                    | 2500                                         | 1- .       |
|                                 | 1                                           | 2200                    | 2200                                         | 1- .       |
|                                 | 1                                           | 2000                    | 2000                                         | 1- .       |
|                                 | 1                                           | 3100                    | 1790                                         | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 3000                    | 1730                                         | 3- .       |
|                                 | 2                                           | 2200                    | 1300                                         | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 2000                    | 1150                                         | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 550                     | 550                                          | Постоянный |
|                                 | 1                                           | 500                     | 500                                          | Постоянный |
|                                 | 1                                           | 440                     | 440                                          | 3-фазный   |
|                                 | 1                                           | 440                     | 440                                          | 2- .       |
|                                 | 1                                           | 400                     | 400                                          | 2- .       |
|                                 | 1 *                                         | 210                     | 350                                          | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 550                     | 320                                          | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 500                     | 290                                          | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 460                     | 265                                          | 3- .       |
| Низкое напряжение — 60 случаев  | 22                                          | 440                     | 250                                          | 3-фазный   |
|                                 | 1                                           | 250                     | 250                                          | 1- .       |
|                                 | 4                                           | 415                     | 240                                          | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 240                     | 240                                          | 2- .       |
|                                 | 11                                          | 400                     | 230                                          | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 230                     | 230                                          | 3- .       |
|                                 | 4                                           | 230                     | 230                                          | 1- .       |
|                                 | 2                                           | 220                     | 220                                          | Постоянный |
|                                 | 5                                           | 220                     | 220                                          | 1-фазный   |
|                                 | 1                                           | 220                     | 220                                          | 2- .       |
|                                 | 1                                           | 365                     | 210                                          | 3- .       |
|                                 | 1                                           | 205                     | 205                                          | 1- .       |
|                                 | 1                                           | 350                     | 200                                          | 3- .       |
|                                 | 3                                           | 200                     | 200                                          | 2- .       |
|                                 | 1                                           | 200                     | 200                                          | 1- .       |
|                                 | 1                                           | 230                     | 135                                          | 3- .       |
| Итого                           | 99                                          |                         |                                              |            |

Что касается постоянного тока, то он оказался причиной всего 5 смертных случаев (5%), из них 3 на высоком и 2 на низком напряжении.

Из всех 99 случаев, в 6 случаях причиной смерти были ожоги от электрического тока, в 3 случаях — падение с высоты, как следствие поражения электрическим током, в остальных 90 случаях — электрические удары. Таким образом данные таблицы характеризуют условия влияния напряжения и рода тока главным образом на степень опасности электрических ударов.

Как показывают вышеприведенные данные о несчастных случаях в Англии, Швейцарии и Голландии, относящиеся ко всей промышленности соответствующей страны, несчастные случаи на низком напряжении численно преобладают. Но, конечно, из этого факта нельзя сделать никаких заключений о сравнительной опасности низкого и высокого напряжения, ибо необходимо принять во внимание большую распространенность в промышленности машин, приборов и проводов низкого напряжения, нежели высокого напряжения, различные условия эксплуатации, различную степень осторожности, проявляемой людьми в зависимости от величины напряжения и пр. Несомненно, однако, что все вышеприведенные данные решительно опровергают широко еще распространенное представление о безопасности для жизни человека низкого напряжения; самое деление напряжения на „высокое“ и „низкое“ (т. е. до и выше 250 вольт по отношению к земле) является в значительной мере условным и произвольным (об этом подробнее см. дальше, в главе IV).

Далее, все приведенные выше данные указывают, что число серьезных несчастных случаев от постоянного тока крайне мало по сравнению с таковым же от переменного тока. Для того, чтобы на основании этого факта можно было заключить о большей опасности переменного тока по сравнению с постоянным, нужно было бы сравнить цифры потребления постоянного и переменного тока. К сожалению, точных статистических данных по этому вопросу не имеется. Но с другой стороны, мы можем привести интересные соображения Британского Старшего Электротехнического Инспектора (Senior Electrical Inspector) Scott Ram'a, имеющиеся в его докладе за 1925 год.

По данным Scott Ram'a, за последние 15 лет в Англии произошло 200 смертных несчастных случаев от тока низкого напряжения, из них только 3 или 4 от постоянного тока, все остальные — от переменного тока. По мнению Scott Ram'a 15—20 лет тому назад постоянный ток потреблялся в Англии в большем количестве, нежели переменный, однако же и в то время смертные несчастные случаи от постоянного тока встречались лишь как редкие исключения. Что касается новейшего времени, то и теперь потребление постоянного тока на английских фабриках и заводах вряд ли уступает потреблению переменного тока, а скорее всего даже превосходит последнее. Свое мнение Scott Ram подкрепляет следующими статистическими данными о всех несчастных случаях от электрического тока низкого напряжения — смертных, тяжелых и легких, происшедших в Англию за период 4 лет, с 1922 по 1925 г.:

ТАБЛИЦА XIV.

|                                                | Число<br>всех<br>несчаст-<br>ных<br>случаев | Электри-<br>ческие<br>удары | Ожоги | Повре-<br>ждения<br>глаз | Смерт-<br>ные<br>несчаст-<br>ные<br>случаи |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|-------|--------------------------|--------------------------------------------|
| Постоянный ток низкого<br>напряжения . . . . . | 688                                         | 80                          | 558   | 50                       | 2                                          |
| Переменный ток низкого<br>напряжения . . . . . | 339                                         | 208                         | 125   | 6                        | 52                                         |

Мы видим, таким образом, что по числу всех несчастных случаев, а не только случаев со смертельным исходом, постоянный ток вдвое превышает переменный. Scott Ram не без основания считает этот факт признаком большего распространения постоянного тока, по сравнению с переменным. Далее чрезвычайно характерно распределение этих несчастных случаев. Из всех несчастных случаев от постоянного тока низкого напряжения 88% падает на ожоги и повреждения глаз <sup>1)</sup> и только 12% на элек-

<sup>1)</sup> В рубрику „ожоги“ входят также и другие электрические травмы, т. е. „электрические знаки“ и пр. С другой стороны повреждения глаз являются по

трические удары. Наоборот, при переменном токе на электрические удары приходится 61%, а остальные 39% — на ожоги и повреждения глаз. Таким образом, для переменного тока характерны глубоко действующие на весь организм электрические удары, в то время, как действие постоянного тока выражается обыкновенно лишь в более или менее легких, поверхностных поражениях (ожоги и повреждения глаз). Но этого мало. Если взять одни только электрические удары, то и тут мы увидим, что степень тяжести этих ударов несравненно выше для переменного тока, нежели для постоянного тока. Считая, что все смертные случаи относятся к электрическим ударам (смерть от ожогов при низком напряжении встречается лишь в виде редчайшего исключения), мы находим, что среди электрических ударов при переменном токе низкого напряжения оканчиваются смертью 25% (52 из 208), а при постоянном токе — всего лишь 2,5% (2 из 80), т. е. степень тяжести электрических ударов в последнем случае в 10 раз меньше. Нельзя не признать, что все эти данные являются весьма веским аргументом в пользу мнения о большей опасности для жизни человека переменного тока по сравнению с постоянным, по крайней мере при низких напряжениях.

#### **д. Несчастные случаи от электричества в зависимости от места их возникновения.**

Интерес представляет также вопрос о распределении несчастных случаев от электричества по месту их возникновения, т. е. в зависимости от частей электрического оборудования, при обращении с которыми происходят несчастные случаи.

На основании годовых отчетов Германского Страхового Товарищества Точной Механики и Электротехники составлена нами таблица XV (стр. 78), дающая числа несчастных случаев, происшедших в предприятиях Товарищества за 8 лет (1920 — 1927), в зависимости от частей оборудования.

существу также ожогами, ибо они происходят в большинстве случаев от отлетающих раскаленных частиц металлов, при вольтовых дугах и т. п.

ТАБЛИЦА XV.

| Части оборудования     | Распределительные устройства и электрические приборы | Воздушные провода | Трансформаторы | Электрические машины (генераторы и двигатели) | Изолированные провода | Прочие части оборудования | ИТОГО |
|------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------|
| Абсолютное число . . . | 750                                                  | 594               | 127            | 52                                            | 13                    | 27                        | 1563  |
| Отношение к итогу в %  | 48,0                                                 | 38,0              | 8,1            | 3,4                                           | 0,8                   | 1,7                       | 100   |

Таблица показывает, что распределительные устройства и воздушная проводка дают вместе громадное большинство (86%) всех несчастных случаев. Все остальные части оборудования имеют в этом отношении второстепенное значение. Эта картина весьма типична для специальных электротехнических предприятий (электрические станции и сети), которые входят в рассматриваемое Германское объединение. Совсем иная картина получилась бы, конечно, если бы германские данные относились ко всей промышленности, потребляющей электрическую энергию.

Более детальное распределение несчастных случаев от электричества по отдельным частям электрического оборудования имеется в упоминавшейся уже статье инж. Белинского, касающейся электротравматизма в РСФСР. Таблица XVI (стр. 79), составленная на основании материала этой статьи, дает суммарные числа несчастных случаев, происшедших в промышленности РСФСР (включая трамваи) за 1923, 1924 и 1925 годы, а также соответствующие процентные отношения к итогу.

Анализ таблицы показывает, что громадное большинство несчастных случаев соответствует частям оборудования, относящихся к распределительным сетям низкого напряжения и к потребителям (приемникам) электрической энергии. Сюда относятся пункты 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15 и 19, дающие в общей сложности 596 случаев или 86,3% от общего числа не-

ТАБЛИЦА XVI.

| Наименование частей оборудования                                                                                                  | Абсолютное<br>число | Отношение<br>к итогу в % |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1) Рубильники . . . . .                                                                                                           | 174                 | 25,1                     |
| 2) Плавкие предохранители . . . . .                                                                                               | 91                  | 13,1                     |
| 3) Внутренняя проводка . . . . .                                                                                                  | 68                  | 9,8                      |
| 4) Электрические лампы переносного типа . . . . .                                                                                 | 65                  | 9,4                      |
| 5) Распределительные устройства и щиты . . . . .                                                                                  | 40                  | 5,7                      |
| 6) Электрические лампы постоянного типа . . . . .                                                                                 | 35                  | 4,7                      |
| 7) Трамвайные вагоны (за исключением п. п. 1, 2 и 9) . . . . .                                                                    | 28                  | 4,0                      |
| 8) Воздушные линии низкого напряжения . . . . .                                                                                   | 27                  | 3,9                      |
| 9) Контроллеры . . . . .                                                                                                          | 23                  | 3,3                      |
| 10) Электродвигатели . . . . .                                                                                                    | 18                  | 2,6                      |
| 11) Реостаты . . . . .                                                                                                            | 17                  | 2,4                      |
| 12) Кабели оцинкованные и бронированные . . . . .                                                                                 | 16                  | 2,3                      |
| 13) Штепсельные соединения . . . . .                                                                                              | 15                  | 2,2                      |
| 14) Подъемные и транспортные устройства с электрическим<br>приводом . . . . .                                                     | 15                  | 2,2                      |
| 15) Разные электрические приборы . . . . .                                                                                        | 14                  | 2,0                      |
| 16) Трансформаторные будки . . . . .                                                                                              | 12                  | 1,7                      |
| 17) Воздушные линии высокого напряжения . . . . .                                                                                 | 11                  | 1,6                      |
| 18) Генераторы и преобразователи . . . . .                                                                                        | 9                   | 1,3                      |
| 19) Металлические конструкции, нормально не несущие на-<br>пряжения и не относящиеся к электрическому оборудо-<br>ванию . . . . . | 8                   | 1,2                      |
| 20) Масляные выключатели . . . . .                                                                                                | 6                   | 0,8                      |
| 21) Разъединители . . . . .                                                                                                       | 2                   | 0,3                      |
| И Т О Г О . . . . .                                                                                                               | 692                 | 100-                     |



случаев. Относя остальные пункты 5, 12, 16, 17, 18, 20 и 21 — к станциям, подстанциям и линиям передачи, мы получим для них всего 96 случаев, или 13,7% от общего числа. К этой таблице мы еще вернемся при более близком рассмотрении источников опасности в электрических установках.

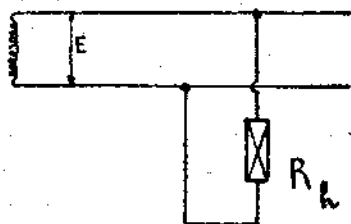
## ГЛАВА III.

### АНАЛИЗ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ ПОРАЖЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ.

В главе I мы рассматривали действие электрического тока на организм человека, не касаясь внешних условий, вызывающих несчастные случаи от электричества. В настоящей же главе мы рассмотрим внешние факторы, влияющие на степень опасности в отношении поражений электрическим током, и сделаем обзор опасных моментов, связанных с эксплуатацией, ремонтом и сооружением электрических установок.

#### а. Двухполюсное прикосновение к токоведущим частям.

Наиболее опасным является одновременное прикосновение к токоведущим частям двух полюсов или фаз электрической сети, находящейся под напряжением. В этом случае тело включается на полное напряжение сети, как это изображено на фиг. 6. Обозначая напряжение сети в момент прикосновения через  $E$ , сопротивление тела через  $R_h$  и силу тока, проходящего через тело, через  $I$ , найдем, что:



Фиг. 6. Схема двухполюсного прикосновения к токоведущим частям.

$$I = \frac{E}{R_h} \dots \dots \dots (1)$$

Эта формула относится равно к постоянному и переменному току, если под  $R_h$  мы будем подразумевать кажущееся сопротивление.

тивление, соответствующее данному роду тока (см. глава I, стр. 23—25). Как видим, состояние изоляции сети и условия заземления в данном случае никакой роли не играют.

Условия в данном случае тем более неблагоприятны, что прикосновение происходит обыкновенно к обоим полюсам или фазам руками, поэтому в знаменатель формулы (1) не входит сопротивление обуви, пола и т. д., как при других условиях включения. Имея в виду, что сопротивление тела человека может при очень неблагоприятных условиях понизиться до 1000  $\Omega$ , мы найдем, что уже при самом низком из применяемых промышленных напряжений сильного тока, именно при  $E = 110$  V или 120 V, сила тока  $I$  может быть порядка 0,1 A — величина, весьма опасная для жизни человека.

Рассматриваемые случаи прикосновения могут произойти при работе под напряжением, когда расстояние между зажимами или контактами, соединенными с разными полюсами или фазами, невелико. Сюда относятся работы с патронами электрических ламп, штепселями, небольшими двухполюсными и многополюсными рубильниками и другими приборами, в которых контакты находятся рядом или очень близко друг от друга. Для того, чтобы человек не мог случайно одновременно коснуться одной рукой двух полюсов, контакты должны находиться друг от друга на расстоянии не менее длины и ширины ладони. Однако, это выполняется только в более или менее крупных приборах, в обычной же низковольтной электрической аппаратуре, особенно осветительной, расстояния применяются обыкновенно значительно меньшие. Далее, при работах по ремонту более или менее сложных сетей, находящихся под напряжением, когда имеется много проводов со свободно висящими концами, часто трудно установить, какие провода с какими полюсами или фазами соединены; в этих случаях также возможно одновременное прикосновение к проводам, принадлежащим разным полюсам или фазам.

Кроме случаев одновременного прикосновения рукой к двум рядом находящимся контактам разной полярности (разных фаз), иногда происходят также случаи одновременного прикосновения к двум токоведущим частям, даже удаленным друг от друга, разными частями тела. Подобные случаи могут иметь место, когда

работа под напряжением производится рабочим в очень тесном помещении, в неудобном положении и т. п. неблагоприятной обстановке. В качестве примера приведем случай, происшедший на одной из Ленинградских электрических станций<sup>1)</sup>. Электромонтер изгибал клещами трубку Бергмана, лежа на полу под шинами, находившимися под напряжением 220 V. Манипулируя рукой, он наткнулся ею на одну из клемм на доске, и одновременно прикоснулся щекой к зажиму другой фазы соседнего трансформатора тока. От электрического удара монтер потерял сознание и после кратковременного применения искусственного дыхания был признан мертвым. В данном случае была полная возможность выключить на время работы шины, но этого не было сделано, ибо мастер, осматривавший место работы, считал напряжение в 220 V неопасным. Было лишь рекомендовано, для того, чтобы случайно не произошло короткого замыкания, отделиться от соседнего трансформатора куском фанеры, которая однако сейчас же после начала работ упала и не была вновь поставлена на место. Сам пострадавший относился скептически к таким защитным средствам и считал их излишними, особенно при низком напряжении, так как в продолжение своей многолетней практики (до 30 лет) неоднократно попадал под удары тока при напряжении в несколько тысяч вольт.

Кроме случайных прикосновений весьма часты также умышленные прикосновения к разным полюсам или фазам в установках низкого напряжения, с целью испытать, имеется ли между данными контактами напряжение или нет. При этом, чтобы лучше почувствовать электрический ток в случае наличия напряжения, пальцы руки нередко смачиваются слюной. Благодаря мокрой поверхности кожи, сопротивление тела, как выяснено в главе I, чрезвычайно понижается, и создаются все подходящие условия

---

<sup>1)</sup> Описания несчастных случаев, приведенные в настоящей главе, взяты большей частью из статей:

1) Инж. А. А. Труханов. К вопросу о поражениях электрическим током. Сборник „Техника безопасности в промышленности“ Ленинградского Института Гигиены Труда и Техники Безопасности. Ленинград, 1928 г.

2) Инж. С. Е. Белинский. Несчастные случаи от электричества на промышленных предприятиях РСФСР в 1925 году. „Электричество“. 1929 г., № 15—16.

для электрического удара. Подобные испытания обыкновенно производятся пальцами одной и той же руки, и нередко на этом основании они считаются безопасными, ибо предполагается, что ток идет при этом от одного пальца к другому, минуя сердце и другие внутренние органы. Однако, как это было выяснено в главе I (стр. 50), ток может пройти во внутренние части тела и при расположении электродов рядом друг с другом. И действительно, ошибочность указанного сильно распространенного мнения доказывается тем, что такие „испытания напряжения“ нередко ведут к несчастным случаям, оканчивающимся смертью. По данным Alvensleben'a в Германии при подобных обстоятельствах ежегодно погибает несколько десятков монтеров.

#### **в. Однополюсное прикосновение к токоведущим частям.**

Гораздо более частыми, нежели двухполюсные, являются однополюсные прикосновения к токоведущим частям. Условия, при которых такие прикосновения могут иметь место, столь разнообразны, что их невозможно перечислить. При электромонтажных работах под током, если только не применены специальные предохранительные средства, весьма трудно, а иногда и невозможно уберечься от непосредственного прикосновения к токоведущим частям, будь то рукой, металлическим инструментом и т. д. Достаточно указать на такие элементарные и обычные операции, как подтягивание гаек электрических зажимов или контактов, постановка и снятие вставок предохранителей и т. д., чтобы понять, насколько часто приходится прибегать при эксплуатации электрических установок к однополюсным прикосновениям. Несчастные случаи, как результат подобных прикосновений, многократно описаны в литературе.

Большую группу составляют несчастные случаи, связанные с прикосновением к токоведущим частям электрических ламп, как стационарных, так в особенности переносных. Характерным является при этом прикосновение к цоколю лампы при ее ввертывании или вывертывании. Так например, в одной кузнечной мастерской, при ремонте пневматического молота пользовались переносными лампами, одна из которых разбилась. Ра-

бочий, стоя на железной балке, стал вывертывать разбитую лампу и, прикоснувшись к цоколю лампы, получил удар током. В другом случае, происшедшем в 1929 году, монтер при вывертывании переносной лампы, при напряжении 120 V, взял рукой за цоколь и был убит током.

Помимо прикосновений к голым токоведущим частям бывают также прикосновения к проводам, обнажившимся вследствие дефекта изоляции или предохранительной оболочки. Такие прикосновения происходят как при эксплуатации электрических установок и приборов, напр. при обращении с переносными приборами, так и совершенно случайно (см. ниже).

Особенно опасными являются прикосновения к токоведущим частям, ошибочно принимаемым за выключенные. В подобных условиях прикосновение происходит обыкновенно без принятия каких либо предохранительных мер, причем не только к низковольтным, но и нередко к высоковольтным частям. Сама неожиданность электрического удара, свойственная подобным случаям, является условием, увеличивающим степень опасности поражения; об этом было сказано в главе I (см. стр. 52).

К этой же категории нечаянных прикосновений нужно отнести и совершенно случайные прикосновения к незамеченным токоведущим частям. В качестве примера укажем на следующий случай: инженер одной электрической станции, находясь на цистерне с трансформаторным маслом во время ее передвижения рабочими, случайно коснулся проводов местного освещения напряжением 220 V, от чего упал с цистерны на землю, получив кровоизлияние в мозг.

Насколько могут быть разнообразны и неожиданны условия случайных прикосновений, показывает весьма тяжелый случай, происшедший в 1923 году в Вене и описанный проф. Еллинеком в его книге „Несчастные случаи от электричества“. В большом подвале одной Венской гостиницы снимали трубы водяного отопления. По стене подвала проходила проводка электрического освещения, о которой никто не думал и которую никто не замечал. В то время, когда 4 водопроводчика перетаскивали трубу, длиной в 8 метров, к выходу из подвала, высоко поднявшийся конец трубы попал на провод электрического освещения, повре-

для его изоляцию, и оказался благодаря этому под током. В результате 3 рабочих (из 4-х) были поражены электрическим ударом и скоро погибли. В данном случае, далеко не единичном, несчастие произошло при работах, ничего общего с электрической установкой не имеющих.

Другой случай совершенно неожиданного прикосновения имел место в Ленинграде. Машинист одной из Ленинградских деревообрабатывающих фабрик пускал в ход двигатель внутреннего сгорания, вращая руками маховик. Чтобы с большей силой провернуть маховик, машинист попытался ногой упереться в стену машинного помещения; при этом он упал без сознания и умер. При расследовании оказалось, что на стене проходили провода в трубке Пешеля, один из которых имел очень плохую изоляцию и давал замыкание на трубку, вследствие чего электрический ток прошел через ногу, тело и руки пострадавшего, когда последний схватился рукой за заземленный маховик. Сопротивление цепи тока было значительно уменьшено тем, что в сапоге машиниста имелись сквозные железные гвозди. Описанный случай интересен тем, что прикосновение к токоведущей части произошло ногой, рука же была заземлена; обычно же имеют место обратные условия.

Переходя к определению силы тока, проходящего через человека при однополюсном прикосновении, нужно отдельно разобрать случай сетей всецело изолированных от земли и случай сетей с заземленными нейтралями или проводами.

I. Сети, изолированные от земли. В сетях изолированных при однополюсном прикосновении ток может пройти через тело человека в том случае, если изоляция проводов сети несовершенна, т. е. в случае наличия в сети токов утечки.

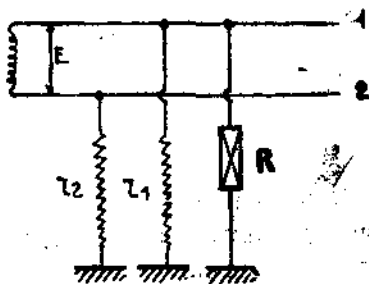
На фиг. 7 изображена двухпроводная сеть, которая может быть как постоянного тока, так и переменного (однофазного). Сопротивления изоляции по отношению к земле проводов 1 и 2 изображены на чертеже в виде двух сосредоточенных сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$ , сопротивление человека, прикоснувшегося к токоведущей части, присоединенной к проводу 1, обозначено через  $R$ . Большей частью ток при таком прикосновении идет от одного провода, через руку и тело человека, далее ноги,

обувь, пол и части здания—в землю, оттуда через несовершенную изоляцию другого провода во второй провод. Если, как это обозначено на фиг. 7, под  $R$  подразумевать сопротивление части цепи, в которую входит тело человека, от одного провода до земли, то можно написать;

$$R = R_h + R' \quad \dots \dots \dots (2).$$

где  $R_h$ , как и раньше, сопротивление самого тела, а  $R'$ —сопротивление остальных звеньев данного участка цепи, т. е. обуви и пола по отношению к земле.

Величина  $R'$  меняется в чрезвычайно широких пределах, в зависимости от качества и степени сухости обуви, от материала и устройства пола и других частей здания и т. д. Какие либо надежные измерения этой величины нам неизвестны. Однако, можно принять, что при неблагоприятных условиях, в сырых помещениях, величина  $R$  может опуститься до нескольких сот ом и даже еще ниже.



Фиг. 7. Схема однополюсного прикосновения в случае двухпроводной сети, изолированной от земли.

Нередки, однако, случаи, когда одновременно с прикосновением к токоведущей части происходит прикосновение другой рукой к заземленному предмету (траверза, железная балка, станина электродвигателя, трубопровод). В таком случае величину  $R'$  можно принять равной нулю и  $R = R_h$ , как и при двухполюсном прикосновении. Иногда случается, что человек прикасается к заземленному предмету коленом или другой частью тела, в таком случае под  $R'$  следует подразумевать сопротивление одежды.

Возвращаясь к фигуре 7 определяем полное сопротивление  $r_1$  провода 1 по отношению к земле, т. е. сопротивление двух параллельных цепей  $r$  и  $R$ ; оно, как известно, равно:

$$r_1 = \frac{r_1 R}{r_1 + R}$$



а полное сопротивление  $r'$  всей цепи тока утечки равно:

$$r' = r'_1 + r_2 = \frac{r_1 R}{r_1 + R} + r_2$$

Обозначая напряжение сети по прежнему через  $E$ , а „напряжение прикосновения“ т. е. напряжение между землей и той частью, к которой человек прикоснулся, через  $E'$ , мы найдем из условия пропорциональности напряжений соответствующим сопротивлениям:

$$E' = E \frac{r'_1}{r'} = E \frac{\frac{r_1 R}{r_1 + R}}{\frac{r_1 R}{r_1 + R} + r_2} = \frac{E r_1 R}{R(r_1 + r_2) + r_1 r_2}$$

Сила тока  $I$ , проходящая через тело человека, равна:

$$I = \frac{E'}{R} = \frac{E r_1}{R(r_1 + r_2) + r_1 r_2} \dots \dots \dots (3)$$

В нормальных условиях эксплуатации, если в сети нет каких-либо дефектов, можно принять сопротивления изоляции обоих проводов равными друг другу, т. е.:

$$r_1 = r_2 = r.$$

В таком случае формула (3) для  $I$  примет следующий вид:

$$I = \frac{Er}{2rR + r^2} = \frac{E}{2R + r} = \frac{E}{2(R + R) + r} \dots \dots \dots (4)$$

Что касается сопротивления изоляции  $r$ , то для него действующими правилами безопасности и устройства для электротехнических сооружений сильных токов низкого и высокого напряжения устанавливается определенный минимум. Именно, согласно § 19 этих правил, сопротивление изоляции любого участка сети между двумя предохранителями должно быть не менее  $1000 E$ , где  $E$  — рабочее напряжение сети.

Принимаем:

$$r = 1000 E \dots \dots \dots (5)$$

а для сети, состоящей из  $n$  участков сопротивление будет в  $n$  раз меньше, т. е.:

$$r = \frac{1000 E}{n} \dots \dots \dots (6)$$

Для каждой данной сети число участков  $n$  должно быть известно; вообще говоря, оно равно числу приемников, понимая под отдельным приемником группу ламп, электродвигатель, более или менее крупный тепловой прибор и т. д. В случае осветительных сетей приемники (группы ламп) являются более или менее однородными, и число их можно принять пропорциональным мощности сети. Полагая на каждый киловатт мощности сети  $n'$  групп ламп и обозначая мощность сети через  $P$ , мы получим:

$$n = n'P \text{ и } r = \frac{1000 E}{n'P} \dots \dots \dots (7)$$

Так, например, при  $P = 10 \text{ kW}$ ,  $n' = 6$  и  $E = 110 \text{ V}$ , мы получим  $r = \frac{1000 \cdot 100}{10 \cdot 6} = 1800 \Omega$

Принимая  $R_k = 1000 \Omega$ ,  $R' = 200 \Omega$ ,  $r = 1800 \Omega$ , и  $E = 110 \text{ V}$ , по формуле (4) получаем:

$$I = \frac{110}{2 \cdot 1200 + 1800} = 0,026 \text{ A}$$

Для  $E = 220 \text{ V}$  сопротивление изоляции  $r$  при прежних условиях равно около  $3600 \Omega$  и

$$I = \frac{220}{2 \cdot 1200 + 3600} = 0,037 \text{ A}$$

Из изложенного следует, что чем больше и разветвленнее сеть, тем меньше величина  $r$  и тем больше, при прочих равных условиях, сила тока  $I$  через тело человека. Мелкие сети, с этой точки зрения, являются менее опасными, чем крупные.

Что касается действительной величины  $r$ , то она может значительно отклоняться от той, которая вычисляется по формуле (5), на основании существующих правил. С одной стороны и в самих правилах предусмотрен целый ряд исключений; так, указанный минимум сопротивления не относится к изоляции машин, трансформаторов и аккумуляторов, воздушных проводов, наружных устройств, установок, расположенных в сырых помещениях. С другой стороны необходимо считаться с возможностью, в обычных условиях эксплуатации электрических установок, значительного понижения сопротивления изоляции по сравнению с предписанными нормами. Дать какие либо общие указания о

действительных величинах сопротивления изоляции, при таких условиях, весьма затруднительно. Лучше всего пользоваться результатами непосредственных измерений сопротивления изоляции данной установки или сети, каковые измерения должны периодически производиться на основании действующих „Правил эксплуатации электротехнических устройств сильных токов“.

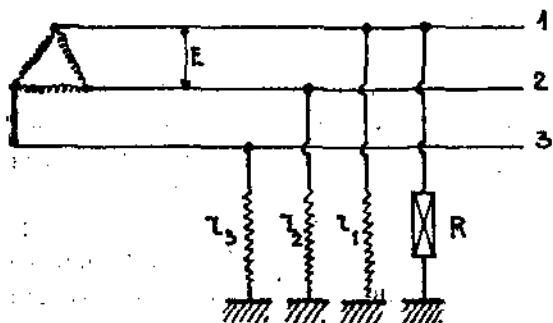
Каковы бы ни были величины  $r$ , однополюсное прикосновение является менее опасным, чем двухполюсное, как это видно из сравнения формул (1) и (4). Условия однополюсного прикосновения становятся более неблагоприятными при неравенстве сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$ , именно, когда сопротивление  $r_2$  на другом полюсе сети мало по сравнению с сопротивлением  $r_1$  того полюса, где произошло прикосновение; в этом можно убедиться, рассматривая формулу (3). В предельном случае, когда  $r_2 = 0$ , формула (3) дает:

$$I = \frac{E}{R} \dots \dots \dots (8),$$

т. е. мы получаем формулу, аналогичную формуле (1). Этот случай соответствует полному или „глухому“ заземлению одного

полюса, что является для изолированной сети совершенно ненормальным и недопустимым.

Переходим к трехфазным, изолированным от земли, сетям переменного тока, т. е. к сетям, соединенным треугольником, или же звездой, но с изолированной нейтралью.



Фиг. 8. Схема однополюсного прикосновения в случае трехфазной сети, изолированной от земли.

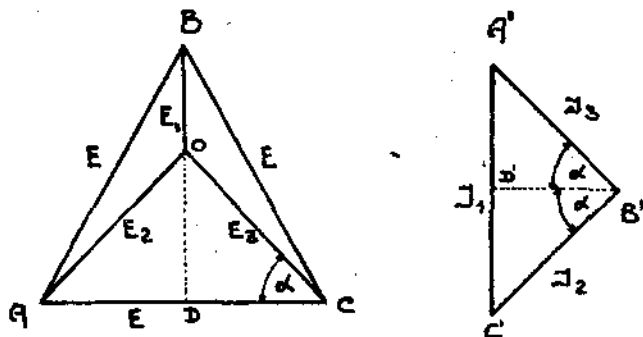
На фиг. 8, изображающей схему подобной сети, сопротивления  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  представляют сопротивления изоляции трех фазных проводов (по отношению к земле), а  $R$  сопротивление цепи, в которую включено тело человека, от фазного провода 1, к которому прикоснулся человек, до земли. Буквой  $E$  по прежнему обозначено

рабочее (междуфазное) напряжение сети. Задача состоит в определении, по данным  $E$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  и  $R$ , силы тока, проходящего через тело человека.

Сначала решим эту задачу для того частного случая, когда сопротивления изоляции во всех трех фазах равны друг другу, т. е.:

$$r_1 = r_2 = r_3 = r$$

Относящиеся к этому случаю диаграммы изображены на фиг. 9, причем слева показана диаграмма напряжений, а справа — диаграмма токов. Буквами  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$  обозначены токи утечки во всех трех фазах, причем ток утечки первой фазы, к которой



Фиг. 9. Диаграммы напряжений и токов при однополюсном прикосновении, когда сопротивления изоляции проводов равны друг другу.

прикоснулся человек принимается равным сумме токов утечки через сопротивление изоляции этой фазы и через тело человека. Буквами  $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_3$  обозначены напряжения в трех цепях токов утечки, равные потенциалам трех фазных проводов (относительно земли). Напряжения  $E_2$  и  $E_3$  равны друг другу, благодаря равенству сопротивлений соответствующих цепей  $r_2$  и  $r_3$ ; напряжение же  $E_1$  меньше, так как полное сопротивление  $r'$  для тока утечки в третьей фазе меньше  $r$  и равно:

$$r' = \frac{rR}{r+R}$$

Благодаря равенству векторов  $E_2$  и  $E_3$  треугольник AOC, равнобедренный, и вектор  $E_1$  направлен перпендикулярно к сто-

роне  $AC$ . Высота  $BD$  равностороннего треугольника  $ABC$  равна  $\frac{\sqrt{3}}{2}E$ , а отрезок  $OD$ , который мы обозначим через  $a$ , равен:

$$a = \frac{\sqrt{3}}{2}E - E_1$$

Равным образом, благодаря равенству токов  $I_2$  и  $I_3$ , в диаграмме токов  $C'D' = D'A' = \frac{I_1}{2}$ , а высота  $D'B'$  параллельна стороне  $AC$  треугольника  $ABC$ .

С другой стороны, рассматривая треугольник  $DOC$  в диаграмме напряжений и треугольник  $A'B'D'$  в диаграмме токов, найдем:

$$\frac{I_1}{2} = I_2 \sin \alpha \quad \text{и} \quad a = E_1 \sin \alpha$$

откуда:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{2a}{E_2} = \frac{2 \left[ \frac{\sqrt{3}}{2}E - E_1 \right]}{E_2}$$

Далее, так как  $E_1 = I_1 r'$ ,  $E_2 = I_2 r$  и  $E_3 = I_3 r$ , то

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{r'}{r} = \frac{2 \left[ \frac{\sqrt{3}}{2}E - E_1 \right]}{E_2}$$

откуда:

$$E_1 = \frac{\sqrt{3} E r'}{r + 2r'}$$

Последняя формула дает величину напряжения прикосновения которую мы раньше обозначили через  $E'$ , т. е.  $E_1 = E'$ . Подставляя в эту формулу значение  $r' = \frac{rR}{r+R}$ ; получаем;

$$E' = \frac{\sqrt{3} E R}{3R + r}$$

Ток  $I$  через тело человека равен:

$$I = \frac{E'}{R} = \frac{\sqrt{3} E}{3R + r} \dots \dots \dots (9)$$

т. е. мы получаем формулу того же вида, что и формула (4) для двухпроводной сети. Все, что было сказано выше о значении  $r$  и о сравнении с формулой (1), относится и к данному случаю.

Для трехфазных сетей с трехфазными приемниками, число которых равно  $n$ , имеем по прежнему (формула 6):

$$r = \frac{1000 E}{n}$$

Для сетей с однофазными приемниками, напр., осветительных, при общем числе групп приемников  $n$ , на провод каждой фазы приходится  $\frac{2n}{3}$  присоединенных приемников, а потому сопротивление изоляции каждой фазы, согласно существующим правилам, равно:

$$\frac{1000 E}{\frac{2n}{3}} = \frac{1500 E}{n}$$

Вводя же число  $n'$  групп на каждый кило-вольт-ампер сети, получим:

$$r = \frac{1500 E}{n' P} \dots \dots \dots (10)$$

Например, при  $P = 10$  kVA,  $n' = 6$  и  $E = 120$  V, мы получим

$$r = \frac{1500 \cdot 120}{10 \cdot 6} = 3000 \text{ } \Omega$$

Принимая попрежнему  $R = 1200 \text{ } \Omega$ , мы получим для  $E = 120$  V, по формуле (8):

$$I = \frac{\sqrt{3} \cdot 120}{3 \cdot 1200 + 3000} = 0,0315 \text{ A}$$

При  $E = 220$  V сопротивление  $r$  равно для той же сети:

$$r = \frac{1500 \cdot 220}{10 \cdot 6} = 5500 \text{ } \Omega, \text{ и}$$

$$I = \frac{\sqrt{3} \cdot 220}{3 \cdot 1200 + 5500} = 0,042 \text{ A}$$

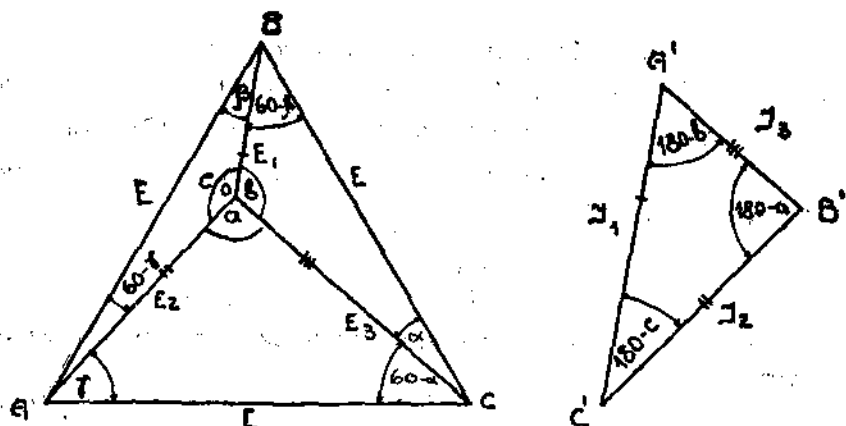
Для тех случаев, когда сопротивление изоляции отдельных фаз нельзя принять равными друг другу, необходимо решить поставленную выше задачу в общем виде. Диаграммы напряжений и токов для этого случая представлены на фиг. 10.

Прежде всего из треугольников токов мы находим:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin b} \text{ и } \frac{I_2}{I_3} = \frac{\sin b}{\sin c}$$

Так как  $E_1 = I_1 r'$ ,  $E_2 = I_2 r_2$  и  $E_3 = I_3 r_3$ , то

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r'}{r_2} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad \text{и} \quad \frac{E_2}{E_3} = \frac{r_2}{r_3} \cdot \frac{\sin b}{\sin c} \dots \dots (11)$$



Фиг. 10. Диаграммы напряжений и токов при однополюсном прикосновении, когда сопротивления изоляции проводов не равны друг другу.

Далее из треугольника  $AOB$ ,  $AOC$  и  $BOC$  диаграммы напряжений имеем:

$$\frac{E}{E_1} = \frac{\sin b}{\sin \alpha} \quad \text{и} \quad \frac{E}{E_2} = \frac{\sin a}{\sin (60^\circ - \alpha)}, \quad \text{откуда}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\sin a}{\sin b} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin (60^\circ - \alpha)} \dots \dots (12)$$

Подобным же образом

$$\frac{E_2}{E_3} = \frac{\sin b}{\sin c} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin (60^\circ - \beta)}$$

Сравнивая между собой уравнения (11) и (12), мы найдем:

$$\frac{r'}{r_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin (60^\circ - \alpha)} \quad \text{и} \quad \frac{r_2}{r_3} = \frac{\sin \beta}{\sin (60^\circ - \beta)} \dots \dots (13)$$

Решая эти уравнения относительно  $\sin \alpha$  и  $\sin \beta$ , найдем после простых преобразований следующие решения:

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{3} r'}{2 \sqrt{r'^2 + r_2^2}} \dots \dots (14)$$

$$\sin \beta = \frac{\sqrt{3} r_2}{2 \sqrt{r_2^2 + r_2 r_3 + r_3^2}} \dots \dots \dots (14)$$

На основании формул (14) найдем также следующие выражения:

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{r' + 2r_2}{2 \sqrt{r'^2 + r' r_2 + r_2^2}} \\ \cos (60^\circ - \alpha) &= \frac{2r' + r_2}{2 \sqrt{r'^2 + r' r_2 + r_2^2}} \\ \text{и} \quad \cos \beta &= \frac{r_2 + 2r_3}{2 \sqrt{r_2^2 + r_2 r_3 + r_3^2}} \\ \cos (60^\circ - \beta) &= \frac{2r_2 + r_3}{2 \sqrt{r_2^2 + r_2 r_3 + r_3^2}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

Подобным же образом найдем:

$$\begin{aligned} \cos \gamma &= \frac{r_3 + 2r'}{2 \sqrt{r'^2 + r' r_3 + r_3^2}} \\ \text{и} \quad \cos (60^\circ - \gamma) &= \frac{2r_3 + r'}{2 \sqrt{r'^2 + r' r_3 + r_3^2}} \end{aligned}$$

Наконец, из треугольников *AOB*, *AOC* и *BOC* диаграммы напряжений находим:

$$\left. \begin{aligned} E &= E_1 \cos \beta + E_2 \cos (60^\circ - \gamma) \\ E &= E_1 \cos (60^\circ - \beta) + E_2 \cos \alpha \\ \text{и} \quad E &= E_2 \cos \gamma + E_3 \cos (60^\circ - \alpha) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (16)$$

Подставляя в эти уравнения вместо косинусов их значения по формулам (15), получаем три уравнения с тремя неизвестными  $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_3$ . Решая эти уравнения, находим после некоторых преобразований:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E \frac{r' \sqrt{r_2^2 + r_2 r_3 + r_3^2}}{r' r_2 + r_2 r_3 + r' r_3} \\ E_2 &= E \frac{r_2 \sqrt{r'^2 + r' r_3 + r_3^2}}{r' r_2 + r_2 r_3 + r' r_3} \\ \text{и} \quad E_3 &= E \frac{r_3 \sqrt{r'^2 + r' r_2 + r_2^2}}{r' r_2 + r_2 r_3 + r' r_3} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (17)$$



Беря формулу для напряжения  $E_1$ , т. е. напряжения цепи, в которой находится тело человека, и подставляя в него значение  $r' = \frac{r_1 R}{R + R}$ , получаем:

$$E_1 = E' = E \frac{r_1 R \sqrt{r_2^2 + r_3^2 + r_4^2}}{R(r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_1 r_4) + r_1 r_2 r_3} \dots (18)$$

Сила тока через тело человека равна:

$$I = \frac{E'}{R} = \frac{E r_1 \sqrt{r_2^2 + r_3^2 + r_4^2}}{R(r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_1 r_4) + r_1 r_2 r_3} \dots (19)$$

При  $r_1 = r_2 = r_3 = r$  получим из ур. (19):

$$I = \frac{\sqrt{3} E}{3R + r},$$

т. е. найденную нами уже формулу (9).

Как и в случае двухпроводных сетей наиболее опасен случай полного заземления провода другой полярности (по отношению к точке прикосновения) т. е., в данном случае второй или третьей фазы. Полагая в формуле 19  $r_2 = 0$  или  $r_3 = 0$ , мы получаем в обоих случаях одинаковый результат, такой же, как и для двухпроводной сети при  $r_2 = 0$  (формула 8),

$$I = \frac{E}{R}$$

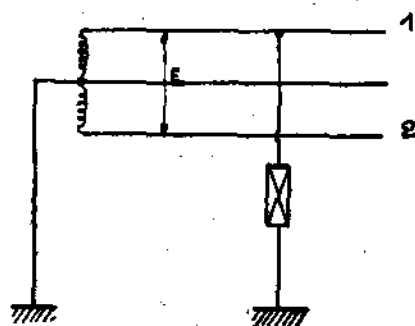
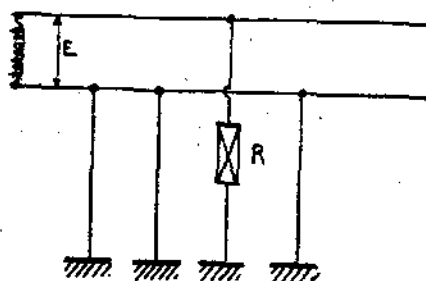
т. е. человек оказывается включенным на полное напряжение сети.

Во всех приведенных выше вычислениях мы пренебрегали емкостью проводов по отношению к земле, т. е. мы принимали во внимание лишь ваттные токи утечки, но не емкостные зарядные токи, которые в установках переменного тока могут представить опасность для человека даже в случае совершенной изоляции проводов. Влияние емкости заметно главным образом в высоковольтных линиях передачи, и особенно в кабельных подземных сетях. Условия безопасности таких установок рассмотрены в 7-м выпуске настоящей серии, именно в книге проф. А. А. Смурова „Токи высокого напряжения“, в которой приведены формулы для силы тока через человека при учете влияния емкости сети. В виду того, что настоящее исследование касается

главным образом низковольтных распределительных сетей и приемников электрической энергии, мы на влиянии емкости останавливаться не будем.

2. Сети с заземленными проводами или нейтралями. В случае если один полюс сети заземлен, человек, при прикосновении к другому, незаземленному проводу, включается на полное напряжение сети. В этом случае (фиг. 11):

$$I = \frac{E}{R} \dots \dots \dots (20)$$



Фиг. 11. Схема прикосновения в случае двухпроводной сети с одним заземленным полюсом.

Фиг. 12. Схема прикосновения в случае трехпроводной сети с заземленной нейтралью.

Сети с заземленными полюсами применяются в электрических установках довольно редко, если не считать специальных устройств, напр., трамвайных, а потому мы на них дольше останавливаться не будем.

Гораздо больший интерес представляют сети с заземленными нейтралями. Эти сети имеют громадное распространение, как при постоянном токе (трехпроводная система), так в особенности при переменном токе (трехфазная система, при соединении звездой с заземленной нулевой точкой или нулевым проводом).

В случае трехпроводной системы постоянного тока с заземленной нейтралью (фиг. 12) напряжение прикосновения  $E$  равно  $\frac{E}{2}$ , а сила тока  $I$  равна (если пренебречь сопротивлением за-

земления нулевой точки, весьма малым по сравнению с сопротивлением тела человека):

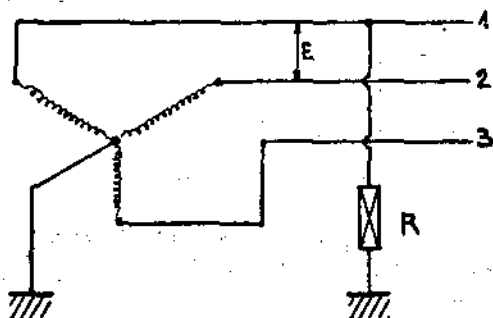
$$I = \frac{E'}{R} = \frac{E}{2R} \dots \dots \dots (21)$$

Так, напр., в системе  $2 \times 110$  V, если  $R = R_h + R' = 1200 \Omega$ , то

$$I = \frac{220}{2 \cdot 1200} = 0,092 \text{ A}$$

В трехфазной сети с заземленной нейтралью (фиг. 13) напряжение прикосновения  $E' = \frac{E}{\sqrt{3}}$ , а сила тока равна:

$$I = \frac{E'}{R} = \frac{E}{\sqrt{3} R} \dots \dots \dots (22)$$



Фиг. 13. Схема прикосновения в случае трехфазной сети с заземленной нейтралью.

Напр. для сети 220/127 вольт, при  $R = 1200 \Omega$ , имеем:

$$I = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 1200} = \frac{127}{1200} = 0,106 \text{ A}$$

Весьма интересно сравнить между собой системы изолированные от земли и системы с заземленными нейтралью, с точки зрения их безопасности.

Для удобства сравнения составим нижеследующую сводную таблицу формул для силы тока, проходящего через человека при однополюсном прикосновении для разных электрических систем. Число в скобках около формулы указывает на ее номер в предыдущем тексте.

ТАБЛИЦА XVII.

| Наименование системы.                                                                                                         | Постоянный ток и переменный однофазный ток.    | Переменный трехфазный ток.                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Система с заземленной нейтралью                                                                                               | $I = \frac{E}{2R} \quad (21)$                  | $I = \frac{E}{\sqrt{3}R} \quad (22)$                                                   |
| Система, изолированная от земли при равенстве сопротивлений изоляции разных полюсов или фаз<br>( $r_1 = r_2 = r_3 = r$ )      | $I = \frac{E}{2R+r} \quad (4)$                 | $I = \frac{\sqrt{3}E}{3R+r} = \frac{E}{\sqrt{3}R + \frac{r}{\sqrt{3}}} \quad (9)$      |
| То же, при неравенстве сопротивлений изоляции (общий случай, прикосновение к первому проводу или фазе)                        | $I = \frac{Er_1}{R(r_1+r_2)+r_1r_2} \quad (3)$ | $I = \frac{Er_1\sqrt{r^2+r_2r_3+r_3^2}}{R(r_1r_2+r_2r_3+r_1r_3)+r_1r_2r_3} \quad (19)$ |
| То же, при глухом заземлении одного полюса или фазы (не того, к которому прикоснулся человек, т. е. $r_2 = 0$ или $r_3 = 0$ ) | $I = \frac{E}{R} \quad (8)$                    | $I = \frac{E}{R} \quad (8)$                                                            |

Сравнивая между собой попарно формулы 4 и 21 (для постоянного и однофазного тока) и 9 и 22 (для трехфазного тока) легко увидеть, что эти формулы дают большую силу тока, идущего через тело человека, для систем с заземленными нейтральями. Таким образом необходимо прийти к заключению, что в случае равенства сопротивлений изоляции на различных полюсах или фазах системы с заземленными нейтральями являются более опасными, нежели системы изолированные, при том же рабочем напряжении, независимо от величины сопротивления изоляции сети.

Положение может быть, однако, иным, если сопротивления изоляции на разных подюсах или фазах не равны друг другу. При достаточно малой величине сопротивления  $r_1$  в формулах (3) и (19) по сравнению с величинами  $r_2$  и  $r_3$ , сила тока  $I$ , вычисленная по этим формулам, может оказаться больше той, которая соответствует формулам (21) и (22) для систем с заземленной нейтралью. Сравнительный анализ этих величин для трехфазных сетей сделан инженером Л. П. Подольским в его интересной статье в журнале „Электричество“<sup>1)</sup>. Автором взята в качестве примера определенная трехфазная сеть напряжением 220 В, с довольно низкими величинами сопротивлений изоляции трех фаз, именно на первой фазе в 1,5 раза, на второй — в 2 раза и на третьей — в 3 раза ниже норм, предписанных действующими правилами. Величины тока  $I$  через тело человек вычислены для разных величин сопротивления тела  $R$  (от 500  $\Omega$  до 20000  $\Omega$ ), с одной стороны для системы с заземленной нейтралью, а с другой для изолированной системы, для 3 случаев прикосновения — к первой, второй и третьей фазам. В первом случае заземленная система дает большую величину силы тока для любых величин  $R$ , во втором случае такой же результат получается для величин  $R$  ниже 14850  $\Omega$ , и в третьем — для величин  $R$  ниже 5230  $\Omega$ . Во втором и третьем случаях, для величин  $R$ , больших нежели указанные, сила тока в изолированной системе превосходит такую же в системе с заземленной нейтралью. Таким образом система с заземленной нейтралью оказывается менее опасной, чем изолированная система лишь при больших значениях  $R$ , т. е. когда вообще прикосновение к одной из фаз данной сети не представляет серьезной опасности. Наибольшая сила тока через тело человека, при которой система изолированная становится более опасной, не превышает 0,025 А. Все эти вычисления нетрудно проверить при помощи приведенных в таблице XVII формул.

К подобным же результатам приходит и инженер Burin des Rozières, вводящий в свое исследование математическое выражение вероятности поражения электрическим током в системах с за-

<sup>1)</sup> Л. П. Подольский. Анализ условий безопасности в трехфазных сетях низкого напряжения с заземленными и изолированными нейтральными точками. „Электричество“, 1927, № 4.

земленной и изолированной нейтралью<sup>1)</sup>. Свои выводы инженер Burin des Roziers подверг экспериментальной проверке на одном из французских судостроительных заводов, измеряя сопротивление изоляции проводов электрической сети (с изолированной нейтралью) и силу тока, проходящего через вольтметр соответствующего сопротивления, который включался между различными точками сети и землей. При сопротивлении вольтметра в 1500  $\Omega$  (что соответствует сопротивлению человеческого тела при неблагоприятных условиях) заземление нейтрали во всех случаях повысило бы силу тока, т. е. ухудшило бы условия безопасности; при сопротивлении вольтметра в 3000  $\Omega$  и в 6000  $\Omega$  заземление нейтрали могло бы уменьшить силу тока, т. е. улучшить условия безопасности, только в 4,1 случаях из 100. Эти результаты особенно показательны потому, что они получились для сети со сравнительно невысокой изоляцией проводов, как указывается автором исследования.

В случае глухого заземления одного из полюсов или фаз, системы с заземленной нейтралью дают значительно большие величины силы тока через тело человека, чем системы, изолированные от земли, как показывает сравнение формул 21 и 8, а также 22 и 8.

Это последнее обстоятельство является основанием для общепризнанного мнения о большей безопасности систем с заземленной нейтралью по сравнению с системами, изолированными от земли, при одинаковом рабочем напряжении. В связи с этим системы с заземленной нейтралью классифицируются, в отличие от изолированных систем, не по рабочему напряжению, а по напряжению относительно земли, что создает громадное преимущество для систем с заземленной нейтралью. Между тем, если взять за основу „статистический“ метод сравнения, т. е. по степени вероятности протекания через тело человека тока той или иной силы, то придется признать, что в системе изолированной от земли, при одинаковом рабочем напряжении, человек подвергается меньшей опасности, ибо глухое заземление одного полюса или

<sup>1)</sup> См. G. Burin des Roziers. Comparaison des risques d'électrocution sur les réseaux à courant alternatif en basse tension 115/200 volts, dans le cas du neutre à la terre et dans le cas du neutre isolé. Revue Générale de l'Electricité, 22 Février 1960.

фазы такой системы происходит редко и во всяком случае должно рассматриваться как явление ненормальное и исключительное. С этой точки зрения изолированная система 220 V является более безопасной, нежели система 220/127 V.

Если же сопоставить две системы, изолированную и с заземленной нейтралью, причем рабочее напряжение первой системы равно напряжению относительно земли (фазному напряжению) второй системы, как, напр., изолированную систему 220 V и систему 380/220 V, то такие две системы, по правильному выражению инж. Подольского, даже несравнимы между собой с точки зрения безопасности. И все же, по смыслу действующей у нас классификации напряжений, они как бы приравняются друг к другу, ибо максимальное возможное напряжение относительно земли в обоих случаях одинаково (220 V).

Высказанные выше соображения находят себе подтверждение в статистических данных. Так напр. приведенная в главе II английской статистика (стр. 74) указывает на весьма большое число смертных несчастных случаев на трехфазных системах с заземленной нейтралью, хотя эти системы распределения в Англии не являются преобладающими. В статье инж. Подольского также имеется статистический материал, касающийся электростанций СССР, который, несмотря на то, что он охватывает очень незначительное число несчастных случаев, все же является довольно убедительным.

### **с. Прикосновение к частям, случайно оказавшимся под напряжением.**

Одной из серьезных причин электрических ударов является прикосновение к металлическим частям, нормально не находящимся под напряжением, но случайно оказавшимся под таковым благодаря дефекту изоляции какой либо части электрической установки. Сюда относятся корпуса и станины электрических и других машин, трансформаторов, кожухи электрических приборов, броня кабелей, каркасы распределительных щитов, металлические конструктивные части, как-то балки, колонны и траверзы, находящиеся в непосредственной

близости от токоведущих частей. Вероятность поражения при подобном прикосновении, конечно, должна быть чрезвычайно мала по сравнению с вероятностью поражения при прикосновении к токоведущим частям, находящимся нормально под напряжением. Однако же самые прикосновения к металлическим частям, в виду их полной безопасности при нормальной работе установки, происходят гораздо чаще, нежели прикосновения к токоведущим частям, а потому и приходится считаться с указанной опасностью. Наибольшее значение при этом имеют те случаи, когда прикосновение является постоянным и длительным и составляет нормальное условие работы большого числа людей, притом даже не имеющих отношения к самой электрической установке.

Раньше, в эпоху преобладания в промышленных предприятиях группового привода, электрическое оборудование было обыкновенно в значительной степени изолировано от остального оборудования мастерских, и к нему имел доступ лишь специальный, электротехнический персонал. Теперь же, когда система одиночного привода получает столь большое распространение, наблюдается тесное соприкосновение электрического и механического оборудования. Весьма часто электродвигатель и аппаратура для его управления устанавливается на общей металлической плите с металлообрабатывающим станком или какой-нибудь другой производственной машиной. Наконец, в новейших электро-станках электродвигатели и аппаратура составляют уже органическую составную часть всего механизма, будучи постоянно с ним соединены или находясь внутри него. При таком устройстве, одновременно с корпусом электродвигателя или прибора под напряжением оказывается весь станок, а следовательно и обслуживающие его рабочие, находящиеся по условиям своей работы в постоянном соприкосновении с металлическими частями станка. Подобная обстановка является нормальной для современного вполне электрофицированного предприятия, и с ней необходимо серьезно считаться. При таких условиях каждый дефект изоляции, каждая авария в электрическом оборудовании, как бы они ни были сами по себе редки и как бы скоро они ни были устранены, вызывает опасность поражения электрическим током кого либо из рабочих данной мастерской. Вместо сравнительно узкого



круга электромонтеров, теперь мы имеем дело с широкими массами рабочих, подверженных опасности от электричества.

Особенно неблагоприятная обстановка в указанном отношении создавалась на наших торфоразработках, давших целый ряд несчастных случаев от электрического тока. В качестве примера приведем исключительно тяжелый случай, происшедший в 1923 году на торфоразработках Каменской писчебумажной фабрики<sup>1)</sup>. Несчастный случай произошел во время перерыва работы, вследствие дождя, когда рабочие сгруппировались вокруг шатра, при чем некоторые из них, стоя на земле, соприкасались с торфяной машиной и связанными с ней механическими частями элеватора и тележки. Внезапно указанные металлические части оказались под напряжением, вследствие чего 4 человека были убиты и 3 получили серьезные ожоги. Повреждение изоляции произошло в кабеле, подводящем ток к установке; через броню кабеля и корпус электродвигателя напряжение перешло на все металлические части торфяной установки. Рабочее напряжение установки — 2150 V.

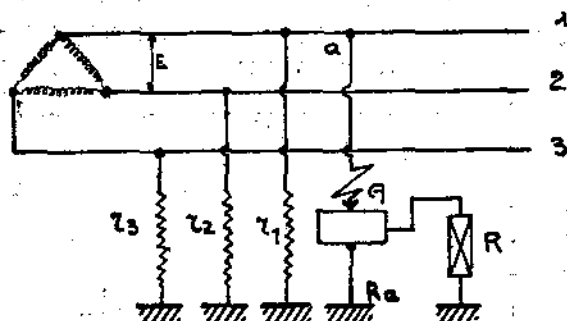
Другая категория несчастных случаев вследствие прикосновения к частям, случайно оказавшимся под напряжением, связана с применением переносных ламп и других переносных электрических приборов. Благодаря постоянным толчкам и сотрясениям, которым подвергаются такие приборы, в них легко возможны случайные соприкосновения конструктивных и токоведущих частей, нормально отделенных друг от друга достаточным промежутком. Кроме того, провода, подводящие ток к этим приборам, подвергаются по условиям работы постоянным механическим напряжениям и перегибам, что приводит к перетиранию и повреждению изоляции и, в результате, появлению напряжения на корпусах этих приборов. Одновременно повышается опасность и непосредственного прикосновения к обнаженным частям проводов, как об этом было упомянуто выше.

В качестве примера укажем на случай, происшедший на одной Ленинградской бумажной фабрике. Группа слесарей

<sup>1)</sup> Подробное описание этого случая дано инженером Л. П. Подольским в его статье: Вопросы безопасности на электрифицированных торфоразработках. „Электричество, 1923, № 10.



1. Сети, изолированные от земли. Схема сети изображена на фиг. 14 для двухпроводной сети и на фиг. 15 для трехфазной сети переменного тока; точкой *a* обозначено место повреждения изоляции и перехода напряжения на металлическую часть или корпус *A*, к которому прикоснулся человек. Нетрудно видеть, что с точки зрения прохождения тока через тело человека этот случай аналогичен рассмотренному выше случаю однополюсного прикосновения к токоведущим частям (см. фиг. 7 и 8).



Фиг. 15. Схема прикосновения к корпусу в случае трехфазной сети, изолированной от земли.

Разница заключается лишь в том, что параллельно сопротивлению изоляции того полюса, или фазы, к которой прикоснулся человек, включено сопротивление между данной металлической частью и землей, которое мы обозначим буквой  $R_a$ . В боль-

шинстве случаев мы имеем дело с той или иной степенью заземления металлического корпуса, станины, балки и пр. а потому сопротивление изоляции первого провода или фазы  $r_1$  теряет свое значение, и мы можем им пренебречь. Имея это в виду, мы можем прямо заменить в формулах (3) и (19) величину  $r_1$  величиной  $R_a$  и написать эти формулы в следующем виде:

Для двухпроводной сети (постоянный и однофазный ток):

$$I = \frac{ER_a}{R(R_a + r_2) + R_a r_2} \dots \dots \dots (23)$$

Для трехфазной сети:

$$I = \frac{ER_a \sqrt{r_2^2 + r_2 r_3 + r_3^2}}{R(R_a r_2 + r_2 r_3 + R_a r_3) + R_a r_2 r_3} \dots \dots \dots (24)$$

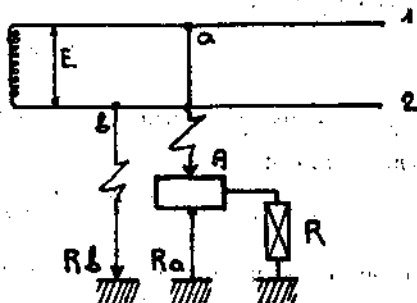
Так как величина сопротивления заземления  $R_a$  обыкновенно очень невелика по сравнению с величинами сопротивления изо-

ляции неповрежденных проводов или фаз  $r_1$  и  $r_2$ , формулы (23) и (24) дают незначительные величины силы тока  $I$ , проходящего через человека. Напр. при  $E = 220 \text{ В}$ ,  $R_a = 50 \text{ }\Omega$ ,  $R = 1200 \text{ }\Omega$  и  $r_2 = 3600 \text{ }\Omega$ , формула (23) дает:

$$I = \frac{220 \cdot 50}{1200 \cdot (50 + 3600) + 50 \cdot 3600} = 0,0024 \text{ А.}$$

Рассмотренный случай можно, поэтому, признать вообще говоря не представляющим опасности для человека.

Условия, однако, совершенно меняются, если кроме одного повреждения изоляции, или короткого замыкания на землю в том месте, где находится человек, происходит второе замыкание на землю на противоположном полюсе или на другой фазе сети. В этот момент в сети пойдет ток короткого замыкания, и часть его, прошедшая через человека, может представить для него серьезную опасность.



Фиг. 16. Схема прикосновения к корпусу в случае двойного замыкания на землю в сети.

Указанный случай показан на фиг. 16 для двухпроводной сети. Кроме короткого замыкания на землю в точке  $a$ , на схеме показано второе короткое замыкание в точке  $b$ , причем сопротивление заземления в этой последней точке мы обозначим буквой  $R_b$ . Обозначим кроме того ток короткого замыкания в сети через  $I_k$ , а напряжение в момент короткого замыкания через  $E_k$ ; в случае трехфазной сети под  $E_k$  следовало бы считать напряжение „больной“ или коротко-замкнувшейся фазы. Напряжение  $E_k$  вообще говоря должно отличаться от нормального напряжения сети  $E$ , ибо рассматриваемый режим является аварийным, вызывающим падение напряжения по сравнению с нормальными условиями. Определение величины  $E_k$  не входит в наши задачи; в дальнейшем, в числовых примерах, вместо величины  $E_k$  подставляем величину  $E$ , что хотя и несколько повышает искомую

силу тока, но, вообще говоря, мало влияет на результаты вычислений.

При исчислении тока короткого замыкания мы можем пренебречь последовательно включенным сопротивлением линии передачи, как величиной обыкновенно малой по сравнению с сопротивлением заземлений, а также параллельно включенным сопротивлением тела человека, как величиной очень большой по сравнению с сопротивлением заземлений. При таком упрощении мы получим для тока короткого замыкания следующую формулу:

$$I_k = \frac{E_k}{R_a + R_b}.$$

Далее напряжение прикосновения  $E'$  (на сопротивлении  $R_a$ ) будет равно:

$$E = I_k \cdot R_a = \frac{E_k R_a}{R_a + R_b},$$

а сила тока через тело человека:

$$I = \frac{E'}{R} = \frac{E_k R_a}{R(R_a + R_b)}. \quad (25)$$

а принимая  $E_k = E$ , имеем:

$$I = \frac{ER_a}{R(R_a + R_b)}. \quad (26)$$

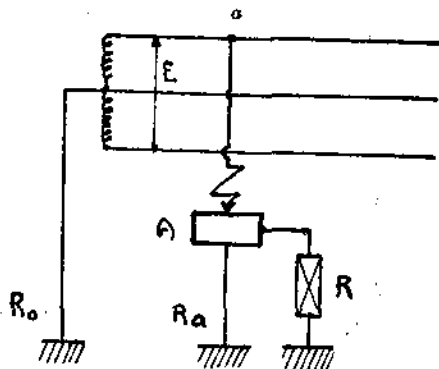
Как видим, сила тока  $I$  зависит в значительной степени от соотношения сопротивлений  $R_a$  и  $R_b$  обоих заземлений. Если величину  $R_a$  можно держать в известных границах путем устройства искусственного заземления корпуса машины или прибора, либо какой-нибудь другой металлической части, прикосновения к которой можно ожидать, то о величине  $R_b$  нельзя сказать ничего определенного, ибо второе короткое замыкание на землю может произойти в любом месте сети. Нужно все-таки ожидать, что  $R_b$  будет не меньше, чем  $R_a$ , а следовательно сила тока  $I$  не больше, чем:

$$I = \frac{E_k}{2R} \quad \text{или} \quad I = \frac{E}{2R}. \quad (27)$$

Так, например, принимая при 220-вольтовой сети  $E_k = E = 220 \text{ В}$  и  $R = 1200 \text{ }\Omega$ , мы получим максимально возможную силу тока:

$$I = \frac{220}{2 \cdot 1200} = 0,092 \text{ А.}$$

Случаи двойного короткого замыкания на землю нужно признать в практике эксплуатации электрических установок довольно редкими, но все же с опасностью несчастных случаев при подобных обстоятельствах приходится считаться, если рабочие, особенно в большем числе, находятся в постоянном и длительном соприкосновении с металлическими частями, могущими случайно оказаться под напряжением. Что касается защитных аппаратов, действующих при коротком замыкании в сети, то как бы быстро ни действовали предохранители, автоматы и др. приборы, все же поражение электрическим током может произойти до отключения соответствующей части установки.



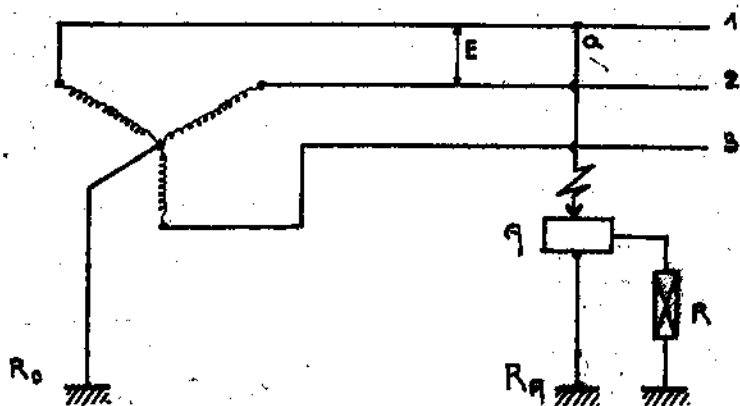
Фиг. 17. Схема прикосновения к корпусу в случае трехпроводной сети с заземленной нейтралью.

2. Сети с заземленными нейтральями. На фиг. 17 и 18 показаны схемы сетей с заземленными нейтральями, на фиг. 17 — трехпроводной сети постоянного тока, а на фиг. 18 — трехфазной сети переменного тока. Буквой *a* по прежнему обозначено место повреждения изоляции и короткого замыкания на корпус *A*, к которому прикоснулся человек. Как легко видеть из схемы, подобное повреждение изоляции в одном каком-нибудь месте уже вызывает ток короткого замыкания в сети, в отличие от сетей, изолированных от земли, где для этого требуется двойное короткое замыкание на землю.

Обозначая через  $R_0$  сопротивление рабочего заземления нулевой точки сети и через  $E_{0k}$  напряжение между поврежденным проводом и землей в момент короткого замыкания, и сохраняя

остальные обозначения  $I_k$  и  $R_a$ , можем написать для тока  $I_k$ , при одиночном коротком замыкании в сети, следующую формулу:

$$I_k = \frac{E_{0k}}{R_a + R_0}$$



Фиг. 18. Схема прикосновения к корпусу в случае трехфазной сети с заземленной нейтралью.

Далее, напряжение прикосновения  $E'$  равно:

$$E' = \frac{E_{0k} R_a}{R_a + R_0}$$

а ток  $I$  через тело человека:

$$I = \frac{E'}{R} = \frac{E_{0k} R_a}{R (R_a + R_0)} \dots \dots \dots (28)$$

Напряжение  $E_{0k}$  во время короткого замыкания будет вообще говоря меньше нормального напряжения  $E_0$  между каждым из рабочих проводов и землей. Однако, для приблизительного определения силы тока через человека мы можем принять их равными. Поэтому для трехпроводной сети постоянного тока мы можем принять:

$$E_{0k} = E_0 = \frac{E}{2}$$

$$I = \frac{E R_a}{2 R (R_a + R_0)} \dots \dots \dots (29)$$

а для трехфазной сети переменного тока  $E_{0k} = E_0 = \frac{E}{\sqrt{3}}$ , и

$$I = \frac{ER_0}{\sqrt{3}R(R_0 + R_0)} \dots \dots \dots (30)$$

В отличие от величины  $R_0$  в формулах (25) и (26), величина  $R_0$ , т. е. сопротивление рабочего заземления нулевой точки или нулевого провода, является для данной сети величиной определенной и во всяком случае могущей быть установленной измерением. Как показывают формулы 28—30, сила тока через тело человека тем меньше, чем больше отношение  $\frac{R_0}{R_a}$ , т. е. чем больше сопротивление рабочего заземления нулевой точки по сравнению с сопротивлением заземления того предмета, к которому прикоснулся человек. Подробнее о соотношении этих величин будет сказано в дальнейшем, в главе о защитных заземлениях (глава VII), пока же можно только сказать, что в интересах безопасности следует предпочесть глухому заземлению нулевой точки заземление через некоторое сопротивление.

Предполагая для простоты  $R_0 = R_a$  мы получим формулы 28—30 в следующем упрощенном виде:

$$I = \frac{E_{0k}}{2R}, \dots \dots \dots (31)$$

а принимая  $E_{0k} = E_0$  для трехпроводной сети постоянного тока:

$$I = \frac{E_0}{2R} = \frac{E}{4R} \dots \dots \dots (32)$$

и для трехфазной сети переменного тока:

$$I = \frac{E_0}{2R} = \frac{E}{2\sqrt{3}R} \dots \dots \dots (33)$$

Напр., для 220-вольтовой сети и принимая  $R = 1200 \Omega$ , мы получим для трехпроводной сети постоянного тока:

$$I = \frac{220}{4 \cdot 1200} = 0,045 \text{ А}$$

и для трехфазной сети переменного тока:

$$I = \frac{220}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1200} = 0,053 \text{ А}$$



Сравнивая между собой сети с изолированными и заземленными нейтралью в отношении опасности прикосновения к металлическим частям, случайно оказавшихся под напряжением, нужно прийти к заключению, что системы с заземленными нейтралью являются вообще говоря более опасными, ибо вероятность одиночного короткого замыкания на землю гораздо больше вероятности двойного короткого замыкания. Таким образом опять подтверждается то значительное преимущество с точки зрения безопасности, которое имеет система изолированная от земли перед системой с заземленной нейтралью, при том же рабочем напряжении и при прочих равных условиях.

#### **д. Короткое замыкание цепей и их размыкание.**

Все рассмотренные выше случаи прикосновения к тем или иным частям электрических установок представляют опасность главным образом с точки зрения электрических ударов. Существуют однако и другие опасные моменты в эксплуатации электрических установок, характеризующиеся преимущественно возможностью возникновения ожогов. Сюда относятся случаи коротких замыканий, а также размыканий цепей, сопровождающиеся образованием искр и вольтовых дуг.

Случайные короткие замыкания в практике эксплуатации электрических установок представляют довольно частые явления. Условия, при которых происходят такие замыкания, весьма разнообразны, и в дальнейшем мы остановимся только на наиболее типичных случаях.

Основной источник коротких замыканий—это работа с металлическими инструментами по обслуживанию и ремонту электрических машин, приборов, проводов и пр., вблизи зажимов и контактов, принадлежащих разным полюсам или фазам. При одновременном прикосновении инструмента к этим зажимам происходит короткое замыкание, сопровождающееся всегда более или менее сильным искрообразованием и разбрызгиванием расплавленного металла. С опасностью прохождения тока через тело человека здесь особенно считаться не приходится, ибо весь ток проходит через коротко-замыкающий металлический предмет, но зато ожоги в таких случаях весьма вероятны.

В качестве примера укажем на несчастный случай, происшедший с электромонтером, менявшим предохранители на распределительном щите машинного отделения одной фабрики. Во время работы сорвавшимися плоскогубцами электромонтер произвел короткое замыкание и получил ожог левой руки. Подобные случаи весьма часто повторяются в хронике электротравматизма.

Иногда короткое замыкание производится инструментом, не имеющим отношения к электрическому устройству. Так, например, один рабочий, фрезеровщик, держа в руке малый разводной ключ, стал включать этой рукой рубильник. Приблизив руку к рубильнику, фрезеровщик на момент остановился и окинул взглядом рабочее место на станке. Далее, не поворачивая лица к рубильнику, он подвинул вперед руку с ключом, желая взяться за рукоятку рубильника. При этом разводной ключ попал на контакты (ножи) рубильника и произвел короткое замыкание. От вольтовой дуги рабочий получил ожоги пальцев.

Помимо инструментов, короткие замыкания могут быть произведены другими металлическими частями. Так, например, один электромонтер ставил предохранительный кожух на группе предохранителей под током. При этом он замкнул кожухом все три фазы, что вызвало вольтовую дугу и причинило ожог 2-ой степени щеки, уха и кисти руки.

Неисправности электрических приборов также являются нередко причиной коротких замыканий. Так приводятся случаи повреждений рубильников, которые при включении дают короткое замыкание между полюсами или фазами. Иногда неполное короткое замыкание длится некоторое время, вызывая сильный перегрев около мест повреждения, в результате чего происходят ожоги при прикосновении к этим местам; такие случаи бывают, например, с лампами, когда их держат за патроны, с реостатами и др.

Особую группу составляют короткие замыкания вследствие неправильных включений. Здесь о случайности нельзя говорить, причина лежит в недосмотре или в недостаточной квалификации пострадавшего. Так, один рабочий, при включении рубильника для пуска в ход электродвигателя, не обратил внимания на то, что пусковой реостат был весь выведен. Про-

изошло короткое замыкание, и от образовавшейся вольтовой дуги рабочий получил ожог кисти и предплечья.

Другая причина частых несчастных случаев, имеющих последствием ожоги,—это размыкание электрических цепей под током.

Искрение при размыкании контактов рубильников и выключателей, если они находятся в исправности, а размеры и конструкция их соответствуют выполняемой работе, вряд ли может быть настолько сильным, чтобы причинять несчастный случай. Однако, неисправные приборы, например рубильники с ослабевшими пружинами, могут дать довольно сильную остающуюся дугу, часто являющуюся причиной ожогов. Далее нередко применяются выключатели с недостаточной для данной работы разрывной способностью, без искрогасительных приспособлений и т. д. Вспышки и вольтовые дуги, происходящие при выключении тока в таких условиях, представляют нередко опасность для находящихся вблизи людей, что и подтверждается хроникой несчастных случаев от электричества.

Кроме выключателей разрыв цепи, сопровождающийся сильным искрообразованием и разбрызгиванием частиц металла, может произойти и в предохранителях, при перегрузке или коротком замыкании цепи. Чаще всего это происходит при включении двигателей, напр., при слишком быстром выведении реостата из цепи; вольтова дуга, образующаяся при расплавлении предохранителя, может обжечь рабочего, если предохранители находятся рядом с пусковым устройством. Помимо вольтовых дуг опасность может представить и прикосновение к предохранителю в момент его перегрузки и расплавления. Обыкновенно несчастные случаи с предохранителями имеют место при вставке предохранителей в цепь, замкнутую накоротко или на небольшое сопротивление; такие случаи являются одними из наиболее частых в хронике электротравматизма.

В заключение следует упомянуть о несчастных случаях, имеющих место при разборке кабельных муфт, если кабельная линия находится под током. Вольтовые дуги при этом вследствие значительных токов и мощностей обыкновенно бывают очень интенсивны и сопровождаются сильным разбрызгиванием металла.

## ГЛАВА IV.

### КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ.

#### а. Классификация по величине напряжения и роду тока.

Согласно действующих у нас „Правил безопасности и правил устройства для электротехнических сооружений сильных токов низкого и высокого напряжения“ все устройства разделяются на две категории: 1) устройства низкого напряжения, в которых действующее напряжение в местах потребления между каким либо из проводов и землей не превосходит 250 V и 2) устройства высокого напряжения, в которых указанное напряжение превосходит 250 V. Здесь имеется в виду максимальная возможная величина напряжения между проводом и землей. В сетях с заземленными нейтралью это условие будет выполнено при рабочем напряжении между проводами выше 250 V, именно в трехпроводных сетях постоянного тока при напряжении до  $2 \cdot 250 = 500$  V и в трехфазных сетях переменного тока при напряжении до  $\sqrt{3} \cdot 250 = 430$  V. В сетях же изолированных от земли (без заземленных нулевых точек), при случайном замыкании на землю одного из проводов, напряжение другого по отношению к земле может достигнуть величины рабочего напряжения между проводами; поэтому изолированные сети могут быть отнесены к классу установок низкого напряжения только при рабочих напряжениях не выше 250 V. Род тока в действующей у нас классификации не имеет значения, одна и та же градация установлена как для постоянного, так и для переменного тока.

Указанная классификация установлена по образцу Германских правил, в которых в несколько другой, более точной формули-

ровке, дано такое же подразделение напряжений. По примеру Германии, подобная же классификация имеется и в некоторых других странах, напр., в Швейцарии, Дании и др.

Однако, эта система является далеко не единственной, и с нею интересно сравнить классификации, принятые в других главнейших промышленных странах.

Во Франции установлены две категории напряжения, каждая из которых имеет еще дальнейшие подразделения. К первой категории относятся установки постоянного тока с напряжением по отношению к земле до 600 V. Что касается установок переменного тока, относящихся к первой категории, то они разделяются на две группы: в первую входят установки с напряжением (по отношению к земле) до 150 V, а во вторую — с напряжением между 150 V и 250 V. Все установки с напряжениями более высокими, чем указанные выше, относятся ко второй категории. Вторая категория имеет кроме того особо выделенную группу очень высоких напряжений, в которую входят установки постоянного тока с напряжением выше 60000 V и установки переменного тока с напряжением выше 33000 V.

В Бельгии границей между установками низкого и высокого напряжения являются для постоянного тока напряжение в 600 V между проводами и для переменного тока напряжение в 220 V между проводами.

В Англии установлены следующие 4 класса напряжений: 1) особо низкое напряжение (extra low pressure) — до 100 V между проводами для постоянного тока и до 30 V между проводами переменного тока; 2) низкое напряжение (low pressure) от 100 V до 250 V между проводами для постоянного тока и от 30 V до 250 V между проводами для переменного тока; 3) среднее напряжение (medium pressure) — от 250 V до 650 V между проводами как для постоянного, так и для переменного тока, и 4) высокое напряжение (high pressure) — выше 650 V между проводами.

Наконец, в Соединенных Штатах Америки, в сборнике Правил безопасности, в так называемом „Национальном Электрическом Кодексе Безопасности“ (National Electrical Safety Code), вообще нет официальной классификации напряжений, и термины „вы-

сокое" и „низкое" напряжение отсутствуют. В самых же правилах проводится градация установок по напряжению, причем фигурируют следующие напряжения, в качестве пограничных для тех или иных постановлений: 25 V, 150 V (по отношению к земле), 300 V (по отношению к земле) и 750 V. Различие в роде тока (постоянного или переменного) в американских правилах обыкновенно не проводится.

Рассматривая Германскую систему, принятую у нас, сравнительно с другими системами, нужно прежде всего указать на отсутствие в Германской системе, в отличие от большинства других систем, различий для постоянного и переменного тока. Это значительно упрощает классификацию и содействует большему единообразию правил безопасности, но с другой стороны, таким образом не учитывается различие в степени опасности поражения постоянным и переменным током, которое несомненно существует и подтверждается статистическими данными (см. главу II).

Далее в Германской системе классификация установок проводится по величине максимально возможного напряжения по отношению к земле, а не по величине рабочего напряжения между проводами. Как было выяснено выше, таким образом создается преимущественное положение для установок с заземленными нейтралями по сравнению с установками, изолированными от земли. Однако, как показано в главе III, анализ условий безопасности не может оправдать такого разделения установок; наоборот, при одинаковой величине рабочего напряжения установки, изолированные от земли, следует признать более безопасными, нежели установки с заземленными нейтралями. Подобно Германии градация установок по напряжению относительно земли проводится во Франции и Соединенных Штатах; в Англии же и Бельгии градация проводится по рабочему напряжению между проводами.

Самое же существенное возражение, которое можно сделать против Германской, так же, как и против некоторых других систем, это применение только двух категорий — низкого и высокого напряжения. Противопоставление двух напряжений — низкого безопасного и высокого опасного, с проведением гра-

ницы в 250 V относительно земли, не может быть обосновано какими либо данными опыта, статистики и пр., как это было выяснено в главах I и II. Недостаточность такой классификации доказывается тем, что в самих правилах безопасности, как в Германии, так и у нас, в последнее время появляются другие дополнительные градации установок по напряжению, и таким образом классификация перестает соответствовать действительному содержанию правил.

Прежде всего является целесообразным установить категорию особо низкого или безопасного напряжения. Как было выяснено в главах I, II и III, существующие низкие напряжения никак не могут быть признаны безопасными, хотя бы потому, что большая часть несчастных случаев от электричества падает именно на установки низкого напряжения. Граница безопасного напряжения может быть установлена, исходя из наименьшей возможной величины сопротивления тела человека  $R_h$  и наибольшей величины силы  $I_s$  тока через тело, которая может быть признана безвредной для человека. Тогда произведение этих величин  $E_s = I_s R_h$  можно будет признать верхней границей безопасных напряжений прикосновения. Как было указано в главе I, величина  $R_h$  в обычных условиях эксплуатации электрических установок очень редко спускается ниже 1000  $\Omega$ ; что же касается границы безопасной силы тока  $I_s$ , то ее нужно принять порядка нескольких сотых ампера, примерно, от 0,02 до 0,05 A. Таким образом, мы получаем величину  $E_s$  от 20 до 50 V. Если рабочее напряжение установки  $E$  не превосходит этой величины безопасного напряжения прикосновения, т. е. ни при каких условиях тело человека не может быть включено на большее напряжение, то такая установка действительно может быть признана безопасной в отношении поражения электрическим током. И, действительно, величины напряжения этого порядка принимаются для устройств и работ, находящихся в особо неблагоприятных условиях, напр. для переносных ламп, при ремонтных работах внутри котлов, цистерн и пр. В Англии верхняя граница для особо-низкого или безопасного напряжения (для переменного тока) установлена в 30 V (см. выше). В Германии в качестве верхнего предела без-

опасного напряжения прикосновения принимается обыкновенно 40 V (или 42 V), хотя эта величина и не фигурирует в классификации напряжений. В наших правилах безопасности также встречаются в некоторых случаях, для неблагоприятных условий работ, в качестве максимально допустимого напряжения установки, величины 40 V и 24 V. Кроме того, напряжение в 40 V установлено в качестве максимально допустимого напряжения прикосновения, при расчете заземлений, согласно проекту руководящих указаний для устройства и расчета заземлений и занулений в установках низкого напряжения, выработанного ЦЭС'ом. Имеющиеся в наших нормах стандартные эксплуатационные напряжения в 12 и 24 V подходят к рассматриваемой категории особо-низких или безопасных напряжений.

Идя дальше в сторону повышения напряжения, мы во всех системах, кроме Германской, для установок переменного тока встречаемся с напряжением около 150 V по отношению к земле или соответствующим для трехфазных сетей рабочим напряжением около 260 V, как верхней границей для „низкого напряжения“. Не во всех системах, правда, применен этот термин, но по всем признакам эта категория соответствует тому, что мы понимаем под обозначением „низкое напряжение“. Так, во Франции установлена граница (для первой группы первой категории) в 150 V относительно земли, или около 260 V между проводами, в Бельгии — 220 V между проводами, в Англии — 250 V между проводами, в Америке — 150 V относительно земли (ок. 260 V между проводами). Подобные же градации установлены и во многих других странах, не упомянутых выше. Установление этой границы основано на данных эксплуатации электрических сетей и на изучении статистики несчастных случаев от электричества, показывающей, что наибольшее число несчастных случаев падает на установки переменного тока с напряжением порядка 300—500 V между проводами (см. напр. Английскую статистику, глава II) и что эти установки должны быть отделены с точки зрения безопасности от установок более низкого напряжения, порядка 200—250 V между проводами.

В Германии же и у нас верхняя граница низкого напряжения отодвинута гораздо дальше, именно до 250 V по отношению



к земле, что соответствует около 430 V между проводами. Этот перенос границы сделан с целью включения в область низких напряжений трехфазных установок 380/220 V с заземленной нейтралью. Это напряжение в Германии является основным и получило весьма широкое распространение в промышленности и сельском хозяйстве, чему, конечно, в немалой степени помогло отнесение его в разряд низких напряжений, с соответствующим понижением требований в отношении устройства и эксплуатации таких установок. Однако, с этим, нужно полагать, связано и значительное число тяжелых несчастных случаев от электричества, которая дает Германская статистика, по сравнению со статистикой других европейских стран. Так, например, ежегодное число смертных несчастных случаев от электричества в промышленности в Германии,— свыше 200, между тем как в Англии, которая по числу рабочих, имеющих дело с электрическими установками, вероятно, не многим уступает Германии, годовое число смертных случаев от электричества в среднем за последние годы не превышает 25. В этом отношении впереди Англии стоит даже маленькая Швейцария, также применяющая Германскую систему классификации; в Швейцарии среднее число смертных случаев за последнее десятилетие равно 27.

У нас вопрос о применении трехфазных установок 380/220 V с заземленной нейтралью является в настоящее время одним из наиболее острых и серьезных вопросов в технике и промышленности. Это напряжение включено в стандарт низких напряжений и является, согласно предписаниям высших планирующих органов, основным для будущей электрификации промышленности и сельского хозяйства, хотя в настоящий момент оно еще далеко не имеет у нас такого распространения, как в Германии. Однако, в технических кругах, наряду с горячими сторонниками возможно большего применения этого напряжения, имеется и не мало противников. Сторонники, основываясь на технико-экономических предпосылках, указывают, что при реконструкции нашей промышленности, связанной с концентрацией производства в крупных единицах, здания и отдельные помещения фабрично-заводских предприятий приобретают такие размеры, что применение для распределительных сетей напряжения ниже 380 V становится

экономически невыгодным и затруднительным. В еще большей степени это относится к сельскому хозяйству, в виду существующих там больших расстояний между питательными пунктами и местами потребления электрической энергии. Противники же форсированного введения напряжения 380 V, главным образом из среды работников, занимающихся эксплуатацией существующих установок, а не проектированием новых, выражают серьезные опасения относительно безопасности электрических установок переменного тока 380 V, трактуемых как установки низкого напряжения, в современных условиях нашей промышленности. С одной стороны, наши электротехнические изделия для установок низкого напряжения, в особенности установочный материал, не обладают пока еще достаточно высокими качествами, чтобы вполне обеспечить надежность и безопасность работы установок в 380 V. С другой стороны, ощущается недостаток в квалифицированном электротехническом персонале, каковой недостаток с повышением эксплуатационного напряжения дает себя чувствовать все в большей и большей мере. Еще в большей степени, нежели к промышленности, относятся эти соображения к сельскохозяйственным электрическим установкам, требующим для своей безопасности особенно надежного устройства. Примером Германии, по мнению противников введения у нас 380 V как основного напряжения для распределительных сетей, мы в настоящее время не можем воспользоваться, в виду более высокого общего уровня Германской электропромышленности по сравнению с нашей; поэтому следует ожидать, что результаты эксплуатации установок 380 V окажутся у нас гораздо более неблагоприятными с точки зрения несчастных случаев, чем в Германии. Интересно отметить, что и во Франции высказываются подобные же соображения по этому вопросу; при сравнении с Германскими условиями указывается на более высокий средний уровень квалификации германского рабочего, по сравнению с французским, что позволяет в Германии применять более высокое эксплуатационное напряжение, нежели во Франции <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> См. Mauduit. Installations electriques à haute et basse tension, Paris, 1926, Том II, стр. 741. Mauduit квалифицирует напряжение 380/220 вольт для француз-

Вопрос о введении у нас напряжения 380/220 V переменного тока подвергался широкому и всестороннему обсуждению неоднократно на Всесоюзных Электротехнических Съездах, на Конференциях Электротехнических Обществ и организаций, на ведомственных совещаниях и пр. Однако, несмотря на это, нельзя сказать, чтобы различные точки зрения на рассматриваемый вопрос были бы сейчас примирены; разногласия относительно „380/220 вольт“ все еще существуют, и до установления общепринятого взгляда в этом деле еще далеко.

Подробное рассмотрение этого важного вопроса, касающегося всей хозяйственной и промышленной жизни страны, выходит за рамки настоящей монографии. Резюмируя, однако, вышеизложенные соображения, можно высказаться в пользу введения напряжения 380/220 V только в том случае, если будут удовлетворены требования безопасности, необходимые для установок этого напряжения. Осторожность здесь необходима, помимо прочих соображений, и для успеха самого дела широкого распространения напряжения 380/220 V, ибо ничто не может так повредить этому делу и дискредитировать самую идею повышения эксплуатационного напряжения, как резкое увеличение электротравматизма, неизбежное при неосмотрительном проведении этой технической реформы, без достаточной ее подготовки в отношении безопасности.

В этом духе высказался IX Всесоюзный Электротехнический Съезд (в Москве, в 1928 г.), который признал систему 380/220 V с заземленным нулевым проводом допустимой для применения на фабриках и заводах, а также в городах, при условии соблюдения специальных правил, которые на этот предмет должны быть разработаны. При том же условии эта система, согласно постановления IX ВЭС'а, допускается и в сельских местностях, однако, каждый раз на основании специального разрешения соответствующего органа.

На основании указанного постановления Центральным Электротехническим Советом был разработан проект руководящих

сих условий, в особенности в сельском хозяйстве, как „страшно опасное“ (terriblement dangereuse).

указаний для устройства электротехнических сооружений трехфазного тока, напряжением 380/220 V, с заземленной нейтралью, а также проект руководящих указаний для расчета и устройства занулений и заземлений в электротехнических сооружениях низкого напряжения; последние руководящие указания также должны иметь наибольшее применение для установок 380/220 V, как это будет выяснено дальше, в соответствующей главе. Первый из указанных проектов уже одобрен ЦЭС'ом и опубликован в окончательной форме<sup>1)</sup>. Эти руководящие указания составлены сейчас как дополнения к основным правилам устройства и эксплуатации электрических сооружений, но в дальнейшем, при общем пересмотре этих правил, они, вероятно, будут в том или другом виде включены в основной текст правил.

С введением в действие новых руководящих указаний, естественно, произойдет выделение установок трехфазного тока 380/220 V из области низких напряжений в особую категорию или группу, составляющую переход от низких напряжений к высоким. Получит ли эта группа особое наименование (напр., „средних“ напряжений, по образцу Англии), или же она останется формально отнесенной к категории низкого напряжения, существо дела от этого не изменится, ибо классификация определяется исключительно содержанием существующего кодекса правил, в противном случае она теряет свой смысл. Нижней границей напряжения для этого нового класса установок переменного тока следует признать, по образцу многих других стран, напряжение 150 V по отношению к земле, или, если признать за основу классификации рабочее напряжение, что по нашему мнению гораздо правильнее, — напряжение 250 V между проводами.

Что касается постоянного тока, то здесь выделение установок свыше 250 V из области низкого напряжения представляется далеко не столь необходимым, как для установок переменного тока. Как было изложено выше, во многих странах верхняя граница низкого напряжения устанавливается для постоянного тока значительно более высокая, нежели для переменного, именно в пре-

<sup>1)</sup> См. „Электричество“. 1930, № 1.

делах 500—600 V. В наших условиях этот вопрос коснется лишь установок 440 V (и трехпроводных установок  $2 \times 220$  V), ибо в шкале напряжений постоянного тока это единственное напряжение выше 250 V. Тяговые установки (трамваи, пригородные жел. дороги), применяющие более высокие напряжения постоянного тока, подчиняются специальным правилам и обыкновенно не входят в общую классификацию. Вопрос о том, предъявлять ли к установкам постоянного тока 440 V более высокие требования, нежели к установкам 110 V и 220 V, следует признать довольно спорным. Нам кажется, что в виду большей безопасности постоянного тока по сравнению с переменным, нет достаточных оснований для утяжеления требований к установкам постоянного тока 440 V.

Возвращаясь к установкам переменного тока, следует рассмотреть вопрос об установлении нижней границы для высоких напряжений, имея в виду введение нового промежуточного класса (между низким и высоким напряжением). Вопрос этот не может вызвать больших сомнений, ибо в нашей шкале напряжений имеется большой скачок от 500 V до 3000 V. Если напряжение 500 V сравнительно мало отличается от напряжения 380 V и может быть отнесено с последним в общую группу, то напряжение 3000 V является уже типично высоким напряжением. Однако, имея в виду возможность применения и каких либо промежуточных напряжений, а также с более широкой, обще-технической точки зрения, представляется интересным определить более точно эту границу. В Англии имеется соответствующая градация 650 V, в Америке—750 V. Особенный интерес представляет для нас в данном случае пример Германии, по образцу которой построена наша система, и в которой до сих пор не было других градаций напряжений, кроме 250 V относительно земли (граница между низким и высоким напряжением). В последнее время Комиссией Германского Союза Электротехников (VDE) были разработаны проекты правил по устройству электротехнических сооружений для напряжений до 1000 V и выше 1000 V; эти два проекта ныне уже одобрены Ежегодным Съездом Германского Союза и вступили в силу. Таким образом, в Германии вводится два отдельных кодекса правил безопасности и устройства, вместо

одного общего для всех напряжений, существовавшего до сих пор. Один кодекс будет касаться низких напряжений, а также высоких до 1000 V; другой — высоких напряжений, начиная от 1000 V. В объяснительной записке к новым Германским правилам приводятся основания для такого разделения напряжений, казалось бы, вопреки принятой классификации. Современная электрическая аппаратура делится по своей конструкции, условиям работы и пр. на два ясно выраженных класса: 1) для применения при напряжениях до 750 — 1000 V и 2) для применения при более высоких напряжениях. Особенно это заметно в приборах для выключения; так, например, простое устройство поворотного выключателя применяется только для напряжений ниже 750 — 1000 V. Это же резкое различие существует и для электрической проводки; до 1000 V применяются провода изолированные, выше же этого напряжения для воздушной проводки выступают на первый план голые провода. Равным образом и провода с резиновой изоляцией, провода в трубках и т. д. применяются только для напряжений до 750 — 1000 V. Соответственно этому разделяется на 2 главных класса и весь установочный материал. В результате, при существующей специализации производства, намечаются две отдельных больших отраслей электротехнической промышленности, причем признаком, их разграничивающим, является именно напряжение ниже или выше 1000 V. Естественно, при таких условиях, что и правила устройства и безопасности, предохранительные меры, порядок эксплуатации и пр. должны сильно отличаться между собой в том и другом случаях. Все эти соображения нельзя не признать правильными, а в связи с этим следует считать вполне обоснованным установление нижней границы высокого напряжения — около 1000 V. Но, конечно, существующая классификация с ее определениями низкого и высокого напряжения оказывается при таких условиях совершенно устаревшей и лишенной реального содержания. Надо думать, что в непродолжительном времени в Германии она будет аннулирована и заменена новой классификацией.

При дальнейшем повышении напряжения придется, вероятно, ввести еще одну группу, очень высоких напряжений, как это

сделано например во Франции. Здесь естественно выделяются напряжения, применяемые только для передачи электрической энергии на большие расстояния, но не для ее распределения в городах, в промышленности и т. д. Установки, служащие для передачи энергии (высоковольтные линии передачи), по своему устройству и условиям эксплуатации настолько своеобразны, что вполне оправдывают выделение их в особый класс и с точки зрения безопасности. Что касается генераторных установок, т. е. электрических станций, то там в последнее время замечается тенденция к сильному возрастанию напряжения генераторов. Если до недавнего времени максимальное напряжение на наших станциях составляло 6600 V (6000 V у приемников), то теперь уже имеются станции в 11000 V (напр., Волховская станция), а в дальнейшем на некоторых станциях это напряжение будет еще повышено. С одной стороны было бы желательно включить электрические станции в категорию установок высокого (а не очень высокого) напряжения, а с другой стороны, непрерывное возрастание напряжения генераторов вызывает в этом отношении затруднения, ибо напряжения порядка 10000 V и выше требуют иных мер безопасности и иных защитных средств, нежели напряжения от 1000 до 10000 V. Вопрос о том, где провести нижнюю границу очень высоких напряжений является поэтому несколько спорным; нам кажется, что установление границы в 10000 V имеет в этом отношении все-же наибольшие основания.

На основании всех приведенных выше соображений можно составить следующую примерную классификацию напряжений, с точки зрения безопасности, которую мы представляем в виде таблицы XVIII (стр. 127).

Таким образом можно предложить 5 категорий, которые и должны найти отражение в правилах безопасности и эксплуатации электрических установок. Наименования категорий (очень низкие, низкие напряжения и т. д.), по нашему мнению, лучше следовало бы выпустить, оставив лишь обозначения категорий по номерам (I-ая, II-ая и т. д.). Однако, для большей наглядности эти условные наименования оставлены в классификации.

Приведенная классификация является лишь предварительной и примерной и, вероятно, потребует тех или иных коррективов.

ТАБЛИЦА XVIII

| Категории                                           | Границы напряжений.<br>Все указанные напряжения рабочие, между проводами. | Включаемые в данную категорию нормальные напряжения, согласно утвержденной IX ВЭС'ом шкалы напряжений. |                                                                   |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                                                     |                                                                           | Постоянный ток                                                                                         | Переменный ток                                                    |
| I. Очень низкие или безопасные напряжения . . . . . | До 40 V включительно                                                      | 12,24                                                                                                  | 12, 24                                                            |
| II. Низкие напряжения .                             | До 250 V включительно для переменного тока, до 500 V для постоянного тока | 110, 220, 440 <sup>x</sup>                                                                             | 120, 127, 220                                                     |
| III. Средние напряжения                             | До 750 V включительно или ниже 1000 V                                     | —                                                                                                      | 380, 500                                                          |
| IV. Высокие напряжения                              | Ниже 10000 V                                                              | —                                                                                                      | 3000, 6000                                                        |
| V. Очень высокие напряжения . . . . .               | Начиная от 10000 V и выше                                                 | —                                                                                                      | 10000 <sup>xx</sup> , 20000, 30000, 60000, 100000, 150000, 200000 |

Так, например, окажется, вероятно, спорным, куда отнести напряжение 440 V постоянного тока, во II-ую или III-ью категорию; в последнем случае исчезнет различие в градации постоянного и переменного тока, именно II-ая категория будет включать напряжения до 250 V независимо от рода тока, что упростит классификацию. Далее и в отношении напряжения 10000 V (11000 V у генераторов) вероятно возникнут сомнения, именно отнести ли его к V-ой или IV-ой группе. На таблице эти спорные случаи отмечены крестиками. Все же, несмотря на те или иные возможные изменения и исправления, предлагаемая классификация в общем соответствует реальному положению техники безопасности на электрических установках, во всяком случае гораздо больше, чем существующая классификация, явно недостаточная и устаревшая.



## в. Классификация по внешней обстановке.

Внешняя обстановка, т. е. условия места нахождения электрического устройства и род помещения имеют громадное влияние на степень опасности электрической установки. Влияние это может обнаруживаться в двух направлениях. С одной стороны окружающая обстановка, в частности степень влажности воздуха, наличие едких паров и т. п. воздействуют в сильной степени на состояние изоляции электрических проводов, т. е. влияет на вероятность прикосновений к обнаженным токоведущим частям, а также на величину токов утечки, имеющую непосредственное отношение к степени опасности этих прикосновений (см. главу III). С другой стороны, и это еще важнее, окружающая обстановка сильно влияет на величину сопротивления  $R$  цепи, в которую включено тело человека, от места прикосновения к токоведущей или случайно оказавшейся под напряжением части, до земли. Эту величину можно рассматривать как сумму двух слагаемых, т. е.  $R = R_k + R'$ , где  $R_k$  — сопротивление самого тела человека, а  $R'$  — сопротивление обуви (иногда платья), пола и других частей здания, до земли. О влиянии, которое имеет влажность окружающего воздуха на сопротивление кожи, а вместе с тем и всего тела человека, говорилось подробно в главе I, и к этому вопросу мы больше возвращаться не будем. Такое же большое действие оказывает состояние воздуха и на величину второго слагаемого  $R'$ , ибо присутствие влаги может уменьшить в десятки раз электрическое сопротивление обуви, одежды, а также пола, стен и других частей здания.

Кроме того, большое значение в отношении электро-безопасности имеет устройство здания, главным образом материал пола. Деревянный и асфальтовый пол дают, вообще говоря, сравнительно высокое сопротивление, а бетонный, кирпичный или каменный пол — значительно меньшее. Однако, это верно лишь при одинаковых метеорологических условиях, ибо очень сырой деревянный пол может дать более низкое сопротивление, чем например вполне сухой каменный пол. Наименьшее значение сопротивления получается, когда работы производятся на открытом воздухе, а также в помещениях с земляным полом; в таких случаях, особенно

если земля сырая, можно считать, что в величину  $R$  входит лишь сопротивление обуви. В подобных же условиях находятся рабочие, когда они работают стоя на металлических частях здания, например, на крыше, на балках и пр., которые обычно так или иначе электрически соединены с землей (заземлены).

Из изложенного явствует, что наибольшее значение в отношении безопасности электрических установок имеет степень влажности воздуха, а также наличие в нем тех или иных примесей (газов, пыли и пр.). В связи с этим наши правила безопасности и устройства для электротехнических сооружений сильных токов вводят следующие категории помещений.

1) *Сухие помещения* <sup>1)</sup>, в которых, при нормальном их содержании и использовании, влажность не может повыситься до состояния насыщения, и пол, стены и предметы оборудования находятся нормально в сухом состоянии. Сюда относятся прежде всего жилые помещения, здания общественного пользования (учреждения, школы, больницы и пр.), а также многие фабрично-заводские помещения, в особенности, так называемых „чистых“ производств (многие машиностроительные цеха, мастерские точной механики, помещения электрических станций и т. д.).

2) *Сырые помещения*, в которых, при нормальном их использовании, влажность временно может повышаться до состояния насыщения, например, при резких изменениях температуры или при выделении большого количества паров. Сюда принадлежат: неотапливаемые подвалы, чердаки, склады, сараи, погреба, ванные комнаты, кухни общественных столовых, а также фабрично-заводские помещения, в которых для производственных процессов применяется в значительном количестве вода для промывания, варки, растворения. Такого рода помещения имеются в большом количестве на текстильных, бумажных, резиновых и многих других фабриках и заводах.

3) *Особо сырые помещения*, в которых воздух постоянно насыщен водяными парами: стены, пол, потолок и все находя-

<sup>1)</sup> Термин „сухие помещения“ не входит в определения, которыми начинаются наши правила, но эта категория, как противопоставляемая остальным категориям сама собой подразумевается.

щиеся в помещении предметы постоянно покрыты влагой. К особо сырým помещениям следует отнести бани, прачешные, многие отделения красильных и аппретурных фабрик, сушильные помещения для лесных и других материалов.

В существующих правилах безопасности для сырых помещений вводится целый ряд особых требований в отношении безопасности электрических установок, а для особо сырых помещений эти требования еще утяжеляются. С другой стороны, существует много помещений, которые являются как бы переходными от одной категории к другой, в виду отсутствия ясно выраженных признаков, указанных в правилах безопасности. Поэтому вопрос о том, к какой категории отнести эти помещения (т. е. к сухим, сырým или особо сырým) необходимо решить только после тщательного их обследования вполне компетентными лицами.

Иногда вводятся еще промежуточные категории в отношении степени влажности воздуха, например, между сухими и сырými помещениями вводятся „неотапливаемые, но не сырые помещения“ или „влажные помещения“ и т. д. В наших правилах безопасности, однако, эти промежуточные категории не встречаются.

4) *Помещения с едкими парами*, в которых появляются пары и отложения, могущие влиять разрушительным образом на обычно употребляемые при электрических устройствах материалы, главным образом на изоляцию проводов. К помещениям с едкими парами относятся главным образом разные химические фабрики, а также травильные отделения металлообрабатывающих, полиграфических и других предприятий. Так как в помещениях с едкими парами обыкновенно имеются и признаки сильной влажности, эти помещения отличаются сочетанием разных неблагоприятных факторов; и поэтому должны удовлетворять целому ряду требований в отношении безопасности электрических установок.

5) *Помещения с проводящей пылью*, отличающиеся обильным содержанием в воздухе металлической или иной проводящей пыли, препятствующей поддержанию сопротивления изоляции на надлежащей высоте. Помимо влияния на изоляцию, проводящая пыль, оседая на руки, платье и обувь рабочих, может сильно понизить сопротивление пути тока через тело человека.

К помещениям с проводящей пылью можно отнести обрубные отделения литейных заводов, шлифовальные отделения металлообрабатывающих заводов, словолитен и пр., угольные мельницы, цементные заводы. Наши правила устанавливают для помещений с проводящей пылью те же правила и ограничения, что и для сырых помещений, т. е. эти два рода помещений считаются в отношении опасности поражения электрическим током как бы равноценными.

В отношении всех указанных категорий нужно сказать, что каковы-бы ни были производственные процессы в данных помещениях, всегда есть возможность путем рационального устройства вентиляции и других мер устранить или по крайней мере в значительной степени уменьшить содержание влаги, пыли и паров в воздухе. Таким образом, наряду с основной задачей вентиляции будет достигнуто и улучшение внешних условий для работы электрических установок, а также их значительное упрощение и удешевление.

Кроме приведенных пяти категорий наши правила устанавливают еще две категории, характеризующие внешнюю обстановку в отношении пожарной опасности для электрических установок. Этот вопрос является отдельной отраслью техники безопасности и не имеет непосредственного отношения к безопасности электрических установок в отношении поражения электрическим током. Однако, в правилах эти две стороны безопасности электрических установок трактуются совместно, и потому в общую классификацию входят и эти две категории, а именно:

6) *Помещения опасные в пожарном отношении*, в которых обрабатываются или хранятся легко воспламеняющиеся предметы и в которых, по условиям производства, могут образоваться легко воспламеняющиеся газы, пары, пыль и волокна. Сюда относятся многие деревообрабатывающие мастерские и склады, мукомольные мельницы, угольные мельницы и склады, многие химические производства и др.

7) *Помещения, опасные по отношению к взрывам*, в которых изготавливаются, обрабатываются или хранятся взрывчатые вещества, или в которых, по имеющемуся опыту, могут образоваться взрывчатые газы, пары, пыль или смеси их с воздухом. Сюда

относятся мастерские и склады взрывчатых материалов, пороха, динамита и пр., а также бензина и других продуктов нефти.

Для обеих последних категорий помещений требуется особо тщательное выполнение электрических установок, с целью предупреждения сильного местного нагрева какой либо части этих установок, а в особенности появления искры в открытом помещении. Эти меры должны быть еще усилены для категории 7-ой, по сравнению с категорией 6-ой, в виду более легкого возникновения взрыва с возможностью тяжелых последствий для людей и имущества.

### с. Классификация по характеру эксплуатации электрических установок.

Степень опасности поражения электрическим током в значительной степени зависит от того, в каких условиях происходит эксплуатация электрических установок, т. е. какой круг лиц приходит в соприкосновение с ними. Очевидно, что чем шире этот круг лиц, тем меньшего следует ожидать умения в обращении с электрическим оборудованием и тем строже, вообще говоря, должны быть требования к устройству электрических установок. В связи с этим можно дать следующую классификацию электрических установок, расположенных в порядке съужения круга лиц, имеющих с ними дело.

1) *Установки общего пользования*, которые находятся в эксплуатации всего населения данной местности. Сюда принадлежат устройства электрического освещения, а также так называемой „бытовой нагрузки“ (нагревательные приборы, мелкие двигатели вентиляторов, пылесосов и пр.), установленные в жилых и общественных помещениях. Так как по условиям внешней обстановки эти устройства находятся обыкновенно в сравнительно благоприятных условиях (в сухих помещениях), то таким образом как бы компенсируется неблагоприятное влияние в отношении эксплуатации, а потому нет надобности в каком либо специальном утяжелении правил безопасности для рассматриваемых устройств.

2) *Мастерские* или производственные помещений, в широком смысле этого слова, в которых (в противоположность специальным электромашинным помещениям) нормально выполняются работы, не относящиеся к производству и распределению электрической энергии; поэтому установки в таких помещениях не только доступны для неспециально обученного персонала, но обыкновенно и обслуживаются неэлектротехническим персоналом. Доминирующее значение среди такого рода установок имеют электродвигатели станков и производственных машин, вместе с аппаратурой для управления.

Настоящую категорию (установки в мастерских) можно еще разделить на 2 группы, смотря потому, находится ли персонал данной мастерской, или по крайней мере значительная его часть, по роду производимой работы, в длительном соприкосновении с металлическими заземленными предметами, могущими случайно оказаться под напряжением, или нет. К первой группе относятся, например, мастерские, оборудованные по способу одиночного привода, с установкой двигателей на общей плите с рабочими машинами, а также вообще мастерские с большим количеством металлических заземленных предметов, как, например, мастерские железных конструкций, многие сборочные мастерские и др. Ко второй группе, находящейся в лучших условиях в отношении безопасности, относятся все другие мастерские, в которых этот признак отсутствует или выражен в слабой мере. Подробнее об этом было сказано выше, в главе III.

3) *Электромашинные помещения*, в которых установлены электрические машины и аппараты для производства или преобразования электрической энергии; установки в таких помещениях доступны лишь для обслуживающего их электротехнического персонала. Сюда относятся машинные и распределительные отделения электрических станций, более или менее крупные трансформаторные подстанции, преобразовательные подстанции.

В виду значительного сужения круга лиц, имеющих дело с данными электрическими установками, а также благоприятных внешних условий, в которых они находятся (рассматриваемые помещения обыкновенно относятся к категории сухих), является

вполне возможным смягчение общих требований безопасности к подобным установкам, что и проводится нашими правилами.

4) *Замкнутые электромашинные помещения*, в которые лишь временно заходит соответственно инструктированный персонал; в остальное же время эти помещения находятся под запором, причем ключи могут находиться только у обслуживающего персонала. Сюда относятся закрытые подстанции, трансформаторные пункты, помещения за распределительными щитами центральных электрических станций, если они на запоре.

С рассматриваемыми установками имеет дело лишь чрезвычайно ограниченный круг лиц, притом квалифицированных и специально инструктированных; кроме того, пребывание в таких помещениях обыкновенно бывает непродолжительно, что позволяет людям в надлежащей степени концентрировать свое внимание на мерах предосторожности при работе. В виду этого нашими правилами допускается дальнейшее существенное смягчение требований, по сравнению с предыдущей категорией (электромашинные помещения).

К последней категории (замкнутые электромашинные помещения) относятся также и *аккумуляторные помещения*, доступ к которым также ограничен самым узким кругом лиц. Однако, по условиям внешней обстановки, аккумуляторные помещения резко выделяются из всех прочих электромашинных помещений, вследствие наличия в воздухе едких паров, а также и газов, представляющих опасность в отношении взрыва. Вследствие такой своеобразной комбинации факторов, влияющих на степень безопасности, аккумуляторные помещения по существу выделяются в правилах в особую категорию установок, к которым предъявляются специфические требования

#### д. Специальные электрические установки.

Под специальными электрическими установками мы понимаем устройства, находящиеся в отношении безопасности в особых условиях и подчиняющиеся не общим правилам безопасности, а специальным, для них выработанным. Сюда относятся следующие устройства:

1) *Электрические установки на рудниках* (угольная и рудная промышленность), для которых имеются специальные „Правила безопасности для электротехнических сооружений на рудниках“. Условия работы электрических установок на рудниках, под землей, настолько своеобразны, что подобное выделение вполне естественно. В виду значительного увеличения степени опасности на рудниках, указанные правила отличаются вообще говоря гораздо более строгими требованиями, чем общие правила безопасности. Электрическим установкам в горном деле (на рудниках) будет посвящена особая монография в настоящей серии.

В таких же своеобразных и неблагоприятных с точки зрения безопасности условиях находятся и электрические установки в других отраслях горной промышленности, а именно:

2) *Электрические установки на нефтяных промыслах* („Правила безопасности для электротехнических сооружений на нефтяных промыслах) и

3) *Электрические установки на торфяных разработках* („Правила безопасности для электротехнических сооружений на торфяных разработках“).

Торфяные разработки отличаются также целым рядом неблагоприятных условий для работы электрических установок вследствие расположения на открытом воздухе и сырой болотистой почве, а также наличия массивных металлических частей, могущих оказаться под напряжением. Об опасности торфяных разработок было упомянуто выше, при описании несчастных случаев; статистика показывает, что тяжелые несчастные случаи от электричества на торфяных разработках повторяются часто.

Что касается нефтяных промыслов, то характерной для них является усиленная пожарная опасность, вследствие наличия легко воспламеняющихся и взрывчатых веществ.

Кроме указанных имеются еще 2 специальных категории электрических установок, подчиняющихся особым правилам, а именно:

4) *Электрические трамваи* („Правила безопасности для электрических трамваев“), представляющие электрические установки совсем особого рода и характеризующиеся сочетанием специально электрических и общетяговых опасностей.



5) *Электрические установки в театрах, цирках, кинематографах и т. п. помещениях* („Правила безопасности и правила устройства, для электротехнических установок в театрах, цирках и им подобных помещениях для общественных собраний“), которые должны быть особенно тщательно устроены в противопожарном отношении, в виду грозной опасности для жизни массы людей, которою сопровождается в данном случае пожар.

В задачи настоящей монографии не входит систематическое рассмотрение специальных электрических установок с точки зрения безопасности; эти установки упоминаются в книге лишь попутно, в качестве отдельных примеров.

---

## ГЛАВА V.

### ОБЩИЕ МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.

Безопасность электрических установок, если взглянуть на это дело широко, представляет собой целый комплекс разнообразных технических проблем и вопросов, ибо почти всякий вопрос в области устройства и эксплуатации электрических установок имеет то или иное отношение к безопасности. Если взять, например, вопрос об изоляции токоведущих частей, то несомненно, как это явствует из всего предыдущего, он имеет кардинальное значение в деле безопасности. То же можно сказать и о предохранении электрических установок от перегрузок, токов короткого замыкания, перенапряжений и пр. Однако, исправное состояние изоляции и надежное действие предохранителей совершенно необходимо вообще для работы электрических установок, без отношения к возможности поражения электрическим током. Поэтому такие вопросы должны излагаться в общих сочинениях по электротехнике, а не в специальной монографии по технике безопасности. Задачей же, более узкой, настоящей монографии является рассмотрение мер безопасности, имеющих специфический характер защиты людей, имеющих дело с электрической установкой. К этому мы и приступим, начав с общих мер организационного характера, а в дальнейшем, в следующих главах, перейдем к конструктивным мерам и специальным защитным устройствам и средствам.

При изложении мер безопасности мы будем как можно ближе придерживаться существующих правил безопасности и устройств и правил эксплуатации электрических установок. Нам не-

обходимо будет, поэтому, придерживаться и существующего деления на высокие и низкие напряжения, несмотря на условность и недостаточность этой классификации. При этом установки „среднего напряжения“ (главным образом трехфазные установки 380/220 V с заземленной нейтралью) подчиняются правилам, относящимся к установкам низкого напряжения, если не имеется специальных указаний и оговорок на этот счет. Что касается очень низких или безопасных напряжений (до 40 V), то для них, вообще говоря, можно не требовать применения специальных мер безопасности.

#### **а. Инструктирование рабочего персонала в отношении безопасности.**

В электротехнике, более, чем в какой либо другой области техники, играет важнейшую роль квалификация рабочего персонала и его надлежащее инструктирование. Вредности и опасности, сопровождающие всякого рода производственные процессы, механические, тепловые, химические, сопровождаются обыкновенно признаками, доступными для органов чувств человека. Человек видит представляющую для него опасность быстро движущуюся часть машины, он чувствует чрезмерное повышение температуры около раскаленной печи, обоняет запах вредного газа. Врожденный человеку инстинкт самосохранения, даже без специальных указаний и инструктирования, побуждает его принять те или иные меры предосторожности, прежде чем данная вредность или опасность приняла для него грозные размеры. Иначе обстоит дело с электрическим током, который обыкновенно ничем себя не проявляет до момента опасного прикосновения. В данном случае враг невидим и неосязаем, и единственное индивидуальное оружие против него — это знание и опыт, т. е. надлежащая квалификация. При этом необходимо, кроме общей квалификации в области электротехники, и специальное инструктирование по безопасности электротехнических работ, на которую, в общих курсах обучения и инструктирования, к сожалению, нередко обращается мало внимания. Иногда

даже замечается как бы обратное соотношение между степенью общей квалификации и применением правил предосторожности в обращении с электрическими установками. Так, нередко опытные, вполне квалифицированные электромонтеры считают себя как бы привыкшими к электричеству, благодаря тому, что ток часто проходил через них при случайных или умышленных прикосновениях, не причиняя вреда здоровью. Между тем, как было уже указано в главе I, в данном случае иммунитета никогда не бывает, и никто не может считать себя застрахованным от электрического удара. Это необходимо настойчиво разъяснять всем электротехникам при их инструктировании, стараясь предостеречь их от слишком беззаботного и легкомысленного отношения к электрическому току. Осторожность в данном случае играет двойную роль, во-первых, в смысле уменьшения возможности прохождения электрического тока через тело, а во-вторых, в отношении внутренней психической подготовки человека к возможности электрического удара. Эта подготовка является фактором, уменьшающим вероятность несчастного случая даже при прохождении тока через тело человека, между тем, как элемент неожиданности иногда может сыграть роковую роль (см. главу I).

Часто условия возникновения несчастных случаев таковы, что они не могли бы быть устранены никакими техническими средствами безопасности, а только соответственным инструктированием и пропагандой идей безопасности. Сюда принадлежит прежде всего часто практикуемый метод испытания напряжения непосредственным прикосновением пальцев, иногда даже смачиваемых слюной. В основе этого весьма опасного и недопустимого приема лежит убеждение в безопасности низкого напряжения, в соединении с все той же верой в спасительную привычку к электрическому току. Наличие технических средств для распознавания напряжения, как бы они ни были удобны, все же не может гарантировать от применения способа испытания напряжения „на ощупь“, оказывающегося на практике более быстрым и удобным. Единственным способом борьбы против этого является надлежаще поставленная пропаганда безопасности, вооруженная всеми видами воздействия на человека.

Еще большее значение имеет инструктирование рабочих для работы под напряжением или вблизи находящихся под напряжением токоведущих частей. Здесь мы имеем дело уже с необходимостью опасного приближения, а иногда даже и прикосновения к токоведущим частям. Тщательное инструктирование относительно наиболее удобных и безопасных методов работы при подобных условиях может принести громадную пользу и в значительной степени уменьшить степень опасности таких работ.

Предметом инструктирования должны быть далее порядок включения и выключения установок при ремонтных работах, значение и способы пользования защитными средствами, способы испытания этих средств, методы подачи первой помощи пострадавшим и т. д.

Кроме чисто практических сведений и навыков необходимо также знакомить электротехников, хотя бы в самой общей форме, с характером действия электрического тока на организм человека, с тем, чтобы вызвать правильное представление об опасностях, связанных с электромонтажными работами, и о значении разных предохранительных мер и средств.

Что касается методов инструктирования и пропаганды, то здесь открывается большое поле для проявления энергии и инициативы тех лиц и органов, которые заведуют охраной труда и техникой безопасности. Лекции, беседы, практические уроки, плакаты, листовки, брошюры, печатные инструкции, стенные газеты, инсценировки, кино-фильмы — все может сослужить в данном случае службу, воздействуя на ум, чувство и память человека. Особенного развития все эти методы достигли в Америке, где им придают большее значение, нежели техническим мерам и предохранительным средствам.

В качестве наглядного и действительного метода инструктирования, пригодного особенно для начинающих и мало-опытных электромонтеров, можно рекомендовать следующий: рабочему предлагается, под наблюдением и руководством инструктора, произвести те или иные работы в опасных условиях, под напряжением, например, ремонт распределительного щита и т. п. Так как, однако, эта работа была бы слишком опасна для мало-

опытного и неинструктированного рабочего, данная установка фактически отключается от источника тока, но так, чтобы это осталось неизвестно для обучаемого. Последний, под впечатлением важности и опасности данного ему поручения, принимает все меры предосторожности, избегает всякого неосторожного прикосновения или приближения к токоведущим частям, и обыкновенно так и не замечает до самого конца об отсутствии всякой опасности.

Одним из средств для инструктирования персонала в отношении безопасности является также широкое распространение существующих правил и руководящих указаний. Из таковых наибольшее значение для персонала имеют „Правила эксплуатации электротехнических устройств сильных токов“, в которых даны указания об обязанностях электротехнического персонала и о мерах безопасности, которые следует принимать при исполнении тех или иных работ. Эти правила должны быть широко распространяемы в промышленных предприятиях путем вывешивания в служебных помещениях, а также вручения, под расписку, одного экземпляра правил каждому штатному работнику. Кроме Правил Эксплуатации должны быть также распространены „Руководящие положения по оказанию первой помощи пострадавшим от электрического тока“ и „Наставления для обращения с электрическими проводами и принадлежностями при тушении пожаров“.

Из печатных инструкций, изданных в дополнение и развитие правил безопасности, следует отметить инструкции, изданные „Электротокком“, МОГЭС'ом и другими организациями. Эти инструкции, содержащие много полезных и ценных указаний, заслуживают самого широкого распространения среди электротехнического персонала.

### **в. Общие меры по содержанию помещений.**

Электрические устройства в настоящее время имеются в любых помещениях — производственных, жилых и общественных. Общие меры по содержанию всех этих помещений (содержание в чистоте, освещение и пр.), хотя и имеют немалое значение с точки зрения безопасности электрических установок, но выходят за рамки настоящей книги. Мы здесь коснемся только

некоторых мер, относящихся специально к электромашинным помещениям, т. е. к помещениям, содержащим в себе только устройства для производства, преобразования и распределения электрической энергии. Доступ в эти помещения должен быть как можно более ограничен; они должны быть доступны лишь для обслуживающего персонала, посторонним же лицам вход в эти помещения должен быть воспрещен. С точки зрения безопасности это правило имеет большое значение, так как в электромашинных помещениях имеется обыкновенно гораздо больше незащищенных токоведущих частей, нежели в других помещениях с электрическими установками, а потому лица, незнакомые с электрическим оборудованием, подвергаются в электромашинных помещениях большей опасности. Подобный же запрет в отношении доступа посторонних лиц должен быть введен и для временных мест производства электротехнических работ.

Особенное внимание должно быть обращено на помещения, содержащие электрические устройства высокого напряжения. Как общее правило, все такие помещения должны быть всегда на запоре, причем ключ должен выдаваться по особому распоряжению и под расписку только лицам, назначенным для обслуживания указанных устройств и имеющим право свободного доступа в эти помещения. Изнутри же, в целях более свободного выхода при несчастном случае, пожаре и т. п., двери таких помещений должны открываться без ключа. Запор никоим образом не может быть заменен заградительной цепью, решеткой или запретительной надписью. Кроме того, вход в помещения, содержащие устройства высокого напряжения, и всякая работа в этих помещениях, хотя бы и не над этими устройствами, разрешается не менее как двум лицам, с тем, чтобы один мог оказать другому при несчастном случае немедленную помощь. Далее воспрещается входить в помещения высокого напряжения с зонтами, тростями, палками и т. п., которые увеличивают возможность случайного прикосновения к токоведущим частям высокого напряжения.

Приведенные правила имеют особенное применение к замкнутым электромашинным помещениям, т. е. помещениям распре-

делительных щитов и устройств и трансформаторным будкам. Эти помещения в течение большей части рабочего времени остаются без обслуживающего персонала, а потому вход в них посторонних лиц может легко остаться никем незамеченным, и эти лица, если они не знакомы с электрическим оборудованием, подвергаются большой опасности. В виду этого правило о запирании на ключ относится не только к помещениям распределительных устройств высокого напряжения, но распространяется и на распределительные пункты низкого напряжения, если они по своему расположению доступны для посторонних лиц.

Правило о держании на запоре помещений распределительных устройств, к сожалению, не всегда выполняется в промышленных предприятиях. Нередко можно наблюдать, что в такие помещения имеют доступ практиканты, экскурсанты и вообще лица, желающие ознакомиться с установками высокого напряжения; при подобных условиях зарегистрировано немало несчастных случаев. Такое положение вещей не может быть терпимо; приведенные выше правила должны строго выполняться, а всякие осмотры распределительных устройств могут допускаться лишь под руководством ведающих подобными установками лиц, с соблюдением всех правил предосторожности.

Из других общих мер по содержанию электромашинных помещений мы упомянем о проходах в этих помещениях и об их освещении. Общее правило, относящееся ко всем производственным помещениям, о том, чтобы проходы ничем не загромождались и оставались бы всегда свободными, должно быть строго соблюдаемо в электромашинных помещениях, особенно в помещениях распределительных устройств, где в большом количестве имеются незащищенные токоведущие части. При загромождении проходов около распределительных устройств лица, обслуживающие эти устройства, могут споткнуться и оступиться, что связано в данном случае с большой опасностью. Та же опасность возникает и при неровном или щелистом поле, а потому содержание пола во вполне исправном состоянии является также существенной мерой безопасности.

Хорошее освещение электромашинных помещений, как дневное, так и искусственное, также является одним из основных правил



безопасности. Наибольшее значение имеет это правило опять-таки для щитов и других распределительных устройств, где необходимо в целях безопасности как можно лучше осветить все токоведущие части, зажимы, провода, приборы и пр. Только таким образом можно достичь точности и уверенности в движениях вблизи токоведущих частей, что является главнейшим условием безопасности при эксплуатации электрических установок. Далее, работы по обслуживанию электрических установок связаны, более чем какие либо другие работы, с наблюдением за различными измерительными приборами, что опять-таки требует вполне хорошего освещения. Согласно существующих „Правил искусственного освещения фабрик, заводов, мастерских и других рабочих и служебных помещений“, для опасных и вместе с тем доступных для прикосновения частей, к которым относятся также и токоведущие части электрических установок, требуется, как минимум, освещенность в 100 люксов при размерах частей менее  $5 \times 5 \text{ см}^2$ , и 60 люксов — при больших размерах. Так как токоведущие части в виде зажимов, предохранителей, концов проводов и пр. имеют обыкновенно размеры менее  $5 \times 5 \text{ см}^2$ , то для них необходимо требовать минимальной освещенности в 100 люксов.

Помимо освещенности важно также удобное расположение выключателей в электромашинных помещениях, с тем чтобы поиски выключателей сами не стали бы причиной случайного прикосновения к токоведущим частям. Согласно Правил Эксплуатации, электрическое освещение рабочих помещений, содержащих эксплуатируемые электрические устройства, должно быть так устроено, чтобы выключатели находились на стене у каждого из выходов, внутри помещения. Особенно это относится к замкнутым электромашинным помещениям, которые до входа в них людей обыкновенно остаются темными.

Кроме основного освещения, необходимо также позаботиться об устройстве запасного освещения на случай аварий и прекращения действия основного источника электрической энергии. Особенное значение имеет это требование для электрических станций, в виду той громадной роли, которую играет работа станций для населения и промышленности города, а иногда

и целого района. В случае аварии на станции, быстрое исправление повреждений и пуск в ход станции возможны лишь при наличии хорошего запасного освещения. Запасные источники света необходимы на электрических станциях также в том случае, если имеются резервные агрегаты, так как в часы, когда работает только один агрегат, внезапное его повреждение или отключение лишает станцию света и следовательно затрудняет какую бы то ни было дальнейшую работу. Запасное освещение часто осуществляется на электрических станциях при помощи аккумуляторных батарей, а также переносных аккумуляторных фонарей. Кроме того, Правила Эксплуатации требуют для станций и других помещений с постоянным дежурным персоналом наличия закрытых фонарей со свечами и спичками, а также пожарных факелов, даже и в том случае, если имеются переносные аккумуляторные фонари. Таким образом устанавливаются два независимых друг от друга источника запасного освещения.

Замкнутые электромашинные помещения, которые не имеют постоянного дежурного персонала и в которых работы производятся сравнительно редко, могут не освещаться во время отсутствия людей. Однако, на случай порчи электрического освещения и в виду большой опасности, которую представляет пребывание в темном помещении с распределительным устройством, необходимо требовать, чтобы вход в такие помещения допускался лишь с надежным переносным источником света (переносным аккумуляторным фонарем и т. п.).

В заключение следует сказать несколько слов о содержании аккумуляторных помещений, которые характеризуются присутствием вредных для здоровья рабочих свинцовых паров и других ядовитых газов и жидкостей. Поэтому аккумуляторные помещения должны быть тщательно вентилируемы, особенно во время зарядки. Пролитая кислота должна быть как можно скорее сделана безвредной (нейтрализована). Еда, питье и куренье в аккумуляторных помещениях должны быть воспрещены. Для рабочих, занятых в аккумуляторных помещениях, должны иметься наготове противоядия, например, растворы щелочи и др.

### с. Общие меры безопасности при производстве электромонтажных работ.

Под электромонтажными работами здесь подразумеваются все работы по эксплуатации, ремонту и испытанию электрических установок. Работы по сооружению новых установок здесь не имеются в виду, так как при этих работах опасность поражения электрическим током обыкновенно не возникает. Далее здесь имеются в виду лишь те меры безопасности, которые связаны с поражениями от электричества; другие опасности, свойственные всякой производственной работе, как например, падения, ушибы, порезы от инструментов и т. д., нами не рассматриваются.

1. Устранение напряжения, выключение и включение электрических установок. Основная и наиболее важная мера безопасности при электромонтажных работах заключается в устранении напряжения в тех частях электрических установок, на которых производятся работы. Как указано дальше, на практике эта мера далеко не всегда может быть проведена, и поэтому общего запрещения о производстве работ под напряжением нет ни в наших Правилах, ни в каких либо из зарубежных. Однако, это не мешает рассматривать указанную меру как основную в деле защиты от поражений электрическим током, которую необходимо применять всегда, если только это не связано с эксплуатационными затруднениями. Подробнее о том, когда и при каких условиях можно допускать работы под напряжением, будет сказано ниже.

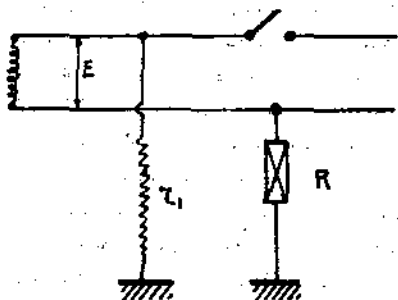
Для устранения напряжения прежде всего требуется отключить от источника тока те части электрической установки, где производится работа. Положение это не следует толковать ограничительно, понимая под частями электрической установки только те токоведущие части, над которыми непосредственно производится работа. Близлежащие, соседние токоведущие части представляют в отношении случайного прикосновения не меньшую, если даже не большую опасность, нежели части, служащие объектом работы, ибо на соседние части обыкновенно обращается меньше внимания. Поэтому необходимо требовать либо надежного ограждения, либо выключения соседних токов.

ведущих частей, к которым возможно случайное прикосновение; соседними частями следует считать те, которые расположены на расстоянии не меньшем длины руки от места работы.

Самый порядок выключения из сети частей установки перед началом работ должен быть строго регламентирован и соблюдается. Выключение участка, где должны производиться работы, может произойти лишь по распоряжению особо уполномоченного на это административного лица; никто, кроме этого уполномоченного, не имеет права давать распоряжение на включение и выключение. С своей стороны, производитель работ должен дать распоряжение о том, что данный участок выключен и что можно приступить к работе. Никим образом нельзя считать достаточным предварительный уговор между теми или иными инстанциями о времени, когда данный участок или линия будут выключены, и когда можно будет произвести работы. Приступ к работе на основании таких предварительных соглашений, без непосредственного получения распоряжения, нередко имел следствием несчастные случаи. Далее, необходима та или иная фиксация распоряжений, во избежание всяких недоразумений и пререканий. Лучше всего, если распоряжения получаются в письменной форме (когда уполномоченное на выключение лицо не находится на месте работы), но это может вызвать задержку в исполнении работ; поэтому допускается и отдача распоряжения по телефону, но непременно с обратной проверкой путем повторения данного распоряжения со стороны принявшего его.

Указанные правила относятся только к более или менее крупным работам ремонтного характера. Мелкие же эксплуатационные работы, как смена вставок предохранителей, подвинчивание гаек и зажимов, исправление щеток динамо-машин, зарядка патронов, работы по чистке и смазке и т. д., конечно, выполняются без отдачи каких либо распоряжений, по усмотрению низшего обслуживающего персонала. Во всех этих случаях приходится полагаться лишь на личную осторожность и предусмотрительность самих рабочих, которым должны быть однако даны соответствующие инструкции. Например, одной из наиболее частых причин несчастных случаев, в особенности ожогов, является смена предохранителей под током. В обычном случае,

когда на линии перед предохранителем имеется рубильник, необходимо всегда выключать его до смены вставок предохранителя; это простейшее правило безопасности, ни в какой мере не затрудняющее работы, а наоборот ее облегчающее, ибо с предохранителем после выключения тока можно манипулировать гораздо увереннее и быстрее, на практике, однако, часто не выполняется, просто по небрежности и легкомыслию. Помочь делу в подобных случаях может только инструктирование и напоминания при помощи надписей, плакатов и пр.



Фиг. 19. Схема прикосновения к токоведущим частям при однополюсном выключении.

Изыятие из вышеприведенного правила о порядке выключения частей установок допускается, опять таки в видах безопасности, при несчастных случаях с людьми, а также при авариях и пожарах, когда требуется экстренно принять те или иные меры помощи. В этих случаях, конечно, невозможно ждать распоряжений свыше, а наоборот, каждое лицо из обслуживающего персонала обязано быстро действовать и напр. немедленно выключить ту токоведущую часть, к которой прикоснулся пораженный ток человек.

Самое выключение данной части установки должно производиться на всех полюсах или фазах: при постоянном и однофазном токе необходимо двухполюсное отключение, а при трехфазном — трехполюсное. Таким образом требуется не только размыкание цепи, но полное отъединение всех токоведущих частей от точек питания. В противном случае, при прикосновении к тому полюсу или фазе, которые остались невыключенными, может произойти замыкание цепи через тело человека и землю, как показано на фиг. 19, где применены те же обозначения, что и на предыдущих фигурах в главе III. В виду сказанного необходимо всегда найти и выключить ближайший к месту работы двух-или трехполюсный рубильник, не довольствуясь выключением однопольного. Исключение из этого правила приходится

Изыятие из вышеприведенного правила о порядке выключения частей установок допускается, опять таки в видах безопасности, при несчастных случаях с людьми, а также при авариях и пожарах, когда требуется экстренно принять те или иные меры помощи. В этих случаях, конечно, невозможно ждать распоряжений свыше, а наоборот, каждое лицо из обслуживающего персонала обязано быстро дей-

делать для мелких приемников, напр. ламп, для которых применяются только однополюсные выключатели. Кроме выключения на всех полюсах или фазах необходимо позаботиться о том, чтобы данный участок был выключен всесторонне, т. е. во всех точках, откуда возможно получение напряжения. Особенное значение имеет эта мера для кабельных и воздушных сетей высокого напряжения, когда возможно обратное трансформирование низкого напряжения через рабочие и измерительные трансформаторы. Для устранения этой опасности необходимо выключить имеющиеся в данной установке трансформаторы также и со стороны низкого напряжения.

Во многих случаях даже полное отключение данной части установки не вполне предохраняет от присутствия напряжения. Действительно, при разветвленных сетях высокого напряжения может сохраниться остаточный заряд вследствие емкости сети или от атмосферного электричества; напряжение этого остаточного заряда сохраняется на токоведущих частях и после их всестороннего отключения и может служить причиной несчастного случая. Для устранения этой опасности необходимо при высоком напряжении, помимо выключения, еще отвести остаточный заряд в землю, т. е. заземлить ту часть установки, на которой производится работа. Заземлять следует все полюса или фазы сети, что будет равносильно также и короткому замыканию данной части установки.

Заземление и короткое замыкание необходимы также и для предупреждения опасности, связанной с ошибочным неполным выключением установки, а также с преждевременным обратным ее включением до окончания работ. Короткое замыкание нужно в этом случае для действия предохранителей или максимальных выключателей; для того же, чтобы ток прервался при этом на всех полюсах или фазах, и для сообщения всем токоведущим частям нулевого потенциала, необходимо их заземление.

Заземление и короткое замыкание следует производить по возможности на самом месте работы, т. е. заземлять и коротко замыкать нужно контакты и зажимы тех машин, приборов и других частей электрических установок, над которыми производится работа. Короткое замыкание и заземление выключателей,

трансформаторов и других приборов, присоединенных к той же сети, следует признать недостаточным, так как вследствие неисправностей в соединительных проводах короткое замыкание и заземление на самом месте работы может получиться при этом неполным.

Особенное внимание должно быть обращено на заземление и короткое замыкание воздушных линий, в виду значительной длины отдельных участков воздушной сети и возможности получения на них напряжения от атмосферных разрядов, а также от близлежащих работающих линий, вследствие индукции. При работах на воздушных сетях, помимо заземления и замыкания проводов на-коротко на месте работ, надлежит также производить заземление на всех тек концах выключенного участка, откуда возможно получение напряжения. Таким образом, при заземлении линии в нескольких местах можно надежно устранить возможность опасного повышения напряжения в любой точке выключенного участка. В присутствии же грозовых разрядов даже эти меры могут оказаться недостаточными, а потому во время грозы всякая работа на воздушных линиях должна быть прекращена.

Не меньшее значение имеет заземление и кабельных сетей, в виду значительных величин емкости, которою обладают такие сети. Перед началом работы на кабельных сетях должна быть произведена разрядка кабеля, с принятием при этом мер предосторожности, в виду большой величины зарядных токов. Но даже и после выключения и разрядки кабелей необходимо при кабельных работах соблюдать специальные меры предосторожности, применяющиеся вообще лишь при работах под напряжением. Например, при разрезании действовавшего ранее кабеля, необходимо пользоваться ножовкой с изолированной ручкой; кроме того рабочий должен надеть при этой работе очки и резиновые перчатки, с целью защиты глаз и рук от ожогов вследствие вольтовой дуги и разбрызгивания металла.

Самое заземление и короткое замыкание необходимо производить тщательно, причем для такого рода временных заземлений и коротких замыканий должны применяться проводники сечением не менее 10 мм<sup>2</sup>. Заземляющие проводники необходимо

присоединять к имеющимся поблизости другим заземленным частям, например металлическим мачтам воздушных линий, трубопроводам, заземленным корпусам машин и частей зданий и т. д.; в случае отсутствия поблизости таких надежно заземленных частей, необходимо устроить специальные заземлители в виде закопанных в землю пластин, стержней или отрезков труб. Подробнее об устройстве заземлений сказано в главе VII. Порядок работ при устройстве временных заземлений и коротких замыканий должен быть следующий: сперва надлежит присоединить к земле (заземленным частям или специальным заземлителям) вспомогательный провод, а затем уже при помощи изолирующей штанги или изолирующих щипцов наложить его на заземляемые провода, после чего произвести надежное соединение заземляющего и рабочих проводов путем их скрутки или свививания. Непосредственного соприкосновения с заземляемыми частями необходимо избегать в виду опасности прохождения через тело зарядного тока, а также потому, что очень большой ток короткого замыкания может сильно нагреть провода и причинить ожоги. Приборы для устройства временных заземлений и коротких замыканий воздушных линий, представляющих в этом отношении наибольшее затруднение, рассмотрены в главе IX.

После отключения данной части установки (а при высоком напряжении также и заземления и короткого замыкания), необходимо перед самым началом работ убедиться в отсутствии напряжения в той части установки, где должны производиться работы. Это необходимо как в виду возможной ошибки при выключении сети, так и в виду возможности всякого рода неисправностей в сети, неправильных соединений, коротких замыканий и пр. При более или менее крупных ремонтных работах испытание на отсутствие напряжения должно быть проделано производителем работ или другим ответственным за работы лицом. При мелких же эксплуатационных и ремонтных работах испытание производится самими рабочими, которые поэтому должны быть хорошо инструктированы относительно производства таких испытаний. Основное правило безопасности при этом заключается в полном воспрещении производства таких испытаний непосредственно пальцами руки, каковая операция не-



редко приводит к печальным последствиям (об этом уже говорилось выше). Испытания должны производиться исключительно при помощи специальных приборов, которыми рабочие должны быть снабжены в достаточном количестве. При низком напряжении для этих испытаний могут служить вольтметр или лампа, а при высоком напряжении — трубка Циппа, переносная ламповая батарея, телефон и др. указательные приборы. Эти приборы описаны дальше, в главе IX о защитных средствах, а потому сейчас мы на них не будем останавливаться.

Если после произведенного отключения данного участка приборы все же укажут на присутствие напряжения, необходимо вновь тщательно проверить, действительно ли выключен этот участок и не произошло ли по ошибке размыкание не того выключателя, который нужен. Если же ошибки нет, и выключение было сделано правильно, то присутствие напряжения укажет на неизвестное еще повреждение в сети, неисправное состояние выключателей, случайное присоединение проводов на данном участке к посторонним соседним проводам и т. д. Эти повреждения необходимо предварительно устранить, и только после того, как указательные приборы покажут отсутствие напряжения на данном участке, можно приступить к основной работе, которую нужно произвести.

Включение линий или частей установок в сеть после производства на них работ представляет с точки зрения безопасности труда особенно ответственную операцию. Преждевременное включение, до того, как рабочие удалились с места произведенной работы, может легко привести к тяжелым несчастным случаям, что на практике нередко и имело место. Поэтому порядок включения установок должен быть еще строже регламентирован и соблюдается, нежели порядок их выключения. Выключение в случае более или менее крупных работ может производиться только по распоряжению особо уполномоченного на то лица, причем, если это лицо не находится непосредственно на месте работы, то распоряжение должно быть дано либо в письменной форме, либо же по телефону, но обязательно с обратной проверкой путем повторения данного распоряжения со стороны принявшего его лица. Лицо, производящее включение или отдающее

распоряжение о таковом, должно предварительно тщательно проверить, что все соединения сделаны правильно, и временные заземления и замыкания на-коротко устроены. Кроме того необходимо вполне убедиться в том, что все рабочие удалились от места произведенной работы; последнее правило является наиболее важным с точки зрения безопасности труда. При включении больших участков сети, напр. целых фидеров, когда это включение производится непосредственно на станции дежурным электротехником, последний может включить линию после ремонта только после получения от производителя работ сообщения, что работы закончены, и люди с них сняты. Те же требования о порядке включения относятся и к первому приведению в действие вновь сооруженных частей электрических установок и вновь проложенных линий, но в этом случае заведывающий эксплуатацией или уполномоченное им лицо обязано кроме того, путем личного осмотра всей установки, а, если нужно, то и путем соответствующих испытаний, убедиться, что действие новых частей установки или нового оборудования не может вызвать опасности для обслуживающего персонала или для посторонних лиц.

В случае, если данные части установки были на время работ коротко замкнуты и заземлены (при высоком напряжении), необходимо соблюдать следующий порядок при снятии заземления и короткого замыкания до включения установки: необходимо сначала снять вспомогательный заземляющий проводник с проводов линии, а затем уже отделить его от заземленных частей или заземлителей. Таким образом в данном случае порядок действий должен быть обратным тому, который применяется при устройстве временных заземлений. После снятия заземлений должно быть строго воспрещено касаться подлежащих включению токоведущих частей.

Для предупреждения случайных включений до окончания работ должны быть повешены на все время производства работ специальные плакаты в местах, где возможно включение данной части установки; подробнее об этих плакатах будет сказано несколько дальше. Однако, несмотря на вышеуказанные меры административного порядка и на предупреждающие плакаты,

опасность случайных и ошибочных включений не может считаться окончательно устраненной; следует позаботиться о том, чтобы такие включения причинили как можно меньше вреда рабочим, что и достигается устройством заземлений и коротких замыканий.

2. Работы под напряжением. Выше уже было упомянуто, что общее и безусловное запрещение производства электромонтажных работ на практике невыполнимо. Действительно, современные условия электрифицированного производства таковы, что даже кратковременный перерыв в подаче тока может вызвать весьма большие убытки и внести длительное расстройство в производственных процессах. Помимо того перерыв тока, в частности для электрического освещения, может быть связан с возникновением опасности несчастных случаев для большого числа лиц, работающих в учреждениях и предприятиях, обслуживаемых данной линией или данной частью электрической установки. Особенно это относится к таким учреждениям как клубы, театры, кинематографы, в которых возможно появление паники при наступлении темноты. Наконец, бывают случаи, когда самые операции по выключению частей установок являются более сложными и опасными, чем производство требуемой работы; сюда относятся например такие работы, как установка оградительных стенок, междофазных перегородок, изолирующих настилов и пр. Таким образом приходится считаться с необходимостью производства работ под напряжением, однако же круг таких работ должен быть по возможности ограничен.

С точки зрения безопасности труда наиболее желательной явилась бы выработка подробных списков, указывающих какие работы и при каких условиях разрешается производить под напряжением. Таким путем можно было бы устранить возможность расширительного толкования правила о допущении работ под напряжением и, вообще, избежать недоразумений при проведении этого правила в жизнь. Для отдельных категорий электромонтажных работ можно такие списки и инструкции выработать, что на самом деле и производится теми или иными отделами или управлениями электротехнических предприятий.

В общем же виде эта задача является весьма трудной в виду чрезвычайного разнообразия как самих электромонтажных работ, так и условий их производства.

В виду сказанного, мы здесь ограничимся лишь указанием тех случаев, когда работы под напряжением не должны производиться, каковы бы ни были условия эксплуатации. Сюда относятся помещения сырые, особо сырые, с проводящей пылью, с едкими парами и опасные в пожарном отношении и по отношению к взрывам; в этих помещениях даже такие работы, как смена предохранительных вставок и замена ламп накаливания должны быть воспрещены под напряжением. Это запрещение мотивируется в одних случаях (помещения сырые, особо сырые, с проводящей пылью) повышенной опасностью электрических ударов при прикосновении к токоведущим частям, в других случаях (помещения, опасные в пожарном отношении и по отношению к взрывам) — повышенной пожарной опасностью от искр, появляющихся при размыкании цепей (напр. при смене плавких вставок под током).

Далее, необходимо ввести жесткие нормы для работ в установках очень высокого напряжения, выше 6000 V (для генераторных установок выше 6600 V). При этих напряжениях многие обычные защитные средства (галоши, рукавицы, настилы, половики) оказываются ненадежными, а потому можно разрешить под напряжением лишь определенные работы, производящиеся при помощи специальных приборов и инструментов. Сюда принадлежат: смена предохранительных вставок, включение и выключение разъединителей, испытательные и измерительные работы. Все же остальные работы под напряжением в рассматриваемых установках должны быть воспрещены.

Подобное же ограничение для работ под напряжением, т. е. запрещение каких бы то ни было работ за исключением смены предохранителей, включения и выключения разъединителей, испытательных и измерительных работ, должно быть распространено на все воздушные электрические сети, независимо от напряжения, если только работа не может производиться с земли или с особых площадок, вполне предохраняющих рабочих от падения с высоты. В обычных же условиях, когда работы

на воздушных сетях производятся со столбов и опор, всякое поражение электрическим током, даже само по себе незначительное, может вызвать падение рабочего с высоты и тяжелое увечье; поэтому и необходимо вводить такие строгие ограничения в отношении работ под напряжением на воздушных сетях.

Еще более строгие правила должны быть применены для работ на кабельных сетях, в виду большой опасности от зарядных токов. Как правило, все работы под напряжением над кабелями, при которых обнажаются токоведущие части, должны быть воспрещены, и даже на выключенных участках работы должны производиться с соблюдением известных правил предосторожности (см. выше).

Во всех других случаях кроме вышеуказанных, когда по условиям эксплуатации приходится работать под напряжением, необходимо соблюдать целый ряд предохранительных правил и мер, устраняющих или по крайней мере ослабляющих опасность поражения электрическим током. Эти меры отличаются друг от друга, в зависимости от того, происходят ли работы на установках низкого или высокого напряжения. Мы и рассмотрим их отдельно для того и другого случая.

При работах на низком напряжении необходимо соблюдать следующие требования. Инструменты, применяемые для работ под напряжением, должны иметь изолирующие рукоятки. Проведение в жизнь этого требования, т. е. снабжение рабочих надежными инструментами в достаточном количестве, является существенной мерой безопасности для эксплуатации электрических установок, и потому должно быть одной из главных задач органов и работников по охране труда в области борьбы с электротравматизмом. Обычным материалом для изолирующих рукояток является эбонит, который вполне надежен при низких напряжениях и в то же время является достаточно прочным материалом. Обкладка эбонитом рукояток инструментов (отверток, клещей, зубил и пр.) производится на заводе Красный Треугольник, и потому особых затруднений в снабжении рабочих подобными изолированными инструментами не должно быть. В отдельных случаях, для крупных инструментов, испытывающих при работе большие усилия, например для гаечных ключей, эбони-

товые рукоятки могут оказаться недостаточно прочными, и поэтому приходится довольствоваться обмоткой рукоятки в несколько слоев изоляционной лентой, которая однако при этом не должна быть слишком узкой (не уже 2 см).

При отсутствии инструментов с изолирующими рукоятками необходимо применять для работ под напряжением специальные защитные средства, именно изолирующие резиновые перчатки, рукавицы или галоши. То или иное средство должно быть выбрано в зависимости от местных условий и совершаемой работы, с тем, чтобы последняя могла быть произведена наиболее удобно и безопасно. О резиновых защитных средствах подробно изложено дальше, в главе IX.

Дальнейшие меры безопасности касаются условий изоляции работающих под напряжением от земли, от окружающих предметов и лиц. При работе на устройствах низкого напряжения, внутри сухого помещения, чистый деревянный пол, находящийся в исправности, может считаться достаточной изоляцией. Такой пол обыкновенно бывает в жилых и общественных помещениях, а также в некоторых мастерских, содержимых в порядке. В очень многих случаях, однако, таких условий нет, и необходимо принимать специальные меры для изоляции от земли. Сюда принадлежат работы в помещениях с черными деревянными полами, находящимися в плохом состоянии (щели, гвозди и т. д.), в помещениях с бетонными и каменными полами, в помещениях сырых, особо сырых, с проводящей пылью и едкими парами, и наконец, работы на открытом воздухе (на голой земле) или на металлических частях здания (на крыше или балках). Во всех этих случаях ноги рабочего находятся или в прямом соединении с землей, или же слабо от нее изолированы. Поэтому необходимо при работах под напряжением во всех таких случаях пользоваться изолирующей подкладкой или настилом, в виде резинового коврика, деревянной подставки или решетки. Эти подкладки должны быть во вполне исправном состоянии, без дыр, трещин и других изъянов, которые могут ослабить или даже совершенно уничтожить изоляционное действие настила. Подробнее об изолирующих подкладках, равно как и об инструментах с изолирующими рукоятками, сказано дальше, в главе IX.

Так как ток может пройти не только через ноги, но и через другие части тела человека, необходимо при работе под током тщательно избегать прикосновения к окружающим заземленным или вообще металлическим предметам, как-то: станинам машин, приборам, трубам, балкам. Если металлические части близко подходят к месту работы, так что трудно избежать возможности соприкосновения с ними, необходимо либо их убрать или отодвинуть, либо же, если это невозможно, закрыть или загородить их какой-нибудь изолирующей частью. В зависимости от формы и расположения металлических частей здесь можно применить деревянный щит, ограждающую стенку, либо же покрытие в виде изолирующего коврика, вполне сухого куса ткани или части одежды.

Кроме того рабочий, во время работ под напряжением, не должен прикасаться к лицам, стоящим неизолированно, в видах предупреждения опасности поражения током как самого рабочего, так и окружающих лиц. Если электромонтер, стоящий изолированно, должен получать инструменты и материалы от своих подручных, стоящих прямо на проводящем полу или на земле, он каждый раз для этого должен прекращать работу и сходить с изолирующей подкладки.

Никакая, однако, изоляция ног и других частей тела не может устранить прохождения тока через тело, если рабочий коснется одновременно разных полюсов или фаз. Необходимо, поэтому, всячески избегать возможности такого прикосновения. Приступая к работе, трудно иногда разобрать, какие контакты-зажимы и провода принадлежат разноименным и какие одинаковым полюсам или фазам. Поэтому, если на этот счет имеются сомнения, следует в начале работы вообще избегать одновременного прикосновения к каким бы то ни было контактам или зажимам электрических машин, приборов и распределительных устройств, а также к разным неизолированным проводам. И только рассмотрев внимательно установку и познакоившись с электрической схемой, можно в таких случаях с уверенностью определить, где и как выведены полюса или фазы, а следовательно — к каким зажимам и проводам можно одновременно прикасаться и к каким нельзя.

Переходя к работам под напряжением на электрических установках высокого напряжения, следует сказать, что за исключением простейших работ, исполняемых при помощи специальных инструментов (см. ниже), такие работы принадлежат к числу весьма опасных, и к ним можно прибегать лишь в случаях действительной необходимости. На эти работы должны допускаться лишь квалифицированные, хорошо инструктированные рабочие, и притом подвергшиеся известному отбору. Действительно, при этих работах необходимо напрягать все внимание и всецело сосредоточиться на совершаемой работе, не отвлекаясь посторонними предметами и явлениями. Какая-нибудь неосторожность, небрежность или оплошность при работе может привести к тяжелым последствиям. Люди, неспособные к такому усилию воли, обладающие слабыми нервами, к работам под током при высоком напряжении допускаться не должны.

Существеннейшая мера безопасности для работ под напряжением на установках высокого напряжения состоит в том, что эти работы могут допускаться только под постоянным надзором заведующего эксплуатацией, производителя работ или другого особо уполномоченного на то лица. До прибытия такого лица на место вообще не следует приступать к работе. Перед тем, как приступить к работе, ответственное лицо должно внимательно осмотреть установку и дать рабочим подробные указания относительно того, как производить работу и как предохранить себя от несчастного случая. Весьма важно иметь также подробные печатные инструкции для производства таких работ, которым должны следовать как руководители работ, так и рабочие.

Далее, работы под током при высоком напряжении должны производиться только группой рабочих (не менее двух), а никак не в одиночку, с тем, чтобы один из них мог подать другому помощь при несчастном случае. Это правило является, между прочим, естественным развитием упомянутого выше правила о недопущении входа в одиночку в помещения высокого напряжения.

Основной мерой безопасности при работах под напряжением на установках высокого напряжения (так же как и низкого)



является обязательное применение инструментов с изолированными рукоятками. В данном случае, однако, это правило имеет особое значение, отличное от такового же для низкого напряжения. В то время как при низком напряжении обычный изолирующий материал, например, эбонит, является достаточным, и никаких специальных конструкций инструментов при наличии изолирующих рукояток не требуется, для высокого напряжения, как правило, требуются специальные инструменты, с рукоятками или изолирующими частями из фарфора, бакелита и пр., соответственным образом рассчитанными и испытанными в зависимости от применяемого напряжения. Кроме того и размеры этих инструментов должны быть таковы, чтобы рабочий мог оставаться в более или менее значительном отдалении от токоведущих частей высокого напряжения, не подвергаясь опасности случайного прикосновения свободной рукой или какой-либо другой частью тела. Наибольшее значение среди таких инструментов имеют изолирующие штанги для включения и выключения разъединителей и для некоторых других работ, а также изолирующие клещи для постановки и снятия вставок предохранителей. Подробное описание этих инструментов, вместе с данными о их применении и испытании, приведено в главе IX.

Указанные специальные инструменты могут быть применены только для операций, часто повторяемых и типичных для эксплуатации электрических установок. При более или менее крупных ремонтах приходится, однако, совершать целый ряд операций индивидуального характера, для которых трудно предусмотреть соответствующие, надежно изолированные инструменты. В особенности это относится к тем работам, которые связаны с применением значительных усилий, слишком больших для таких изолирующих материалов, как фарфор или бакелит. Вот почему приходится допускать работу и без указанных специальных инструментов. Но в этом случае совершенно необходимо применение других изолирующих защитных средств. Защитные резиновые изделия при высоком напряжении не могут быть признаны достаточными, так как резина чувствительна к влиянию температуры и влажности, а также подвержена механическим повреждениям, в виде порезов, проколов, трещин и пр.; все эти хими-

ческие и механические воздействия могут уничтожить или сильно ослабить изоляционные свойства резиновых изделий. Поэтому в качестве изолирующих защитных средств при высоком напряжении могут быть применены только специальные деревянные подставки на фарфоровых изоляторах, о которых подробно изложено в главе IX. Резиновые же перчатки, рукавицы и галоши следует применять при высоком напряжении в качестве дополнительной меры защиты.

Все указанные изолирующие защитные средства, однако, не могут быть признаны надежными при очень высоких напряжениях — выше 6000 V (или выше 6600 V на генераторных установках). Поэтому, при напряжениях выше 6000 V могут быть разрешены, как уже сказано выше, лишь очень немногие работы, производимые при помощи специальных упомянутых выше инструментов, именно: смена вставок предохранителей, включение и выключение разъединителей, испытательные и измерительные работы. Последние работы (испытательные и измерительные) могут быть допущены главным образом потому, что они выполняются как правило высоко квалифицированным персоналом, от которого можно ожидать соблюдения всех необходимых мер предосторожности.

В отношении прикосновения к лицам, стоящим неизолированно, и к соседним заземленным предметам, а также одновременного прикосновения к разноименным полюсам или фазам, при работах на высоком напряжении должны быть, конечно, в силе те же правила, что и на низком. В данном случае, в виду повышенной опасности, воспрещение какого либо из указанных прикосновений должно выполняться еще гораздо строже, чем при низком напряжении; за выполнением этих правил должно следить особо уполномоченное лицо, под надзором которого производятся работы на установках высокого напряжения. Это же уполномоченное лицо должно следить за исправным состоянием всех защитных средств и приспособлений, применяемых при работах под напряжением.

Помимо работ, производимых непосредственно под напряжением, т. е. над невыключенными токоведущими частями, опасными являются также работы над частями, которые хотя сами

и выключены, но находятся в непосредственной близости от других, невыключенных токоведущих частей высокого напряжения. При таких работах с одной стороны возможны случайные прикосновения рабочих к соседним токоведущим частям, с другой же стороны на выключенных частях может появиться напряжение, как вследствие случайных прикосновений проводов между собой, так и вследствие индуктивной связи. Самой надежной мерой безопасности является в данном случае выключение соседних частей высокого напряжения. Этого, действительно, следует требовать в особо неблагоприятных случаях, именно для воздушных сетей, в которых следует особенно считаться с возможностью как непосредственного прикосновения между собой проводов, принадлежащих различным электрическим системам, так и индуктивного влияния одних проводов на другие. Поэтому, как общее правило, работы на проводах слабого тока, на выключенных проводах сильного тока, постановка опор и другие работы в опасной близости от проводов высокого напряжения, допускаются лишь тогда, если провода высокого напряжения выключены, заземлены и замкнуты на-коротко.

Вообще же говоря, выключение частей электрических установок, особенно тех, на которых работы непосредственно не производятся, далеко не всегда выполнимо по условиям эксплуатации. В таких случаях необходимо позаботиться прежде всего о надежном ограждении соседних токоведущих частей высокого напряжения, с тем, чтобы была исключена возможность случайного прикосновения к ним рабочих. Для этого служат предохранительные щиты, перегородки, решетки, иногда резиновые коврики и подкладки; все эти приспособления должны быть надежно установлены прикреплены, с тем, чтобы при работе они не могли случайно упасть и обнажить соседние токоведущие части. Кроме того следует, в случае необходимости, позаботиться о предупреждении прикосновения между собой проводов разных систем.

Однако, во многих случаях надежное ограждение соседних токоведущих частей невыполнимо, например, на распределительных щитах и других устройствах, где зажимы и провода, принадлежащие различным системам, могут быть расположены рядом или даже попеременно. В таких случаях, если нельзя выключить

чить соседние части высокого напряжения, необходимо при работе над частями, хотя бы и выключенными, принимать все те вышеописанные меры предосторожности, которые необходимы для работ под напряжением на установках высокого напряжения (особый надзор, применение специальных защитных средств и т. д.).

Необходимо также учесть случаи строительных, механических и всяких других неэлектротехнических работ, производимых неэлектротехническим персоналом вблизи невыключенных частей высокого напряжения. Опасность поражения электрическим током в таких случаях весьма повышается в виду полного незнания рабочих с электрическими установками и с условиями безопасности при их обслуживании. Поэтому такие работы могут быть допущены лишь в том случае, если путем соответствующих ограждений совершенно исключена всякая возможность прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям. При неуверенности в полной надежности оградительных мер и устройств необходимо выключить данную установку. Защитные инструменты, изолирующие подставки, галоши, перчатки и рукавицы для таких работ, вообще говоря, неприменимы.

#### **д. Меры для привлечения внимания к токоведущим частям и для облегчения их распознавания.**

1. Предостерегающие плакаты В целях привлечения внимания к опасности, представляемой токоведущими частями, в электрических установках широко применяются предостерегающие плакаты и надписи. Как уже было упомянуто выше, в отличие от других источников опасности в производственной обстановке, наличие электрического напряжения никак не воспринимается органами чувств человека, пока ток не пройдет через тело. Поэтому, более чем в какой либо другой области техники безопасности, здесь необходимы специальные меры для предостережения от опасности приближения и прикосновения к токоведущим частям. Для усиления эффекта уже издавна, с начала развития электрических установок сильного тока, стали прибегать к предостерегающим плакатам, изображающим эмблемы смерти в виде черепа или скелета. Такие плакаты, образцы которых изображены на фиг. 20, стали как бы специальной при-

надлежностью электрических установок. Нужно однако сказать, что подобными плакатами отнюдь не следует злоупотреблять, ибо в противном случае, при их слишком большом распространении, психологический эффект в значительной степени ослабляется. Поэтому их следует ставить лишь в местах, представляющих особую опасность прикосновения к токоведущим частям высокого напряжения; в остальных же случаях можно ограничиться предостерегающими надписями или плакатами без



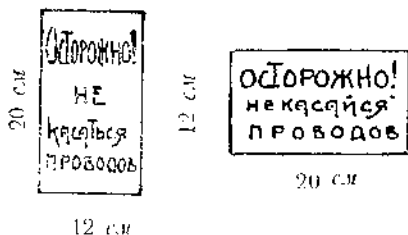
Фиг. 20. Предостерегающие плакаты с изображением черепов.

эмблем смерти. Размеры плакатов должны быть не менее 20 × 10 см, при меньших размерах они могут остаться незаметными.

В установках низкого напряжения плакаты следует ставить в местах производства работ, вблизи проводов и других токоведущих частей; эти плакаты должны предупреждать об опасности прикосновения рабочих, главным образом неэлектротехников, например, кровельщиков, маляров, плотников и др. В особенности эти плакаты необходимы там, где даже легкое поражение электрическим током может быть опасным вследствие возможности падения с высоты, напр., с крыши здания. Далее, постановка плакатов необходима на столбах и мачтах воздушных

линий в населенных местностях, при перекрещивании линиями дорог, проездов, телефонных и телеграфных проводов. Наконец, плакаты следует ставить около токоведущих частей в помещениях, особо неблагоприятных с точки зрения опасности поражения электрическим током, напр., в помещениях особо сырых; в таких помещениях следует помещать плакаты около электрических машин, распределительных устройств, доступно расположенных проводов и пр.

Во всех перечисленных выше случаях на установках низкого напряжения плакаты могут иметь вид простых надписей, вроде следующих: „Осторожно!“, „Не касаться проводов!“ и т. п. Подобные плакаты, с указанием подходящих размеров, показаны на фиг. 21. Надписи должны быть сделаны черной краской на белом фоне, с тем, чтобы они легко могли бросаться в глаза. Сам плакат должен быть сделан из материала, соответствующего месту помещения плаката, напр., из толстого картона в закрытых помещениях, из дерева или жести — на открытом воздухе.



Фиг. 21. Предостерегающие плакаты для установок низкого напряжения.

Гораздо большее значение и применение имеют предостерегающие плакаты для установок высокого напряжения. В помещениях высокого напряжения такие плакаты должны иметься в достаточном количестве и так размещены, чтобы они были видны, по возможности, с любого пункта. Таким образом, уже при входе в такие помещения каждый человек должен получить напоминание о наличии опасности от электрического тока и о необходимости быть осторожным. Кроме того, в случае наличия открытых токоведущих частей на доступной высоте (машины, трансформаторы, распределительные щиты, голые провода), около этих частей должны быть повешены плакаты, предостерегающие от прикосновения к этим частям. Эти плакаты должны быть и в том случае, когда машина или прибор имеют ограждение в виде барьера, решетки и т. п., не могущее служить серьезным препятствием для приближения человека к токо-

ведущим частям. Плакаты должны быть также повешены на дверцах трансформаторных и распределительных колонок (киосков), запираемых на ключ.

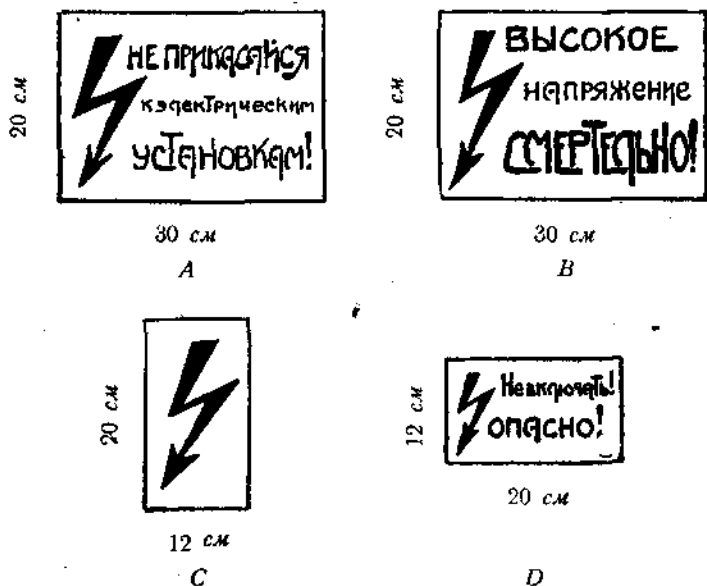
Особенное внимание должно быть обращено на провода и линии высокого напряжения, опасность прикосновения к которым не ограничивается сравнительно узким кругом обслуживающего персонала, а распространяется и на посторонних электрической установке лиц. Если провода находятся в помещениях на доступной высоте, то хотя бы они были снабжены защитным покрытием, все же на этих покрытиях должны быть установлены предостерегающие плакаты, во избежание опасности при случайном удалении или повреждении этих покрытий. Для наружной проводки установлено правило о снабжении предостерегающими плакатами или знаками в виде красной молниеобразной стрелы всех столбов и защитных покрытий в случае, если напряжение превосходит 750 V (т.е. при „высоком напряжении“ в смысле приведенной в главе IV классификации). Опоры и мачты высоковольтных воздушных линий должны снабжаться такими знаками независимо от того, деревянные ли они, или железные, заземлены ли они, или не заземлены. Плакаты эти не только предостерегают от ненужных прикосновений к опорам, но служат также указанием на то, что провода находятся под высоким напряжением и что прикосновение к ним жизнеопасно. Такое указание является необходимым для того, чтобы предупредить умышленное влезание на опоры, закидывание веревок и т. п. Предостерегающие плакаты должны быть прочно укреплены к столбам или мачтам на недоступной, но удобной для чтения высоте, не реже, как через два столба, а при пролетах более 100 м — на каждом столбе.

Отличительной чертой предостерегающих плакатов при высоком напряжении является молниеобразная стрела или молния специального начертания, являющаяся символом высокого напряжения, принятым в большинстве стран. Размеры и конфигурацию этого знака высокого напряжения предполагается у нас в ближайшее время нормировать<sup>1)</sup>. Распространение знака мол-

<sup>1)</sup> См. Проект стандарта для знака высокого напряжения. „Электричество“. 1930, № 11—12.

нии на установки низкого напряжения следует признать нежелательным, ибо в таком случае он будет производить, несомненно, меньшее впечатление. Кроме знака молнии, плакаты могут иметь следующие надписи: „Не трогать — смертельно!“, „Высокое напряжение, опасно для жизни!“ и т. п.

Примеры плакатов, применяющихся при высоком напряжении, с указанием наиболее подходящих размеров, изображены на фиг. 22. Плакат типа А является предостережением общего



Фиг. 22. Предостерегающие плакаты для установок высокого напряжения.

характера, с целью напоминания об опасностях, представляемых установками высокого напряжения. Кроме того плакат должен предостеречь посторонних лиц от всяких действий и операций с частями электрических установок, подлежащих обслуживанию лишь специальным персоналом. Такой плакат помещается на видном и открытом месте, с тем, чтобы его могли видеть наибольшее число людей; он может быть повешен у входных дверей или на стене электромашиного помещения, у ворот электрической станции и т. п.



Плакат типа В служит для предостережения от прикосновения к определенной токоведущей части высокого напряжения, около которой он и устанавливается; так, он помещается около отдельных машин и приборов высокого напряжения, распределительных щитов, на внутренней стороне дверей трансформаторных колонок, на опорах воздушных линий в местах пересечений с дорогами, проездами, телефонными и телеграфными проводами.

Наконец, плакат типа С, с одной только молниеобразной стрелой, предназначен для установки на мачтах и столбах воздушных линий (кроме мест пересечений), кронштейнах и траверзах наружной проводки, а также на защитных покрытиях проводов высокого напряжения.

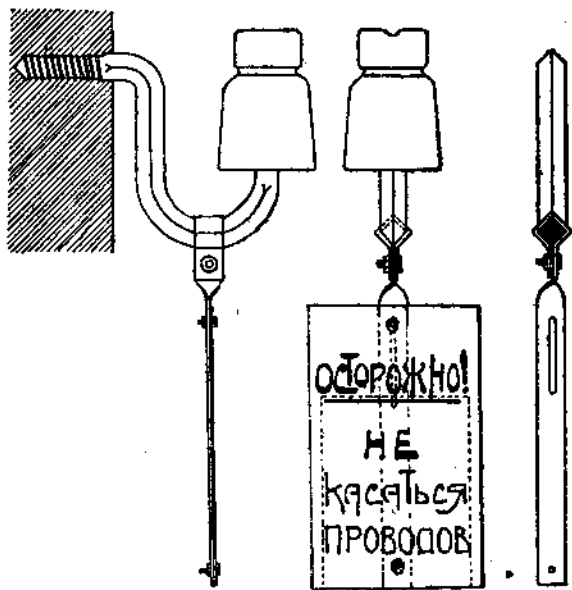
В особенно опасных местах, как напр., в проходах у распределительных устройств высокого напряжения, где имеется много открытых токоведущих частей, следует устанавливать плакаты с эмблемами смерти, о которых говорилось выше (фиг. 20).

Все надписи на плакатах должны быть черными на белом фоне, знак же молнии должен быть всегда ярко красного цвета. Сами плакаты в установках высокого напряжения должны быть из вполне прочного материала, хорошо сопротивляющегося всяким атмосферным воздействиям. Кроме того надписи и знаки на плакатах не должны стираться или расплываться под влиянием влаги, сырости и пр. Материалом, удовлетворяющим всем требованиям, является жест, покрытая лаком. В случае применения тонкой лакированной жести желательно иметь знаки и надписи рельефными, выдавленными в жести. На толстых жестяных досках с эмалированными надписями, этот рельеф не выполним, да он и не нужен, ибо подобные надписи и изображения являются очень прочными и устойчивыми. Независимо от того, из какого материала сделаны плакаты, они должны всегда поддерживаться в чистоте, так как пыль и грязь, осевшие на плакат, могут сделать его тусклым и незаметным.

Самое укрепление или навешивание плакатов не вызывает никаких затруднений, если представляющая опасность часть достаточно велика или достаточно выдается среди окружающих предметов. Иногда же требуется выделить некоторые

провода или части среди других, например, провода сильного тока среди проводов слабого тока и т. п. Для того, чтобы было вполне ясно, к каким проводам относится предостережение, плакаты следует навешивать по возможности ближе к данным проводам, лучше всего на самые провода или их изоляторы. На фиг. 23 показано простое приспособление в виде хомута из железной полосы для навешивания плаката на изоляционный крюк; железная полоска настолько тонка, что плакат может быть повернут и поставлен в любом положении, так чтобы он мог быть виден с того места, где находятся рабочие.

Особо следует упомянуть о предостерегающих плакатах, устанавливаемых на время производства работ на выключенных частях установки. Эти плакаты имеют целью предупредить случайное включение той линии или части



Фиг. 23. Способ навешивания плаката на изоляционный крюк.

установки, на которой производится работа. Надписи на таких временных плакатах, вывешиваемых на соответствующих аппаратах включения, должны быть следующие: „Не включать!“, „На линии производится ремонт“ и т. п. (фиг. 22, тип D). В частности, в случае ремонта электродвигателей, на устройствах для их включения должен быть вывешен плакат с надписью: „Не пускать, в ремонте“. Все указанные плакаты необходимо при высоком напряжении снабжать красным молниевидным знаком обычной формы. Относи-

тельно размеров плакатов, материала, способа выполнения, можно повторить все то, что было сказано выше о постоянных плакатах. Порядок установки плакатов перед началом работ, так же, как и их снятия после окончания работ, должен быть регламентирован; эти операции должны производиться по распоряжению производителя работ или другого уполномоченного лица и входят в общую описанную выше процедуру выключения и включения установок для электромонтажных работ.

2. Электрические схемы. Помимо мер для предостережения об опасности поражения электрическим током, немалое значение имеют также меры, служащие для облегчения распознавания токоведущих частей, зажимов, проводов и пр. Сюда принадлежат в первую очередь электрические схемы установок, главным образом распределительных устройств. Нет надобности распространяться о том, какую помощь может оказать наглядно изображенная и удобно помещенная схема при всякого рода электромонтажных работах. В особенности это относится к работам под напряжением, когда важно в целях безопасности быстро определить, как и где выведены разные полюса или фазы, с тем, чтобы можно было принять меры предосторожности против одновременного прикосновения к разноименным полюсам и фазам. Далее, наличие схем сильно облегчает правильное выключение тех или иных участков цепи, как для производства работ, так, в особенности, в экстренных случаях, при авариях и поражениях электрическим током. В таких случаях, требующих особой быстроты действия, даже лица, вообще говоря хорошо знакомые с установкой, могут растеряться и не вспомнить сразу, как выключить данный участок; электрическая схема может помочь быстро ориентироваться и произвести уверенно необходимые операции.

Для выполнения своего назначения схемы должны поддерживаться в исправном состоянии, как по своему содержанию, так и в отношении внешнего вида. Во время эксплуатации электрических установок очень часто производятся те или иные изменения в электрических соединениях, в связи, например, с расширением установки. Все такого рода изменения должны обязательно вноситься в схему, ибо в противном случае схема

может только запутать электротехника и вместо пользы принести серьезный вред. В отношении внешнего вида схемы должны поддерживаться в чистоте и порядке, с тем, чтобы все линии были ясно различимы и не могло произойти ошибок при пользовании схемой. Что касается системы обозначений на схемах, то она должна быть как можно более простой и ясной; лучше всего для этого пользоваться стандартными обозначениями, разработанными ЦЭС'ом.<sup>1)</sup>

Электрические схемы следует вывешивать на видных местах, около соответствующих распределительных устройств, щитов, панелей и ящиков. В случае трансформаторных колонок (киосков), находящихся на открытом воздухе, схему необходимо помещать на задней стороне двери; в этой схеме должны быть показаны электрические соединения между данным распределительным пунктом и сетью, включая все аппараты и приборы, управляемые с данного пункта. Электрическими схемами должны также снабжаться и все двигатели, управляемые контроллерами, пусковыми автоматами и т. п. более или менее сложными приборами. При инструктировании по обслуживанию электрических установок, следует как можно больше пользоваться вывешенными схемами, с тем, чтобы персонал хорошо освоился с этими схемами и мог ими пользоваться достаточно быстро и уверенно.

3. Маркировка и окраска. Более наглядным средством распознавания, нежели схемы, являются обозначения и маркировка самих токоведущих частей.

Маркировке подлежат главным образом распределительные устройства, которые должны быть снабжены надписями, разъясняющими назначение присоединенных проводов, с относящимися к ним выключателями, предохранителями, измерительными приборами и пр. Вместо надписей может быть применено обозначение электрических цепей номерами или буквами, однако, при условии, чтобы эти условные обозначения могли быть легко расшифрованы при помощи таблицы, помещенной на видном месте.

Особое значение имеет маркировка распределительных устройств, предназначенных для токов различного рода и напря-

<sup>1)</sup> См. "Условные графические обозначения для электрических схем". Издание Центрального Электротехнического Совета, 1930.

жения. Как общее правило, каждая система тока и напряжения должна иметь свою отдельную панель, щит или секцию распределительного устройства, соответствующим образом обозначенную. Иногда, однако, общее расположение на одном и том же щите приборов, относящихся к разным системам, является целесообразным с точки зрения удобства управления, например, общее расположение приборов главной цепи и цепи возбуждения генераторов. В таких случаях необходимо принять меры к легкому распознаванию частей, относящихся к токам различного рода и напряжения, при помощи ясных и четких обозначений.

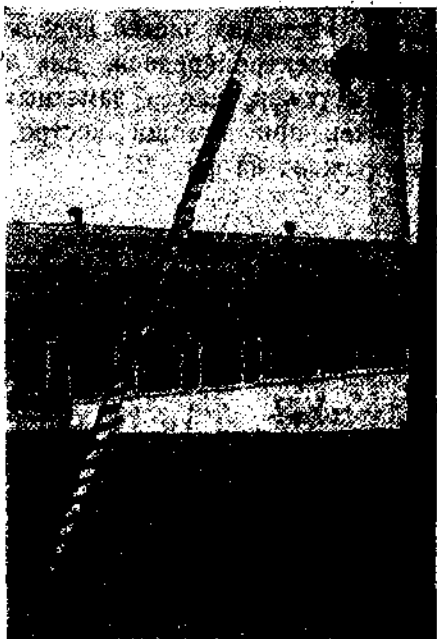
Весьма важным является маркировка положений выключателей, т.е. положений выключения и включения. Согласно наших правил безопасности, все выключатели высокого напряжения должны иметь подобные обозначения. Это требование основано на том, что контакты выключателей высокого напряжения во время работы недоступны для наблюдения, ибо они заключены обыкновенно в кожухи или же смонтированы за распределительным щитом. Поэтому для уверенного и точного управления необходимо, чтобы передаточный механизм был снабжен обозначениями, которые давали бы возможность отличить положения включения и выключения, а кроме того позволяли бы убедиться в том, что процесс включения или выключения доведен до конца и что контакты выключателя не находятся в промежуточном положении. Обыкновенно, кроме надписей и обозначений масляные выключатели снабжаются еще световой сигнализацией, указывающей на включение и выключение масла как при нормальной эксплуатации, так в особенности при автоматическом выключении, вызванном какой-либо аварией.

В настоящее время в закрытые кожухи и ящики помещаются не только выключатели высокого напряжения, но и выключатели (рубильники) низкого напряжения, и подобная закрытая аппаратура находит себе широчайшее распространение в мастерских (см. главу VI, раздел с). Для всех таких закрытых выключателей следует требовать помещения около рукоятки обозначений положений включения и выключения.

Кроме маркировки путем надписей и обозначений, в электрических установках применяется также маркировка посредством

окраски самих токоведущих частей. Этот прием особенно целесообразен для голых проводов и шин, входящих в распределительные устройства, в целях легкого распознавания полюсов и фаз, что имеет большое значение, как в эксплуатации, так и при монтаже установки, ибо облегчает возможность проследить ход проводов, предотвращает ошибки при сборке и т. д. Особое значение с точки зрения безопасности имеет легкая распознаваемость заземленных проводов и шин, в целях более надежного и удобного устройства заземлений (см. главу VII, раздел г). Для окраски проводов должна быть принята единая система, в противном случае возможны недоразумения и ошибки, и вместо пользы окраска может принести даже вред.

У нас, по примеру Германии, приняты следующие цвета для окраски голых проводов и шин<sup>1)</sup>. Рабочие провода постоянного тока окрашиваются в красный цвет (положительный полюс) и в синий цвет (отрицательный полюс). Рабочие провода трехфазного тока окрашиваются в желтый, светлозеленый и фиолетовый цвет, провода однофазного тока — в желтый и фиолетовый цвет. Заземленные провода закрашиваются белым, серым или черным цветом с нанесением светлозеленых полосок. Выбор основного цвета производится по местным условиям, с тем, чтобы провода были отчетливо видны на окружающем фоне стен, обшивки и пр.



фиг. 24. Маркировка оттяжки.

<sup>1)</sup> См. Стандарт для отличительной окраски голых проводов и шин. „Электричество“, 1930, № 10.

В один из тех же цветов (белый, серый или черный) окрашиваются и нулевые, не заземленные провода, а также уравнивательные шины, но с нанесением красных, а не светлозеленых полосок. Последние являются таким образом отличительной чертой заземленных проводов.

В заключение следует упомянуть о случаях маркировки частей электрических установок, не находящихся под напряжением. Из таких частей нередко маркируются оттяжки столбов линий электропередачи, для облегчения объезда или обхода этих оттяжек, плохо заметных издали. Подобная маркировка оттяжек при помощи пестро окрашенной деревянной трубки изображена на фиг. 24.

---

## ГЛАВА VI.

### ЗАЩИТА ОТ ПРИКОСНОВЕНИЯ К ТОКОВЕДУЩИМ ЧАСТЯМ И ИХ ОГРАЖДЕНИЕ.

#### а. Общие положения.

Главнейшими и основными мерами безопасности при обслуживании электрических установок являются меры защиты от прикосновения к токоведущим частям. В широком смысле этого слова эти меры обнимают и инструктирование, и правила ведения работ, и предостерегающие надписи и плакаты, т. е. значительную часть всех тех мер, которым была посвящена предыдущая глава. В настоящей же главе будут рассматриваться лишь чисто технические меры защиты, а именно: расположение токоведущих частей в недоступных местах, изоляция и ограждения частей, а также конструкции электрических приборов, предохраняющие от прикосновения к токоведущим частям, когда последние находятся под напряжением.

Помимо защиты от прикосновения к токоведущим частям, применяемые в электротехнике меры ограждения имеют также большое значение в смысле защиты от ожогов вследствие искр, вольтовых дуг и брызг расплавленного металла, образующихся при размыкании электрических цепей. Обычно ограждение и предохранительные покрытия электрических приборов выполняют одновременно обе функции, которые и должны быть рассмотрены совместно <sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> К этим двум функциям часто присоединяется и третья, именно предохранение от пожарной опасности вследствие распространения искр, появляющихся на машинах и приборах.



Согласно основным правилам безопасности электротехнических сооружений, для установок с напряжением до 40 вольт, т. е. для установок очень низкого напряжения, никаких особенных мер защиты от прикосновений к токоведущим частям вообще не требуется.

Для прочих установок низкого напряжения (т. е. выше 40 вольт) требуется, чтобы были приняты меры против случайного прикосновения к расположенным на доступной высоте и непокрытым изоляцией (голым) токоведущим частям, находящимся под напряжением по отношению к земле.

Для установок высокого напряжения требуется, чтобы все токоведущие части, как голые, так и изолированные, находящиеся под напряжением по отношению к земле, были сделаны недоступными для прикосновения.

Первое правило, о необязательности ограждения токоведущих частей при напряжении ниже 40 V, вполне согласуется со всем тем, что было сказано в главе IV о классификации напряжений, и не нуждается в дальнейших комментариях. Нужно, однако, сказать, что в особо опасных случаях, напр., при работе с переносными лампами, внутри котлов, баков и цистерн, желательно дальнейшее понижение напряжения, до величины не свыше 24 V, как это устанавливается в наших правилах безопасности (см. главу VIII).

Для установок низкого напряжения (выше 40 вольт) требуется защита от случайных прикосновений токоведущих частей, возможных при обслуживании частей электрических устройств. Но это не относится к умышленным прикосновениям, т. е. к таким прикосновениям, которые возможны в результате особых действий либо над самими электрическими приборами, проводами и пр., либо же по отношению к устройствам для их ограждения. Если, например, имеется барьер, ограждающий те или иные приборы с обнаженными токоведущими частями, то этот барьер должен предохранять от прикосновения во время прохождения мимо данных приборов, при случайных движениях руки, при падении и т. п., но барьер не должен обязательно предохранять от возможности подлезания или перелезания через него, в целях приближения и прикосновения к токоведущим частям. Другой

пример представляют электрические приборы, которые при нормальных условиях эксплуатации, в своем рабочем положении, не имеют открытых неизолированных токоведущих частей, но в которых эти части легко могут быть обнажены при известных манипуляциях с этими приборами. Сюда относятся такие распространенные части, как ламповые патроны и пробочные предохранители; в нормальных условиях токоведущие части (нарезка предохранителя или патрона) закрыты соответствующей пробкой или лампой, но если последние вывинтить, то токоведущие части обнажаются. От требования о безусловном ограждении токоведущих частей от прикосновений, как случайных, так и умышленных, приходится отказаться, ибо такое требование привело бы во многих случаях к значительному усложнению и удорожанию электрических устройств и поставило бы серьезное препятствие для развития потребления электрической энергии.

Нужно, однако, сказать, что в последнее время замечается тенденция к усилению требований в отношении защиты от прикосновения для установок низкого напряжения, в особенности для приборов широкого пользования. Например, в применении к ламповым патронам, эта тенденция вызвала появление целого ряда „безопасных“ патронов, в которых устранена или по крайней мере сильно уменьшена опасность не только случайных, но и умышленных прикосновений (см. раздел е настоящей главы). Вообще, современная техника безопасности ставит себе целью сделать электрические приборы безопасными даже при неумелом обращении с ними (за исключением тех установок, которые обслуживаются квалифицированным электротехническим персоналом).

Во всех случаях, когда токоведущие части покрыты изоляцией, при низком напряжении не требуется особых мер защиты. Нужно, однако, сказать, что для защиты от опасности прикосновения изоляция должна быть во вполне исправном состоянии; в противном случае изоляция может не только не устранить, но еще сильно увеличить опасность прикосновения, ибо она скрывает токоведущую часть и делает незаметным источник опасности. Так например, повреждение изоляции электрического проводника, если оно находится не в месте укрепления проводника, может быть совершенно безвредным в смысле замыкания на

землю или утечки тока; и в то же время это повреждение может оказаться причиной случайного прикосновения к токоведущей части проводника, и как результат, несчастного случая. Следует еще отметить, что чем меньше по занимаемой площади подобное повреждение (оголение проводника), тем по существу оно может быть опаснее, вследствие своей незаметности. Вот почему обычное эксплуатационное требование о поддержании изоляции установки в полной исправности и о периодическом контроле состояния изоляции приобретает особое значение с точки зрения безопасности. Что касается рода и материала изоляции, то всякая изоляция, применяющаяся в электрических установках, в случае ее исправного состояния, представляет достаточную защиту от прикосновения. Покрытие же токоведущих частей, в целях защиты от атмосферных влияний или в целях маркировки, слоем лака или краски, не может служить достаточной защитой при прикосновении, а потому такие части рассматриваются, с точки зрения безопасности, как голые, и нуждаются в специальных мерах защиты или же в расположении на недоступной высоте. То же относится и к эмалированным токоведущим частям, напр. к проволоке реостатов и т. п.; эмаль, хотя и изолирует соседние витки друг от друга, но не может служить достаточной изоляцией по отношению к земле.

Итак, если токоведущие части обнажены, или же не покрыты достаточной изоляцией, то они должны быть либо специально ограждены, либо же расположены на недоступной высоте, т. е. на такой высоте, при которой прикосновение возможно лишь при условии пользования лестницей, стулом, особой подставкой и т. п.

От этого общего правила для установок низкого напряжения допускается однако отступление для электромашиных помещений, т. е. для помещений, специально предназначенных для генерирования, преобразования и распределения электрической энергии. В этих помещениях неизолированные, расположенные на доступной высоте токоведущие части, находящиеся под напряжением, могут и не иметь защиты от случайного прикосновения, если по местным условиям такая защита не является необходимой, или если она может затруднить обслуживание или потребления электрической энергии.

осмотр. Это весьма существенное изъятие оправдывается главным образом тем, что установки в электромашинных помещениях доступны обыкновенно лишь для специального электротехнического персонала, обслуживающего эти установки. Кроме этого и самое расположение приборов с открытыми токоведущими частями, хотя бы и на доступной высоте, но на видном месте, например на распределительных щитах, побуждает персонал к осторожности при обслуживании этих приборов. Однако, и для электромашинных помещений нужно принять как правило такое расположение всех машин и приборов, чтобы нормальное обслуживание установки могло происходить вполне удобно, без риска случайного прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Особенно следует избегать тесноты в расположении машин и приборов, в частности слишком малых расстояний между токоведущими частями соседних приборов, установленных на распределительном щите.

Переходя к установкам высокого напряжения, нужно заметить, что к ним правила безопасности ставят несравненно более тяжелые требования в отношении защиты от прикосновения, нежели к установкам низкого напряжения. Именно, все токоведущие части высокого напряжения, как голые, так и изолированные, должны быть недоступны для прикосновения, совершенно независимо от рода и качества их изоляции, даже если последняя вполне соответствует применяемому напряжению. Выше было уже указано, какое значение имеет состояние изоляции с точки зрения безопасности электрических установок. Если для установок низкого напряжения можно ограничиться требованием о надзоре и контроле над изоляцией, то для установок высокого напряжения такого рода эксплуатационные требования не могут служить достаточной гарантией безопасности. Повреждения изоляции, хотя бы и незначительные, связаны с слишком большой опасностью для жизни лиц, находящихся в непосредственной близости от данных частей установки, а потому должна быть устранена возможность прикосновения даже к изолированным частям. С другой стороны, в установках переменного тока необходимо также считаться с возможностью возникновения емкостных токов при прикосновении к изолиро-

важным частям, находящимся под высоким напряжением; эти токи могут достигнуть величины, опасной для жизни человека, а потому необходимо предупредить возможность такого прикосновения и даже приближения на очень малое расстояние к токоведущим частям.

Защита от прикосновения в установках высокого напряжения выполняется либо путем соответствующего расположения токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступных местах (каналах, камерах и пр.), либо же при помощи специальных ограждений. Следует подчеркнуть, что эти меры защиты должны быть, вообще говоря, гораздо более надежными, нежели при низком напряжении. Ограничиться предупреждением лишь одних случайных прикосновений в установках высокого напряжения нельзя. В тех случаях, когда к установкам высокого напряжения имеют доступ неквалифицированные рабочие или вообще посторонние данной установке лица, незнакомые с опасностями электрического тока, необходимо принять меры против всякой возможности умышленных прикосновений. Это достигается путем применения ограждений, со всех сторон закрывающих токоведущие части и совершенно преграждающих доступ к ним. Сюда принадлежат высокие решетки, сплошные щиты, дверцы, ящики, кожухи и т. д.; все эти ограждения, как правило, должны быть на запоре, а ключи должны находиться только у тех лиц, которым непосредственно поручено обслуживание данных частей. Еще лучше применение устройств, автоматически устраняющих напряжение на токоведущих частях, как только они обнажаются при открытии дверей, снятии ящиков и т. п. Если же подобная защита, вполне предохраняющая от доступа посторонних лиц к токоведущим частям высокого напряжения, неосуществима по условиям эксплуатации (напр. на торфяных разработках, на временных устройствах, местах постройки), то необходимо установить специальный постоянный надзор за токоведущими частями, в целях недопущения приближения и прикосновения к ним.

Так же, как и для установок низкого напряжения, и по тем же причинам, общее правило о защите от прикосновения к токоведущим частям высокого напряжения допускает изъятия и

существенные облегчения для случая электромашинных помещений. В этом случае защитные меры могут быть ограничены лишь защитой от случайных прикосновений к голым и изолированным токоведущим частям, если в более полной защите не встречается необходимости, или если она препятствует обслуживанию установки. Таким образом характер защиты токоведущих частей в высокому напряжению в электромашинных помещениях может быть допущен при известных условиях такой же, как для установок низкого напряжения в любых (не электромашинных) помещениях. Однако весьма существенная разница между тем и другим случаем остается в отношении объекта защиты, ибо при высоком напряжении, хотя бы и в электромашинных помещениях, должны быть защищены как голые, так и изолированные токоведущие части, между тем как при низком напряжении требуется защита лишь голых частей.

Дальнейшее смягчение правил в отношении защиты от прикосновения при высоком напряжении допускается для замкнутых электромашинных помещений, находящихся нормально на запоре. В этих помещениях, посещаемых весьма ограниченным кругом лиц, можно ограничиться защитой от случайных прикосновений всегда, а не в отдельных случаях, при наличии достаточных оснований, как это имеет место в отношении незамкнутых электромашинных помещений. В замкнутых электромашинных помещениях в качестве средств против случайного прикосновения могут служить ограждения в виде разделительных стенок между отдельными полями или фазами распределительного устройства, защитные решетки, прочные и надлежаще укрепленные перила и т. п. Здесь следует отметить, что трансформаторные колонки и распределительные щиты, обслуживаемые снаружи, нельзя причислять не только к замкнутым, но и вообще к электромашинным помещениям, а потому токоведущие части этих устройств должны быть полностью ограждены от прикосновения, даже при открытых дверцах.

Заземленные токоведущие части, напр. нейтральные (нулевые) провода, металлические заземленные оболочки проводов Куло, заземляющие проводники и заземлители, в установках как низкого, так и высокого напряжения, как правило не требуют ни

изолирующих покрытий, ни каких либо других мер защиты от прикосновения. Нужно сказать, что напряжение этих частей по отношению к земле, вообще говоря, может и не равняться нулю, вследствие проходящих по ним токов; однако, при надлежащем устройстве заземлений, напряжение это обыкновенно бывает незначительным, а потому и не может представить опасности в случае прикосновения (см. главу VII).

В заключение следует указать на имеющееся в наших правилах эксплуатации воспрещение прикосновения к токоведущим частям, хотя бы и в резиновых перчатках, если оно не вызывается необходимостью, а также воспрещение подлезания или перелезания через предохранительные барьеры и решетки, снятия с места, до выключения тока, предохранительных кожухов, ящиков, щитов и других ограждений, постоянных и временных. На это воспрещение, однако, не следует особенно полагаться, особенно в случае высокого напряжения, а все внимание нужно обращать на надлежащие меры защиты, которые действительно предохранили бы от возможности прикосновения к токоведущим частям.

Изложив общие принципы и правила защиты от прикосновения к токоведущим частям мы перейдем к применению и к способам выполнения этих правил для отдельных частей электрических установок, начиная с электрических машин и кончая электрической проводкой; в этом порядке и последуют дальше отдельные пункты настоящей главы.

## **в. Электрические машины, трансформаторы, выпрямители и аккумуляторы.**

1. Электрические машины. В электрических машинах низкого напряжения необходимо, согласно общему правилу, защищать от случайного прикосновения голые токоведущие части, напр. щеткодержатели, щетки, зажимы, концы соединительных проводов и т. д. Для машин, установленных в электромашинных помещениях, это требование не является обязательным.

Для электрических машин высокого напряжения наши правила допускают весьма значительное облегчение по сравнению с другими частями электрических установок высокого напря-

жения. В то время как вообще требуется полная недоступность токоведущих частей высокого напряжения, в отношении машин правила ограничиваются требованием о защите лишь от случайных прикосновений к токоведущим частям, как голым, так и изолированным. Другими словами, для электрических машин высокого напряжения требования одни и те же, расположены ли они в электромашинных помещениях (генераторы, преобразователи и т. д.) или же вне этих помещений (электродвигатели высокого напряжения).

Нужно, однако, сказать, что широкое использование указанного облегчения может вызвать неблагоприятные последствия в отношении безопасности электрических установок. Дело в том, что электродвигатели высокого напряжения, главным образом трехфазные индукционные двигатели напряжением 3000 и 6000 V, находят все большее и большее применение в разных отраслях промышленности. Установка подобных двигателей в мастерских, в непосредственной близости от большого числа рабочих неэлектротехников, а также вообще не квалифицированных рабочих (чернорабочих, подручных, уборщиков и пр.), должна производиться с соблюдением всех возможных мер предосторожности, в противном случае двигатель может оказаться причиной тяжелых несчастных случаев. Лучшее решение вопроса — это применение закрытых или защищенных двигателей, в которых все токоведущие части, в том числе и соединительные провода, были бы надежно закрыты. Если же двигатели открытые, то необходимо стремиться к возможно полной их изоляции от остального помещения, либо путем установки их на недоступной высоте (на специальной площадке, кронштейне и т. д.), либо же при помощи высоких решеток или перегородок, надежно ограждающих машину со всех сторон. Простые барьеры или перила, вроде тех, которые ставятся для ограждения машин в электромашинных помещениях, не являются достаточной защитой, в виду легкости подлезания или перехода через такие барьеры. Такого рода ограждения открытых двигателей можно допустить лишь при условии постоянного надзора за двигателями высокого напряжения со стороны обслуживающего их электротехнического персонала.

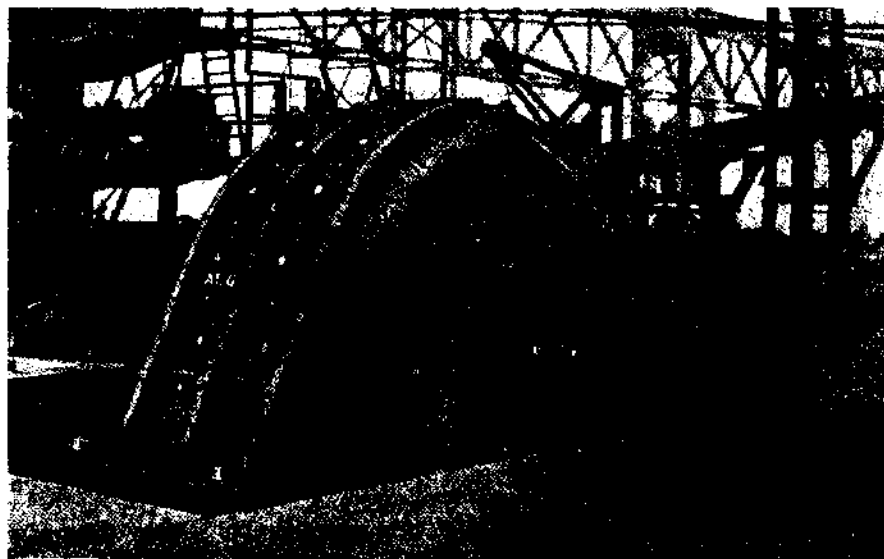


Переходя к конструктивным формам защиты от прикосновения, нужно сказать, что для электрических машин, равно как и для всех других машин и приборов, применяемых в промышленности, наилучшим ограждением является то, которое предусмотрено самой конструкцией машины и составляет ее неотъемлемую часть. С этой точки зрения наилучшими в отношении безопасности являются электрические машины закрытого типа, как об этом уже было упомянуто. Применение этих машин вызывается обыкновенно не соображениями безопасности обслуживания, а требованиями защиты самих машин от пыли, грязи, влаги и т. д.; увеличение безопасности является лишь добавочным фактором, часто даже не учитываемым. Нужно, однако, сказать, что условия ограждения от прикосновения далеко не совпадают с требованиями защиты машин. Надежная защита от пыли, грязи, а тем более от влаги, сырости и газов достигается обыкновенно лишь при полном закрытии двигателя. Двигатели с покрытиями решетчатого типа, или так называемые защищенные двигатели, могут предохранить двигатель лишь от более или менее крупных частиц грязи и от внешних повреждений. Что же касается ограждения от прикосновения, то решетчатые покрытия с мелкими отверстиями являются действительной мерой защиты, поскольку просовывание в эти отверстия длинных гвоздей и тому подобных предметов является мало вероятным. Поэтому, как правило, защита от прикосновения может быть достигнута без полного закрытия двигателей, т. е. без ухудшения условий вентиляции машин и их охлаждения. Так как машины защищенного типа и по размерам и по цене обыкновенно очень мало отличаются от открытых машин, их применение можно всячески рекомендовать с точки зрения безопасности труда.

С другой стороны имеются требования в отношении защиты от прикосновения, которые не имеют существенного значения для целей содержания машин в чистоте. Сюда относятся конструкция откидных крышек и дверей, необходимых для получения доступа к щеткам, коллектору и другим частям машины. В целях охраны труда очень важно, чтобы эти двери были всегда на запоре или же так затворялись, чтобы их открытие было возможно лишь при помощи специальных инструментов

(напр. отверток или ключей особой формы); таким образом доступ к токоведущим частям становится возможным лишь для тех лиц, которые заняты обслуживанием машин.

Далее, весьма важно с точки зрения безопасности ограждение зажимов машин, а при высоком напряжении и изолированных подводных или соединительных проводов. Минимальным требованием, которым должны удовлетворять все машины, независимо



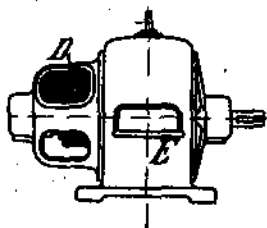
Фиг. 25. Совершенно закрытый электродвигатель.

от своего типа и места установки, является устройство предохранительного щитка, ограждающего сверху и с боков доску с зажимами. Гораздо более надежным является, однако, применение совершенно закрытой коробки, с отверстиями для проводов. Такой коробкой обязательно должны быть снабжены машины, которые могли бы считаться по своей конструкции безопасными в отношении прикосновения, а следовательно не нуждающимися в специальных ограждениях.

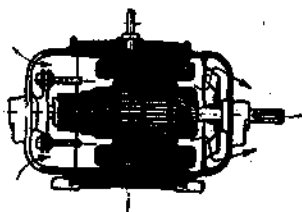
Конструкции электродвигателей закрытого типа настолько общеизвестны, что на них мы не будем останавливаться. Небез-

интересно будет, однако, привести пример полного закрытия двигателя специального назначения; на фиг. 25 показан совершенно закрытый двигатель постоянного тока большой мощности, служащий для приведения в движение реверсивного прокатного стана.

Для двигателей низкого напряжения, которые подлежат лишь защите от случайных прикосновений, можно ограничиться применением предохранительного сетчатого покрытия, ограждающего щетки и коллектора (или контактные кольца) лишь сверху и с боков. Двигатель с подобным покрытием, обозначенным буквой *D*, обозначен на фиг. 26; на той же фигуре показан и щиток *E*, ограждающий доску с зажимами.



Фиг. 26. Двигатель с предохранительным сетчатым покрытием.

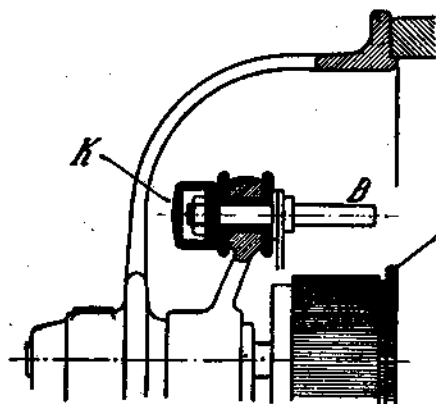


Фиг. 27. Двигатель полу-закрытого типа.

Часто применяются двигатели полузакрытого типа, боковые щиты которых хотя и имеют отверстия, но сравнительно небольшие, а токоведущие части — щетки, коллектор или кольца — так расположены, что для прикосновения к ним нужно довольно далеко просунуть руку. Такой двигатель, изображенный на фиг. 27, не нуждается в специальном сетчатом покрытии. Для усиления вентиляции подобные двигатели обыкновенно снабжаются вентиляторным колесом, насаживаемым на вал. Однако же, в этих машинах часто представляется необходимым оградить от случайных прикосновений задний конец болта или стержня, на котором укреплены щетки. Эти болты являются обыкновенно токоведущими частями, изолированными от станины машины, между тем они нередко ошибочно принимаются за конструктивные части, не находящиеся под напряжением. На фиг. 28

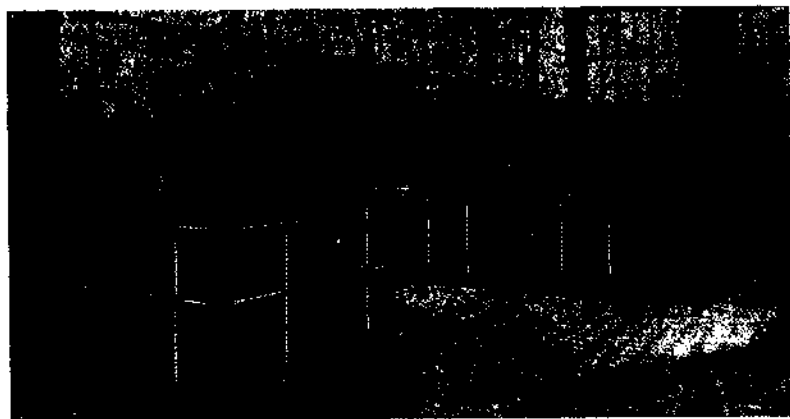
показан щеточный болт *В*, задний конец которого с гайкой защищен специальным предохранительным колпачком *К* из эбонита или другого изоляционного материала.

Индукционные двигатели с коротко-замкнутым ротором, не имеющие открытых токоведущих частей (кроме зажимов), не нуждаются ни в каких мерах защиты, вроде сеток, решеток, щитков и т. д. Помимо всех других достоинств эти двигатели имеют еще немалое преимущество перед двигателями других типов в отношении безопасности и простоты обслуживания.



Фиг. 28. Ограждение заднего конца щеточного болта.

Обращаясь к мерам защиты машин, установленных в электро-машинных помещениях, следует указать на часто применяемые барьеры или перила, окружающие



Фиг. 29. Ограждение электрических машин барьерами.

машины и предохраняющие от случайных прикосновений при прохождении мимо машины, падении на скользком полу около

машины и т. п. Подобные ограждающие барьеры показаны на фиг. 29, на которой изображена каскадная установка для привода прокатного стана, расположенная в отдельном помещении. Моторный агрегат, состоящий из главного индукционного двигателя переменного тока и вспомогательного двигателя постоянного тока, изображен на заднем плане; на переднем же плане показан одноякорный преобразователь, питаемый с колец индукционного двигателя и подающий ток двигателю постоянного тока.

Предохранительные барьеры по высоте должны быть не менее 1,1 м; желательно, чтобы они состояли не менее как из двух рядов горизонтальных стержней.

В помещениях сырых и особо сырых не рекомендуется устанавливать электрические машины. Если же их установки нельзя избежать, то необходимо принять меры для особенно хорошей защиты от прикосновений. Как правило, в таких помещениях должны устанавливаться электродвигатели лишь совершенно закрытые. Временно устанавливаемые двигатели (напр. на постройках и торфяных разработках) должны быть надежно ограждены от доступа посторонних лиц посредством решеток, перегородок и т. п. ограждений с соответствующими надписями, а при высоком напряжении должны находиться в помещениях, закрытых на замок.

2. Трансформаторы. Трансформаторы подчиняются в отношении защиты от прикосновения и ограждения тем же правилам, что и электрические машины.

Трансформаторы, имеющие в громадном большинстве случаев токоведущие части высокого напряжения, должны быть либо помещены в заземленные металлические кожухи, либо защищены от прикосновения прочным сплошным ограждением. Применение кожухов является в данном случае наиболее естественным ограждением, так как они одновременно выполняют роль резервуаров для масла. Мелкие трансформаторы кабельной распределительной сети часто не имеют кожухов; но в таком случае они должны помещаться в запираемых на ключ, прочных и негорючих подземных или надземных будках.

Помимо будок и других замкнутых электромашиных помещений, трансформаторы без сплошных ограждений могут быть

допущены и в некоторых других случаях, когда они расположены в недоступных местах.

Токоведущие части трансформаторов, расположенные вне защитных кожухов, именно выводы и зажимы, а при высоком напряжении и покрытые изоляцией провода, должны быть сделаны недоступными для прикосновения либо путем установки на недоступной высоте, либо же посредством прочных покрытий, снимаемых только при помощи специальных инструментов. Токоведущие части трансформаторов, установленных в электромашинных и замкнутых электромашинных помещениях, защищаются в случае надобности лишь от случайных прикосновений при помощи барьеров, перил и т. п.

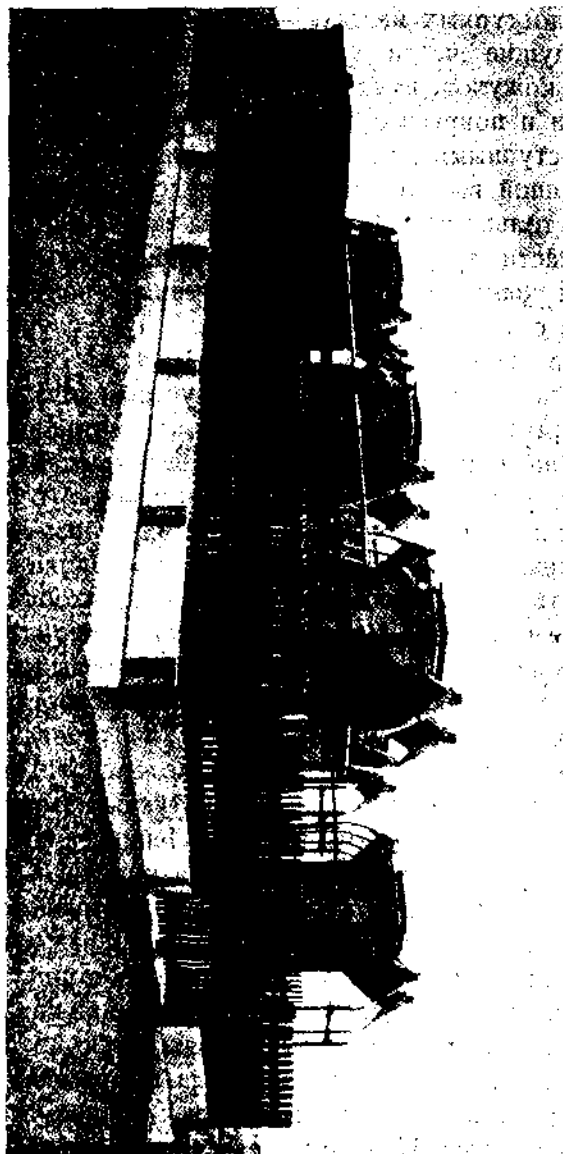
Что касается трансформаторов, устанавливаемых в сырых и особо сырых помещениях, то к ним относится все то, что было сказано выше о машинах, устанавливаемых в таких помещениях.

Открыто устанавливаемые трансформаторы (подстанции типа outdoor) должны ограждаться прочными заборами, препятствующими проникновению на подстанцию посторонних лиц. Забор должен быть такой высоты и так устроен, чтобы предупредить перелезание через него. Подобное ограждение показано на фиг. 30.

3. Ртутные выпрямители. Ртутные выпрямители имеют ту, неблагоприятную с точки зрения безопасности, особенность, что они обыкновенно лишены корпуса, изолированного от токоведущих частей и имеющего нулевой потенциал. Поэтому защита от прикосновения при обслуживании ртутных выпрямителей требует к себе особого внимания. При Ленинградском Отделении ЦЭС'а была организована специальная комиссия для выработки правил безопасности для ртутных выпрямителей, которая и составила соответствующий проект правил<sup>1)</sup>.

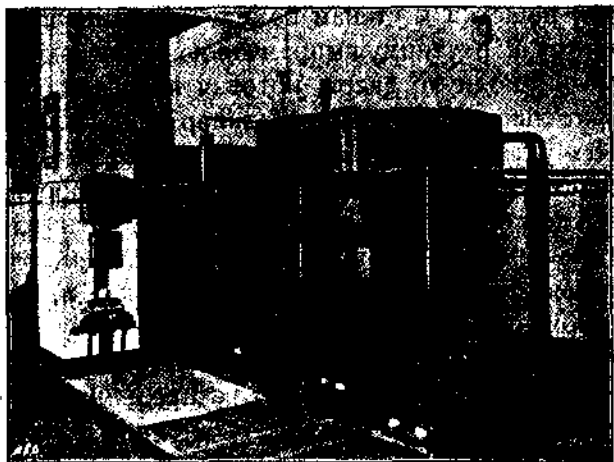
В металлических ртутных выпрямителях корпус выпрямителя и все части установки, с ним связанные, как-то: краны трубопровода, насосы, вакуумметры — заряжаются во время работы до потенциала положительного полюса выпрямленного (постоянного) тока; отрицательный же полюс выпрямителя большей частью заземляется. Поэтому все внешние металлические части

<sup>1)</sup> См. „Электричество“, 1930, № 15-16.



Фиг. 30. Отражение открыто установленных трансформаторов.

выпрямителя находятся под полным напряжением постоянного тока (по отношению к земле и к заземленным частям). То же относится и к вспомогательным электрическим установкам, связанным с корпусом выпрямителя, именно к приборам для зажигания, возбуждения, нагрева ртутного насоса и пр.; эти приборы, хотя и работают на низком напряжении, но также заряжаются до потенциала выпрямителя, и между ними и землей имеется полное напряжение выпрямленного тока.



Фиг. 31. Установка ртутных выпрямителей с ограждающей решеткой.

Защита от опасности прикосновения к корпусу выпрямителя и к приборам, электрически с ним связанным, может быть осуществлена двумя способами, именно путем ограждения выпрямителя и путем изоляции от земли пола и окружающих выпрямитель предметов. Соответственно этому установки с металлическими ртутными выпрямителями могут быть разделены на установки с ограждающей решеткой и установки без ограждающей решетки, но на изолированном полу.

Пример установки первого типа изображен на фиг. 31. Ограждающая решетка должна быть достаточно частой, с тем, чтобы была исключена возможность просовывания рук. Высота решетки



должна быть не менее 1,8 м; расстояние от решетки до частей установки, находящихся под напряжением, должно быть не менее 0,25 м; расстояние от нижнего края решетки до пола должно быть не более 0,15 м, с тем, чтобы нельзя было просунуть ногу под решетку. Решетка может быть сделана как из железа, так и другого достаточно прочного материала; в случае металлической решетки, она должна быть заземлена. Для установок, расположенных у стены или в углу, стены помещения могут заменять стороны решетки при условии, чтобы примыкание сторон решетки к стенам помещения было плотным.

Для доступа к ртутному выпрямителю ограждающая решетка должна иметь входную дверь, которая во время работы установки обязательно должна быть заперта на ключ. У двери должны быть установлены сигнальные лампы, указывающие на наличие или отсутствие напряжения как со стороны переменного, так и постоянного тока. Еще лучше иметь электромеханическую блокировку двери, с тем, чтобы дверь можно было открыть только при выключенной установке, и, кроме того, установку можно было подключить к источнику тока только при запертой двери. Подробнее о действии подобной блокировки сказано дальше, в разделе о распределительных устройствах. Для возможности управления установкой рукоятки выключателей, реостатов и других приборов выводятся за ограждающую решетку; эти рукоятки должны быть хорошо изолированы и так устроены, чтобы исключалась возможность прикосновения персонала к частям, находящимся под напряжением.

Части установки, монтированные на корпусе выпрямителя или в непосредственной близости, но имеющие отличный от него потенциал, должны быть отмечены особой окраской, в иной цвет, чем все другие части установки.

В случае установки из двух выпрямителей, составляющих один рабочий агрегат (фиг. 31), когда может иметь место работа одного выпрямителя при отсутствии напряжения на другом, можно применить одну общую ограждающую решетку. Однако необходимо иметь возможность установить между выпрямителями временную решетку или перегородку, с тем, чтобы защитить рабочих, работающих с отключенным выпрямителем, от

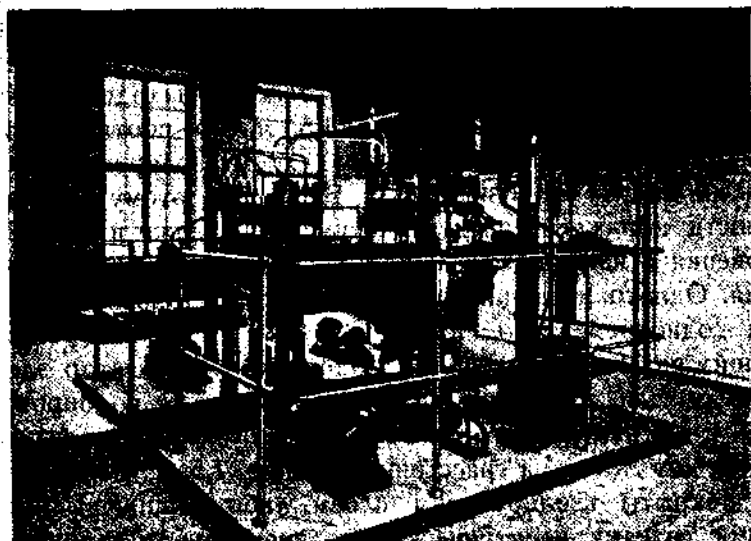
опасности прикосновения к частям другого выпрямителя, находящегося под напряжением. Электрическая схема агрегата должна допускать возможность полного отключения одного выпрямителя от другого, как со стороны постоянного, так и переменного тока.

В установках второго типа, т. е. без ограждающей решетки, пол под выпрямителем и его принадлежностями должен быть покрыт слоем изолирующего материала так, чтобы наименьшее расстояние от края этого слоя до ближайшей части установки было не менее 1 м. Если корпус выпрямителя или любая электрически соединенная с ним часть установки находится от стены помещения на расстоянии менее 1,5 м, то соответствующая часть стены должна быть покрыта слоем изолирующего материала на высоту не менее 1,8 м. Благодаря этому устраняется опасность поражения электрическим током даже в случае прикосновения к находящемуся под напряжением корпусу выпрямителя. Однако, изоляция пола не может предохранить от опасности одновременного прикосновения к частям установки, имеющим различный потенциал. Подобные части (статор электродвигателя для вращения воздушного насоса, водопроводные трубы и др.), монтированные на корпусе выпрямителя и находящиеся от него на расстоянии менее 1,5 м, должны быть либо покрыты изолирующим слоем, либо защищены металлическими сетками, электрически соединенными с корпусом выпрямителя. Окраска этих частей в другой цвет, как это делается в установках с ограждающей решеткой, в данном случае не может быть признана достаточной мерой безопасности; исключение может быть допущено лишь для анодов и их охладителей, которые достаточно окрасить в яркий, бросающийся в глаза цвет.

Указанные меры безопасности являются вполне достаточными для охраны персонала, обслуживающего установку. Нередко, однако, выпрямители устанавливаются в помещениях, в которые имеют свободный доступ лица, не относящиеся к обслуживающему персоналу и совершенно не знакомые с устройством и условиями работы выпрямителей. В таких случаях желательно ограждение выпрямителей, даже при их установке на изолированном полу, с целью предупреждения посторонних лиц от при-

близости к машинам. В качестве ограждения в этом случае может быть применен легкий барьер из стоек с поперечинами, вроде того, который изображен на фиг. 32.

В установках с ртутными выпрямителями, как с ограждающей решеткой, так и без решетки, необходимо позаботиться об устранении опасности поражения током, связанной с применением трубопроводов для охлаждающей воды. Трубопровод связан



Фиг. 32. Установка ртутных выпрямителей на изолированном полу и с ограждающим барьером.

с корпусом выпрямителя, а потому, если не будут приняты меры предосторожности, он весь, вместе с прилегающими металлическими частями, может оказаться под полным напряжением выпрямленного тока. Для устранения этой опасности, в случае охлаждения проточной водой, когда применяются длинные трубопроводы, выходящие далеко за пределы самой установки, необходимо включать в трубопровод, подводящий охлаждающую воду, изолирующий резиновый шланг. Длина этого шланга должна устанавливаться в зависимости от напряжения холостого хода выпрямителя, а именно для напряжений до 800 V длина должна

быть не менее 1 м, для напряжения до 1650 В — не менее 1,5 м и для напряжений до 2100 В — не менее 2 м. При охлаждении по циркуляционной системе, либо необходимо так установить металлические части охлаждающей установки, чтобы исключалась возможность прикосновения к ним, либо же должны быть также применены изолирующие резиновые шланги; в последнем случае, части охлаждающей установки, вынесенные за пределы ограждающей решетки, должны быть заземлены.

Что касается стеклянных ртутных выпрямителей, то в устройствах новых типов защита от прикосновения осуществляется чаще всего тем, что выпрямители вместе со своими принадлежностями устанавливаются в особых шкафах, большей частью сплошных, металлических. Подобное устройство для выпрямителя до 400 А изображено на фиг. 33; слева на этой фигуре дверца шкафа, открывающая доступ к колбе выпрямителя, изображена в открытом положении, а справа — в закрытом. Дверца снабжена двумя смотровыми окошками, дающими возможность удобного наблюдения за выпрямителем при его работе. Металлический шкаф должен быть заземлен, а выступающие на наружную сторону рукоятки, маховики и кнопки управления должны быть тщательно изолированы от токоведущих частей.

В случае открытой установки, без шкафа, стеклянные ртутные выпрямители должны быть ограждены особой решеткой. Ограждающая решетка должна быть устроена так же, как и для металлических выпрямителей, и удовлетворять всем требованиям, приведенным выше.

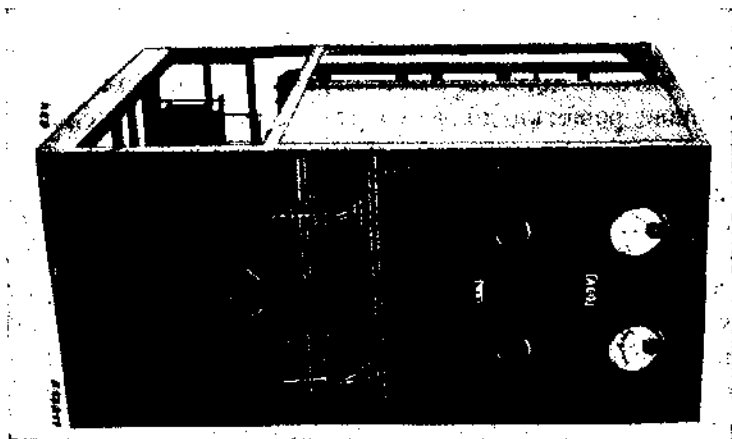
4. Аккумуляторы. Для аккумуляторов применяется обыкновенно в качестве метода защиты изоляция пола. По условиям эксплуатации аккумуляторные батареи не могут быть освобождены от напряжения при обслуживании; вот почему прикосновение к токоведущим частям является в данном случае гораздо более частым и обычным, нежели при обращении с другими частями электрических установок.

С другой стороны, аккумуляторные батареи, как правило, располагаются в отдельных помещениях, считающихся замкнутыми электромашиными помещениями, а потому находящиеся

всегда на запоре и доступных лишь для обслуживающего пер-



Фиг. 33. Установка стеклянного ртутного выпрямителя в шкафу.



сонала. Защита этого персонала достигается не закрытием токоведущих частей, а применением изолирующих мостков или под-

ставок около батарей, причем эти мостки должны быть так устроены, чтобы была исключена возможность обслуживания батарей, если рабочий стоит не на мостках. Подобные устройства применяются иногда и в электромашиных помещениях, как средство, заменяющее заземление кожухов и корпусов машин и приборов (см. главу VII), но в аккумуляторных помещениях эти устройства являются нормальными, а при высоком напряжении и обязательными.

Для того, чтобы исключить возможность повышения до опасной величины силы тока, проходящей через тело человека при прикосновении к токоведущим частям, необходимо, чтобы мостки действительно обладали надежными изолирующими свойствами, в зависимости от применяемого напряжения. При напряжении до 750 V можно применять обыкновенные изолирующие подкладки, доставляемые аккумуляторными заводами для изоляции элементов от стелажей и этих последних — от земли. При более высоких напряжениях необходимо применять специальные деревянные мостки или подставки, установленные на фарфоровых изоляторах. Изолирующие подставки должны быть защищены от разрушительного действия серной кислоты соответствующей окраской. Более подробные сведения об изолирующих подставках приведены в главе IX. Вместо мостков или подставок может быть применена установка аккумуляторов на сплошном изолированном полу, как это изложено было выше, в применении к ртутным выпрямителям.

Какими бы изолирующими свойствами ни обладали мостки и подставки, они не могут предохранить от опасности одновременного прикосновения к токоведущим частям и заземленным предметам, а также одновременного прикосновения к токоведущим частям с большой разностью потенциалов. Обе возможности должны быть устранены соответствующим расположением аккумуляторных батарей. С одной стороны батареи должны быть настолько удалены от стен и других заземленных частей, чтобы человек, стоя на изолирующих мостках, не мог одновременно прикоснуться к токоведущим частям и к стенам здания. С другой стороны батареи должны быть так расположены, чтобы при их обслуживании была устранена возможность одновременного

случайного прикосновения к точкам, между которыми имеется напряжение выше 250 В. Для выполнения этого условия указанные точки должны быть удалены друг от друга не менее как на 1 м. Если же это невозможно, ввиду недостаточных размеров помещения, то необходимо применять защитные изолирующие стенки из стекла или из другого материала, разделяющие те точки, одновременного прикосновения к которым следует избежать.

### с. Распределительные устройства.

Распределительные устройства представляют, пожалуй, наибольшие трудности в смысле рациональной и надежной защиты от прикосновения. Широкое распространение этих устройств, бесконечное разнообразие конструктивных форм, обилие открытых токоведущих частей, все это делает ограждение распределительных устройств особо ответственной задачей.

Распределительные устройства состоят обыкновенно из целого ряда приборов коммутационных, предохранительных, измерительных и регулирующих, а также соединительных проводов шин, муфт и т. д. В настоящем разделе будут изложены меры защиты, касающиеся распределительного устройства в целом, т. е. группы приборов, будь ли то в форме распределительных камер, щитов, ящиков и т. д. Приборы же, устанавливаемые одиночно, или же нуждающиеся в отдельной защите, независимо от общего распределительного устройства, будут рассмотрены дальше, в особом разделе настоящей главы.

Кроме защиты от электрических ударов, для распределительных устройств весьма большое значение имеет защита от ожогов и других повреждений, напр. глаз, вследствие искр, вольтовых дуг, брызг и осколков металла, образующихся при размыкании электрических цепей. Коммутация электрического тока является главнейшей задачей распределительных устройств, и работа их в нормальных условиях эксплуатации, не говоря уже об аварийных случаях, связана с образованием сильных искровых разрядов. Основным правилом для распределительных устройств должно быть такое устройство или расположение всех приборов, предназначенных для прерывания тока (главным обра-

зом выключателей и предохранителей), чтобы случайное, вызываемое однако условиями работы, образование искр или вольтовых дуг не могло причинить вреда обслуживающему персоналу. Наилучшим, с точки зрения безопасности труда, решением этой задачи является такое устройство самого размыкающего прибора, при котором, в нормальных условиях работы, вообще невозможно появление дуг и искр вне прибора. Сюда принадлежат приборы, выключающие контакты которых погружены в масло (масляные выключатели), приборы с электромагнитным гашением дуг во внутренних камерах и т. д. Другим средством защиты от искр и дуг является надлежащее расположение выключающих токоведущих частей, либо на недоступной высоте, либо на задней, недоступной или хорошо защищенной, стороне распределительного щита, причем на передней стороне имеются лишь органы для управления выключателем. Наконец, для защиты от искр и дуг, равно как и для защиты от прикосновения, широко применяются всякого рода ограждения, в виде ящиков, кожухов, чехлов, колпаков и пр. Масляные выключатели, при высоком напряжении, если они не заключены в сплошные и прочные кожухи, должны устанавливаться таким образом, чтобы между ними и обслуживающим лицом находилась защитная стенка, предохраняющая от ожогов, которые могут быть причинены брызгами горящего масла. Указанные защитные меры должны действовать, как правило, при нормальных условиях эксплуатации. В это понятие не входят аварии, являющиеся последствием грубой ошибки (напр. полное короткое замыкание), или же случайного стечения обстоятельств. Достаточно сказать, что при таких авариях возможны разрушения не только самих распределительных устройств, но и частей зданий, в которых они находятся (напр. при взрывах масляных выключателей). Предохранить от таких аварий может лишь вполне надежная конструкция всего распределительного устройства и надлежащее устройство всей электрической сети.

Распределительные устройства можно разделить на главные и вторичные. Главными распределительными устройствами можно назвать те, к которым присоединяются источники электрической энергии (генераторы, главные трансформаторы, пре-



образователи), или же линии магистрального значения. Вторичные же распределительные щиты и устройства служат для непосредственного распределения электрической энергии между приемниками.

1. Главные распределительные устройства. Главные распределительные устройства обыкновенно располагаются на станциях и подстанциях в специальных помещениях — электромашинных или замкнутых электромашинных, и в громадном большинстве случаев являются устройствами высокого напряжения. Поэтому, согласно общим правилам, токоведущие части распределительных устройств, как голые, так и изолированные, подлежат защите по крайней мере от случайных прикосновений; совершенно незащищенные токоведущие части распределительных устройств высокого напряжения ни при каких условиях не могут быть допущены.

Защита от непосредственного прикосновения в распределительных устройствах, при очень высоких напряжениях (начиная, примерно, от 10000 V), не может быть признана достаточной. Дело в том, что при таких напряжениях разряд от токоведущей части может иметь место уже в случае приближения к ней на расстояние, равное или меньшее длины искрового промежутка соответствующего данному напряжению. Поэтому необходимо ограждать токоведущие части не только от случайного прикосновения, но и от опасного приближения к ним, могущего повлечь за собой разряд через тело человека; это достигается посредством установки дверей, решеток или барьеров на достаточном расстоянии от токоведущих частей, а также устройством достаточно широких проходов около них.

Устройство широких проходов весьма важно также и с точки зрения свободного выхода для обслуживающего персонала в случае крупных аварий, о которых уже упоминалось выше. При авариях, главным образом коротких замыканиях в больших установках высокого напряжения, возможны выделения в значительном количестве паров расплавленного металла, продуктов горения масла и т. п. Эти явления иногда носят весьма бурный характер и могут быть квалифицированы как взрывы, при чем иногда сопровождаются человеческими жертвами.

В качестве примера можно привести взрыв масляного выключателя, имевший место на Ленинградской Северной подстанции Электроток в 1927 году. Взрывом была совершенно разрушена одна камера распределительного устройства; волна дыма и горячих газов, отразившись от стены, причинила серьезные ожоги двум инженерам, находившимся в помещении подстанции и не успевшим достаточно быстро удалиться. При очень сильных взрывах людям, находящимся в это время в помещении распределительного устройства, иногда, как показывает практика, не удается во-время выбежать даже при наличии достаточно широких проходов. Во многих же других случаях надлежащее устройство и надлежащий порядок содержания проходов могут принести громадную пользу в деле спасения людей при авариях.

Главные распределительные устройства, а равно и вообще распределительные щиты высокого напряжения, в настоящее время почти всегда конструируются таким образом, чтобы на передней, лицевой стороне, с которой происходит нормальное обслуживание, не было бы никаких токоведущих частей высокого напряжения, по крайней мере на доступной высоте. На передней стороне располагаются, кроме измерительных приборов (обыкновенно низкого напряжения), лишь рычаги, маховички и другие органы управления выключающих и регулирующих приборов, сами же эти приборы, а также сборные шины, разъединители, измерительные трансформаторы, предохранители и пр. помещаются на задней стороне щита, которая по существу и является стороной высокого напряжения и главным образом нуждается в мерах защиты. То же самое относится и к распределительным устройствам в виде пультов, панелей и т. д., в настоящее время весьма распространенных.

Указанные приборы высокого напряжения, хотя и управляются издали, с передней стороны распределительных устройств, однако должны быть и сами по себе доступны для наблюдения, ухода, ремонта и пр. В более или менее крупных распределительных устройствах это обыкновенно достигается тем, что не только передняя, но и задняя сторона делается свободной, доступной для обслуживания. Правила относительно

расположения устройств и ширины проходов имеют в виду именно эту заднюю сторону, обыкновенно обращенную к стене здания, перегородке или же к задней стороне другого распределительного щита или устройства.

Согласно основному правилу, распределительные щиты и устройства, требующие обслуживания с задней стороны, должны быть обеспечены проходом, достаточным по высоте и ширине. Ширина прохода зависит от характера защиты токоведущих частей, от величины напряжения установки, и от того, находятся ли токоведущие части с одной стороны или с обеих сторон прохода.

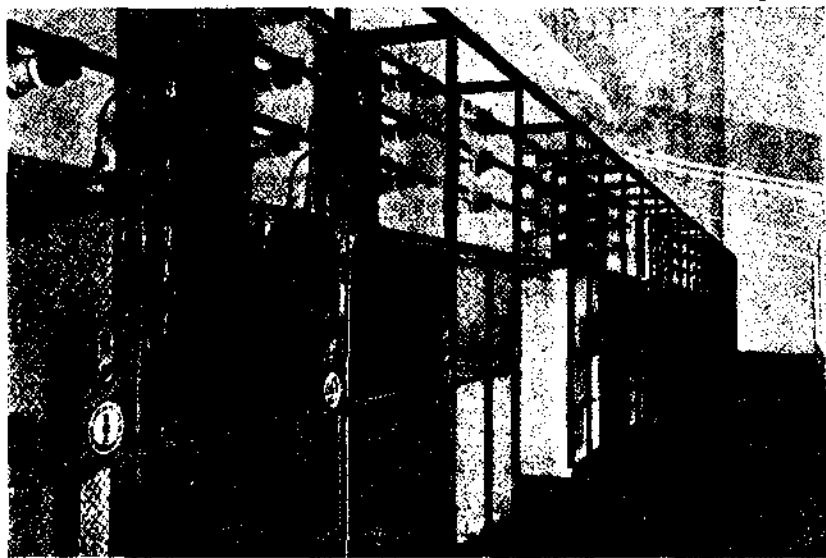
Наиболее желательным с точки зрения безопасности труда является тот случай, когда токоведущие части на задней стороне распределительного устройства недоступны для прикосновения, т. е. защищены не только от случайных, но и от каких бы то ни было прикосновений со стороны лиц, которым не поручено специально обслуживание устройства. Подобные условия могут быть достигнуты с одной стороны расположением токоведущих частей на недоступной высоте, за какую в данном случае следует считать высоту не менее 2,5 м от пола для напряжений до 30 киловольт (30000 V). При более высоких напряжениях минимальное расстояние от пола до незащищенных токоведущих частей определяется по формуле:

$$l = 2,2 + 0,01 E,$$

где  $l$  — расстояние в метрах, а  $E$  — напряжение установки в киловольтах.

С другой стороны, и при меньшей высоте расположения токоведущих частей, последние могут быть сделаны недоступными посредством применения вполне прочных и надежных ограждений в виде заземленных проволочных решеток или, еще лучше, сплошных покрытий высотой не менее 2 м. Решетки и другие ограждения должны быть так устроены, чтобы была исключена всякая возможность просовывания руки или ноги и опасного приближения к ограждаемым частям. Двери в этих ограждениях должны быть всегда на запоре, а ключ должен находиться только у лиц, обслуживающих данную установку. Примеры

подобного ограждения в виде проволочной сетки или решетки, укрепленной в прочной раме из уголкового железа, даны на фиг. 34 и 35. На этих фигурах изображено ограждение камер со сборными шинами и разъединителями, примененное для распределительного устройства на бумажной фабрике в Балахне. Фиг. 34 представляет общий вид устройства, а фиг. 35 — одну камеру, огражденную предохранительной решеткой с дверцей.



Фиг. 34. Ограждение распределительного устройства посредством проволочных решеток.

При таком полном ограждении токоведущих частей ширина прохода у задней стороны распределительного устройства определяется лишь условиями удобства обслуживания, а также свободного выхода в случае аварий. Ширину прохода в 1 м следует признать минимальной, за исключением тех случаев, когда проход служит только для сообщения и наблюдения, а не для обслуживания установки и каких бы то ни было работ; в последнем случае ширина может быть понижена до 0,8 м. Кроме того, в целях беспрепятственного выхода людей в случае аварий, проход должен быть свободным с обеих сторон по длине.

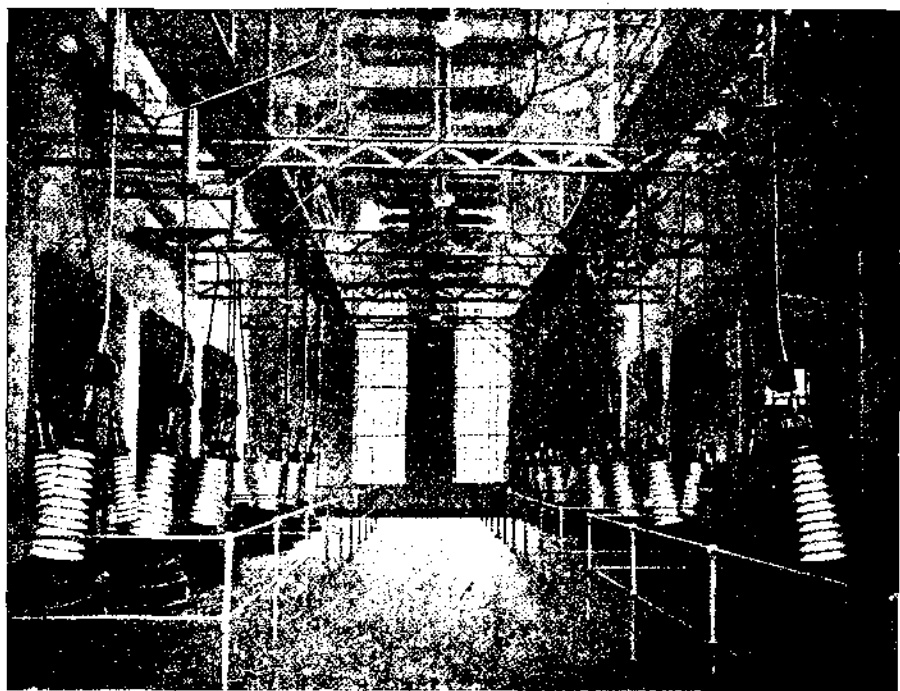
Если же, как это допускается правилами безопасности для электромашиных помещений, токоведущие части защищены лишь от случайного прикосновения (а при низком напряжении



Фиг. 35. Камера, огражденная проволочной решеткой.

совсем не защищены), то при установлении минимальной ширины прохода должна быть учтена опасность прикосновения к токоведущим частям. В случае низкого напряжения ширина прохода в 1 м между токоведущими частями и противоположной стеной считается достаточной. При высоком напряжении расстояние между ограждением токоведущей части и противопо-

ложной стеной должно быть не менее 1,5 м. Если же с обеих сторон прохода на доступной высоте имеются токоведущие части, открытые или, при высоком напряжении, лишь защищенные от случайных прикосновений, то ширина прохода, т. е. горизонтальное расстояние между токоведущими частями



Фиг. 36. Ограждение распределительного устройства посредством барьеров.

или между их ограждениями, должно быть не менее 2 м. Последний случай, соответствующий расположению прохода между задними сторонами двух распределительных устройств, особенно неблагоприятен с точки зрения безопасности, так как рабочий, стоя лицом к токоведущим частям на одной стороне прохода и обращая все свое внимание на них, может прикоснуться к другим частям, находящимся за его спиной; вот по-

чему требуется значительное уширение прохода при двухстороннем расположении токоведущих частей.

Обязательная защита токоведущих частей высокого напряжения от случайных прикосновений, при которой соблюдаются только что указанные нормы ширины прохода, выполняется различно, в зависимости от местных условий. Крупные распределительные устройства на станциях и подстанциях выполняются с задней стороны чаще всего в виде камер или ячеек, отделенных друг от друга стенками или перегородками; в этих камерах устанавливаются отдельные приборы или небольшие группы приборов. Стены камер делаются из прочного и негорючего материала, чаще всего из бетона. Токоведущие части можно считать защищенными от случайного прикосновения, если ширина каждой камеры (расстояние между двумя соседними перегородками) не более 0,5 м, а токоведущие части находятся в глубине камер, на расстоянии не менее 0,5 м до внешнего края стенок. При большей ширине камер должны быть применены особые меры для защиты от прикосновений, в виде барьеров или поручней, высотой не менее 1,1 м, состоящих не менее как из двух рядов горизонтальных стержней. Применение барьеров для распределительного устройства показано на фиг. 36.

При устройстве ограждений распределительных устройств высокого напряжения следует соблюдать известные минимальные расстояния между токоведущими частями и соответствующими ограждениями, т. е. между токоведущей частью с одной стороны и барьером, внешним краем разделительной стенки, проволочной решеткой, сплошным покрытием или кожухом с другой стороны. В нижеследующей таблице (стр. 207) даны эти минимальные расстояния в зависимости от величины напряжения и рода ограждения.

Соблюдение этих расстояний необходимо прежде всего в целях защиты от непосредственного прикосновения, когда человек, например, держится за барьер или прикасается к ограждению, далее, для предупреждения возможности искрового разряда через воздух и, наконец, для защиты от ожогов вследствие вольтовых дуг и брызг металла.

| Номинальное напряжение<br>в вольтах | Наименьшее расстояние в миллиметрах              |                     |                       |                                       |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------------|
|                                     | Барьеры и<br>разделитель-<br>ные стенки<br>камер | Решетки и<br>сетки. | Сплошные<br>покрытия. | Закрытые <sup>1)</sup><br>устройства. |
| до 1000                             | 500                                              | 140                 | 70                    | 40                                    |
| „ 3000                              | 500                                              | 175                 | 105                   | 75                                    |
| „ 6000                              | 500                                              | 200                 | 130                   | 100                                   |
| „ 10000                             | 500                                              | 225                 | 155                   | 125                                   |
| „ 20000                             | 500                                              | 280                 | 210                   | 180                                   |
| „ 30000                             | 500                                              | 360                 | 290                   | 260                                   |
| „ 45000                             | 560                                              | 460                 | 390                   | 360                                   |
| „ 60000                             | 670                                              | 570                 | 500                   | 470                                   |
| „ 80000                             | 780                                              | 680                 | 610                   | 580                                   |
| „ 100000                            | 920                                              | 820                 | 750                   | 720                                   |

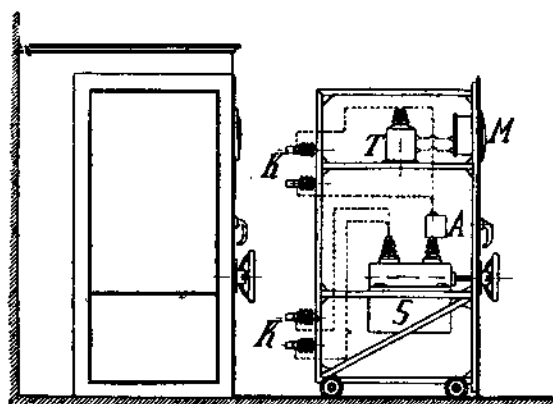
Самый проход у задней стороны распределительных устройств должен быть совершенно свободен и безопасен для движения и работы. В проходе, на высоте до 2 м от пола, не должно быть ни токоведущих частей, ни каких-либо других предметов, стесняющих свободное движение. На высоте от 2 до 2,5 м над проходом могут быть токоведущие части, но они, в случае высокого напряжения, должны быть защищены от прикосновения сетками, щитами и т. п., с соблюдением указанных выше расстояний от токоведущих частей до ограждений. Высота более 2,5 м, а при напряжениях свыше 30 киловольт, высота, равная  $2,2 + 0,01 E$ , считается недоступной, а потому токоведущие части, расположенные над проходом на этой высоте, могут быть незащищенными. Помимо указанных норм необходимо также строго соблюдать правило о содержании проходов в полном порядке и чистоте, и в особенности следить за тщательным

<sup>1)</sup> Под закрытыми устройствами подразумеваются распределительные устройства бронированного типа, со всех сторон заключенные в металлические ящики или кожухи.



и немедленным удалении из проходов всех предметов, которые могли бы стеснить свободу движения. Это правило чрезвычайно важно, как в отношении устранения опасности прикосновения к токоведущим частям, связанной с падением человека, когда он поскользнется в проходе или споткнется о какой-либо предмет, так и в отношении беспрепятственного и быстрого удаления из опасной зоны при авариях, пожарах, взрывах и т. п.

В случае менее крупных распределительных устройств, или при недостатке места, распределительные щиты нередко устраи-



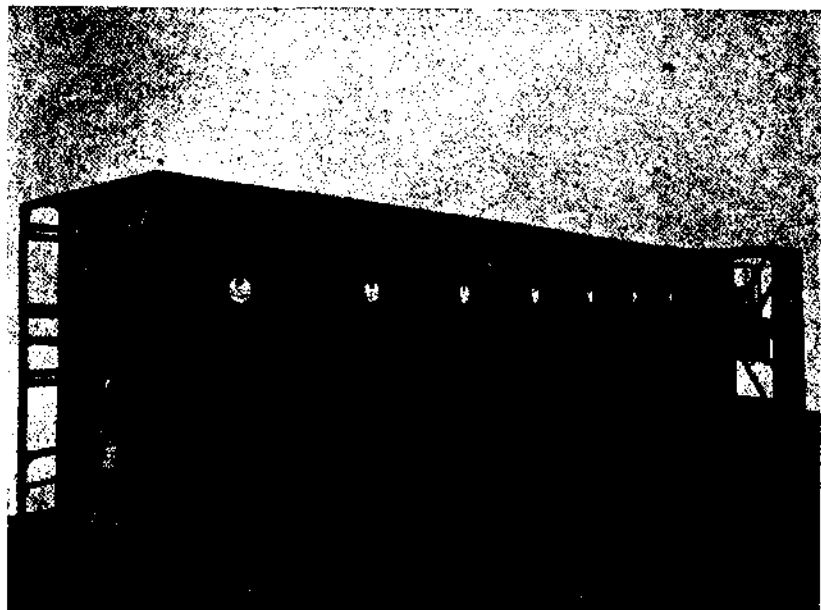
Фиг. 37. Выдвижной распределительный шкаф.

ваются у самой стены помещения, т. е. задняя сторона щита делается недоступной. Однако, и в этом случае приборы высокого напряжения обыкновенно располагаются позади лицевого щита и недоступны с передней стороны, что весьма важно в отношении безопасности обслуживания. Для того же, чтобы иметь доступ к

приборам, при ремонте, при наполнении резервуаров маслом, при смене предохранителей и т. д., часто применяют в указанных случаях систему выдвижных или поворотных щитов. Поворотные щиты могут быть повернуты как дверцы около петель или шарниров, при чем открывается их задняя сторона, с укрепленными на ней приборами высокого напряжения.

Более распространенными и безопасными являются выдвижные распределительные устройства; подобное устройство изображено на фиг. 37. Общий вид распределительного устройства в выдвижных шкафах новейшей конструкции фирмы AEG показан на фиг. 38. Распределительное устройство состоит из нескольких секций или панелей, в виде выдвижных шкафов, установленных на роликах. Каждая из секций может быть для

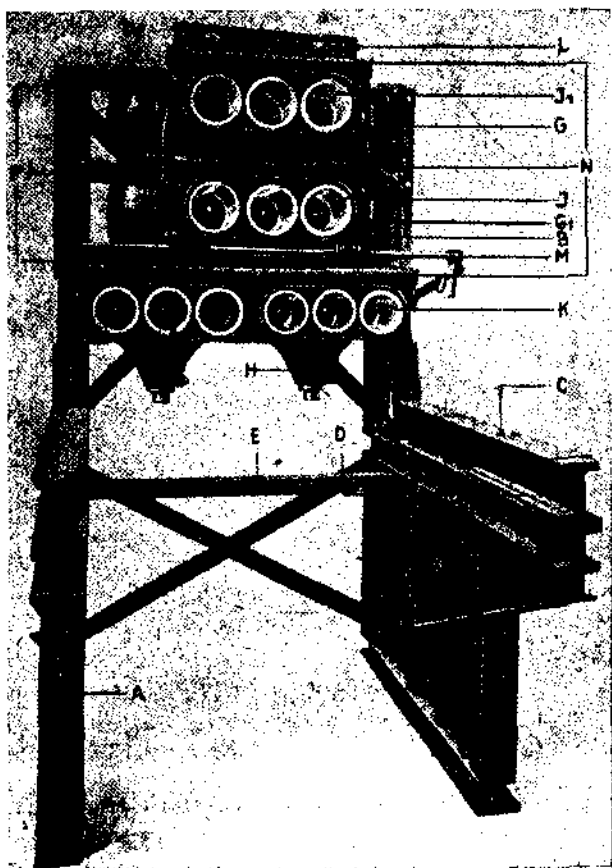
осмотра, ремонта и пр. выдвинута или вернее вывезена вперед, при чем эта операция ни в какой мере не должна отражаться на работе других секций, действующих независимо друг от друга. Основным условием безопасности подобного устройства является полное отъединение секций в выдвинутом положении от источника тока, т. е. в данном случае от сборных шин, укрепленных неподвижно, позади распределительных шкафов. Для этого слу-



Фиг. 38. Общий вид распределительного устройства в выдвижных шкафах.

жат разъединители в виде массивных штепсельных (штыковых) контактов *КК* (фиг. 37), включенных попарно в параллель и входящих в соответствующие контактные отверстия или гнезда, которые соединены с шинами; при таком устройстве, как только шкаф выходит из рабочего положения, прекращается соединение секции с источником тока и исчезает напряжение на приборах, подлежащих осмотру и ремонту. Кроме того, для устранения возможности размыкания тока на контактах *К*, что

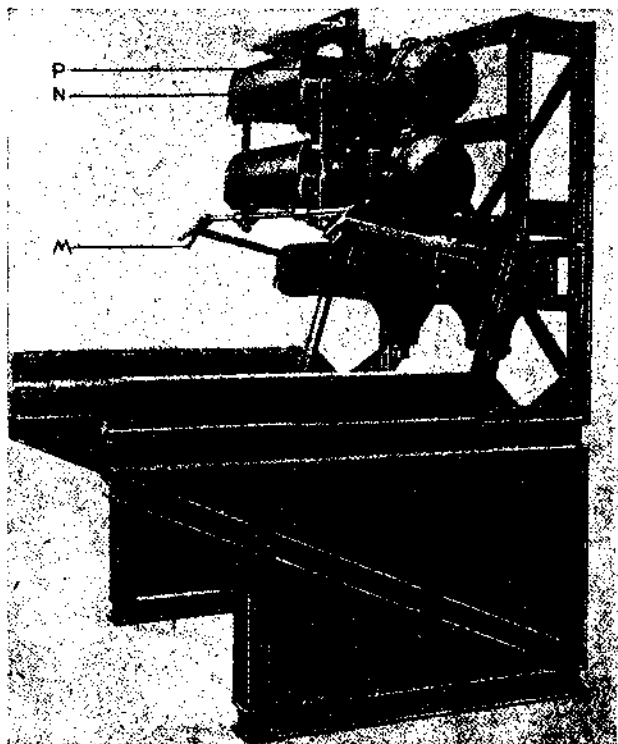
могло бы привести к чрезвычайно сильному искрообразованию, опасному как для самого прибора, так и для окружающих лиц, предусмотрена механическая блокировка всего шкафа, препят-



Фиг. 39. Выдвижное распределительное устройство бронированного типа. Вид спереди на неподвижную часть.

ствующая его выдвижению при замкнутом положении масляного выключателя  $S$ ; только когда этот выключатель разомкнут, т. е. ток не проходит через контакты  $K$ , эти последние могут быть выдвинуты из соответствующих гнезд. На наружной

стороне шкафа имеется лишь маховичек для управления выключателем  $S$  и амперметр  $M$  низкого напряжения, питаемый через измерительный трансформатор  $T$ <sup>1)</sup>.

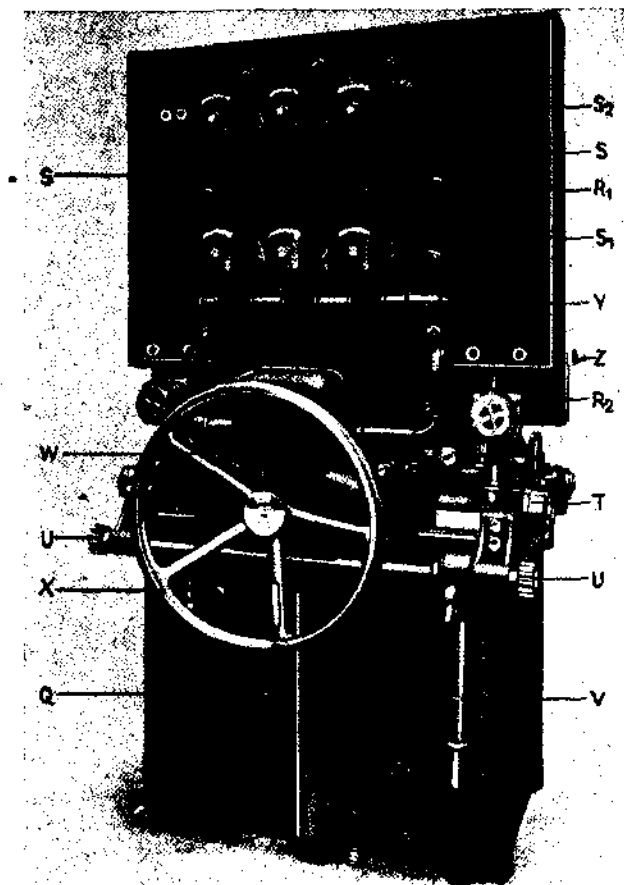


Фиг. 40. Выдвижное распределительное устройство бронированного типа. Вид сбоку на неподвижную часть.

В новейшее время принцип выдвижного устройства получил широкое распространение также в применении к распределительным системам бронированного типа, в которых все приборы, зажимы, провода и т. д. заключены в заземленную металлическую

<sup>1)</sup> Более подробные сведения о выдвижных распределительных устройствах новейшей конструкции можно найти в статье: E. Gasiorowski, Neue Schaltwagenformen. „AEG Mitteilungen“, 1930, Heft 4.

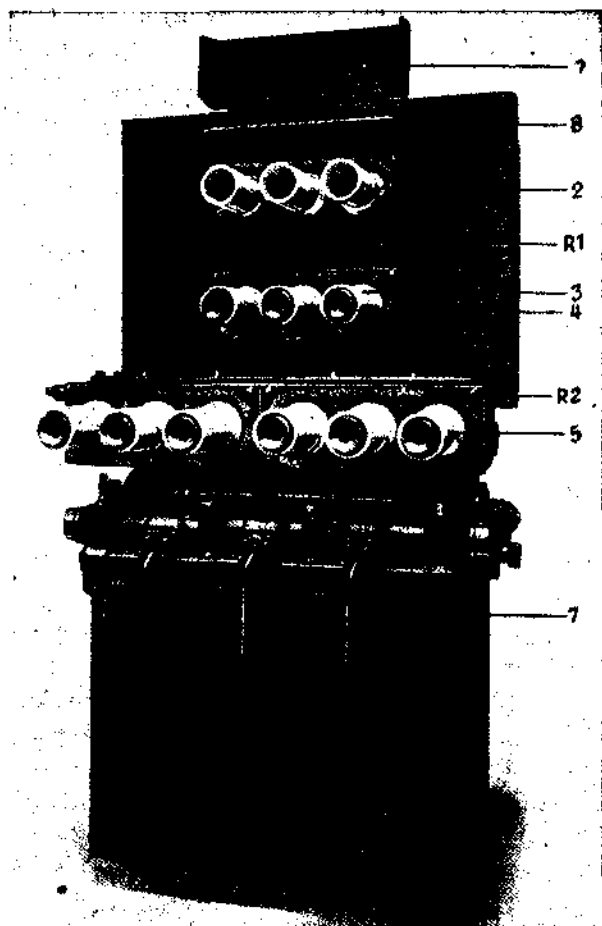
оболочку, являющуюся с одной стороны конструктивной частью устройства, а с другой стороны дающую надежную защиту от прикосновений к токоведущим частям. На фигурах 39—43



Фиг. 41. Выдвижное распределительное устройство бронированного типа. Вид спереди на выдвижную часть.

изображено подобное устройство фирмы Броун-Бовери, изготовленное в последние годы для оборудования подстанций и питательных пунктов Берлинской кабельной сети (напряжение 6000 V). Фигуры 39—42 изображают одну секцию распре-

делительного устройства, рассчитанную на длительную мощность в 3600 kVA и разрывную мощность в 15000 kVA, а фиг. 43 изо-



Фиг. 42. Выдвижное распределительное устройство бронированного типа. Вид сзади на выдвижную часть.

бражает помещение питательного пункта с секциями, примыкающими непосредственно одна к другой и установленными в два ряда по обе стороны среднего прохода.

Каждая секция состоит из двух частей, неподвижной и подвижной; последняя может быть выдвинута вперед в целях осмотра, ремонта, замены масла в выключателе и т. д. Неподвижная часть изображена на фиг. 39 (спереди) и 40 (сбоку); выдвижная часть — на фиг. 41 (спереди) и 42 (сзади). На неподвижной части, в чугунных коробках  $G$  и  $G_1$  (фиг. 39), залитых изолирующей массой<sup>1)</sup>, установлены два комплекта трехфазных сборных шин (рабочих и запасных), соединяющихся с шинами соседних секций специальными муфтами; в крайних в ряду секциях концы шин снабжены заделками в виде массивных колпаков  $P$  (фиг. 40), представляющих также защиту от прикосновения. Каждая шина соединена с одним из 6 штыковых контактов  $I$  и  $I_1$ , входящих в соответствующие гнезда 2 и 3, установленные на задней стороне подвижной части секции (фиг. 42). Как контакты, так и гнезда окружены чашеобразным изоляторами, также входящими попарно один в другой. В зависимости от того, какие из двойных шин работают, в соответствующие гнезда вставляются контактные втулки; согласно положению втулок 4 на фиг. 42, в данном случае работают нижние шины. С втулками механически соединены сигнальные приборы  $S_1$  и  $S_2$  (фиг. 41), дающие возможность снаружи определить, какие втулки вставлены, т. е. какие шины работают. Для присоединения двух трехфазных кабелей служат кабельные наконечники  $H$  (фиг. 39), соединенные с нижними штыковыми контактами  $K$ , по три контакта на каждый кабель; этим контактам соответствуют на выдвижной части устройства розетки 5 (фиг. 42). Кроме того имеется целый ряд мелких контактов  $L$  на неподвижной части и соответствующих им контактов 8 на подвижной части, служащих для подвода тока к сигнальным приборам и к обмоткам реле масляного выключателя.

Масляный выключатель установлен внизу подвижной части, внутри массивного кожуха  $Q$ , служащего резервуаром для масла; для выхода газов, образующихся при размыкании выключателя,

<sup>1)</sup> При заливке изолирующей массой могут быть уменьшены расстояния от токоведущих частей до внутренних стенок коробок и кожухов. Приведенные в таблице на стр. 207 минимальные числа относятся к расстояниям в воздухе.

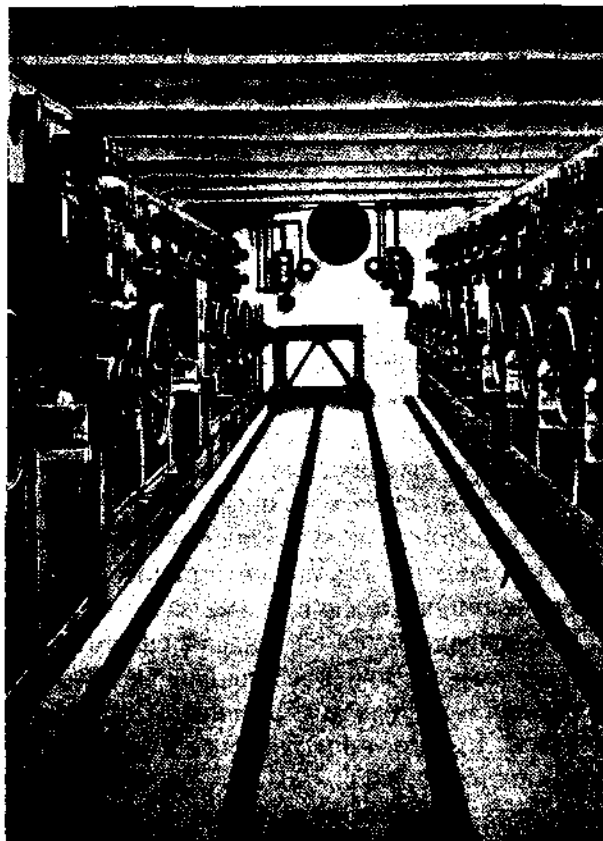
и для предупреждения опасного повышения давления внутри резервуара служат три выхлопные трубки 7 (фиг. 42). Выключатель приводится в действие от руки вращением колеса *X*, при посредстве передаточного механизма, заключенного в кожухе *W*. Вся подвижная часть опирается при помощи роликов *T* (фиг. 41) на рельсы *C* (фиг. 39), по которым подвижная часть может передвигаться; для этого передвижения служит особый приводный механизм, состоящий из зубчатых реек *D* и шестерен *U*. Передвигая вверх и вниз рычаг *V*, связанный храповым механизмом с валом шестерен, можно привести последнее во вращение и выдвинуть вперед всю подвижную часть со всеми приборами, без затраты большого физического усилия.

В рабочем положении выдвижной части все токоведущие части устройства надежно защищены от каких бы то ни было прикосновений при помощи как кожухов *Q*, *R*, *R*, так и прочной сплошной металлической стенки *S* (фиг. 41), совершенно закрывающей всю заднюю часть устройства с шинами, кабелями, контактами и пр. При выдвижении подвижной части вперед она совершенно отъединяется от источника тока и лишается напряжения. Однако при этом обнажаются штыковые контакты *I*, *I*, и *K*, к которым возможно случайное прикосновение при манипуляциях с приборами, находящимися на задней стороне выдвижной части. Для устранения этой опасности имеется специальное предохранительное приспособление, в виде щитков *N* (фиг. 40), закрывающих спереди указанные контакты, остающиеся под напряжением. Щитки приводятся в движение при помощи рычажного механизма, снабженного двумя вилками *M*. При движении выдвижной части устройства вперед, с этими вилками приходят в соприкосновение штифты *Z* (фиг. 41), и таким образом предохранительные щитки автоматически опускаются над токоведущими контактами; при движении же назад, в рабочее положение, щитки поднимаются и открывают контакты.

Несмотря на чрезвычайную компактность и весьма малые размеры описанного распределительного устройства (высота каждой секции — 2 м, ширина — 1 м и глубина — 1 м), оно, благодаря принятым мерам защиты, является более безопасным в отношении поражения электрическим током, чем просторные



распределительные устройства старого типа. В виду полного закрытия токоведущих частей ширина прохода допускается в 1 м, и все помещение подземного питательного пункта (под одной



Фиг. 43. Общий вид распределительного устройства бронированного типа.

из центральных площадей Берлина), изображенное на фиг. 43, получается действительно минимальным.

2. Вторичные распределительные устройства.

Переходя к вторичным распределительным устройствам, служащим для непосредственного распределения электрической

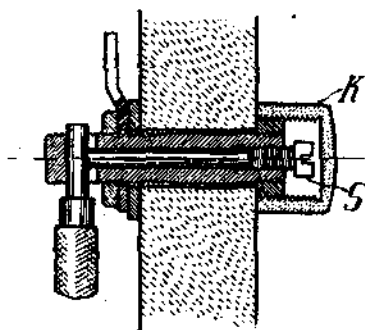
энергии между приемниками, нужно прежде всего сказать, что они в большинстве случаев устанавливаются не в специальных электромашиных помещениях, а в общих мастерских, дворах, лестницах, проходах и других помещениях производственных, общественных и жилых зданий. Такие устройства подлежат поэтому защите от случайных прикосновений при низком напряжении и полной защите от всяких прикосновений при высоком напряжении.

При низком напряжении защита очень часто осуществляется путем индивидуального закрытия голых токоведущих частей в каждом отдельном приборе, посредством изолирующих оболочек, металлических кожухов, чехлов, колпачков, и т. д. Подобные меры защиты будут рассмотрены в следующем разделе настоящей главы, а потому сейчас мы на них подробно останавливаться не будем.

Помимо токоведущих частей приборов, должны быть защищены и зажимы, голые провода и пр. Это правило имеет для небольших вторичных распределительных щитов особенное значение, ибо такие щиты большей частью делаются недоступными с задней стороны. Согласно же Правилам устройства электро-технических сооружений все соединения проводов на таких щитах должны быть вполне доступны для осмотра и отсоединения с лицевой стороны. В результате выполнения этого правила, необходимого в целях правильного надзора и эксплуатации установок, на открытую, лицевую сторону щита приходится выводить много голых токоведущих частей (зажимы, болты и пр.), которых не было бы, если бы задняя сторона щита была доступной. Примеры защиты от прикосновения зажимных болтов, выведенных на лицевую сторону щита, показаны на фиг. 44 и 45. На фиг. 44 проводник, находящийся на задней (на фигуре—левой) стороне щита, зажимается при помощи проходящего сквозь щит болта  $S$ , головка которого выступает на лицевой стороне; для защиты болта от прикосновения применяется колпачек  $K$  с внутренней нарезкой, сделанный из изоляционного материала (напр. эбонита). На фиг. 45 болт, проходящий через щит, соединяет между собой проводники, находящиеся по обеим сторонам щита. Передний зажимной винт помещается в выемке изолирующей

коробки, закрывающей со всех сторон токоведущие части и служащей упором для винта; боковое отверстие в коробке служит для ввода переднего проводника.

В случае, если не удастся защитить от прикосновений все токоведущие части на открытой лицевой стороне щита при

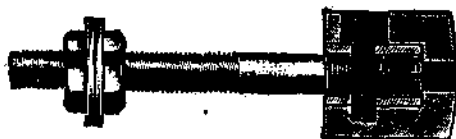


Фиг. 44. Ограждение зажимного болта на распределительной доске.

помощи индивидуальных покрытий и оболочек, прибегают иногда к устройству барьеров или поручней для защиты от случайных прикосновений. Подобное устройство показано на фиг. 46. Распределительным щит с двумя электромагнитными выключателями огражден барьером. Барьер сделан поворотным; на фиг. 46 слева барьер находится в рабочем положении, а справа он откинут вниз для производства ремонтных и установочных работ

при разомкнутых выключателях. В случае применения ограждений указанного типа необходимо тщательно следить за тем, чтобы при нормальной работе устройства ограждение было всегда в рабочем положении.

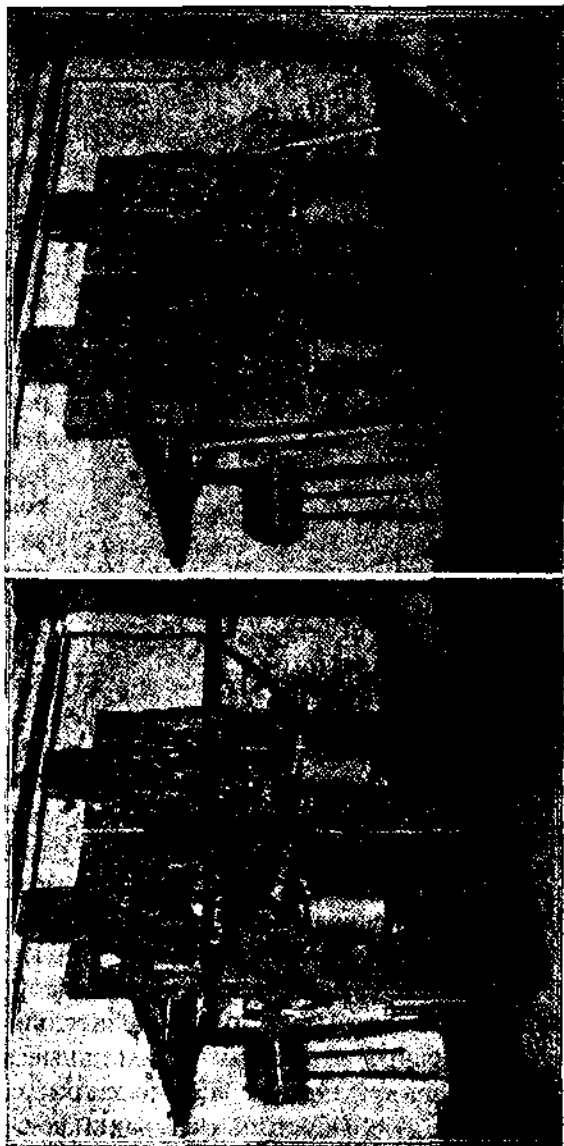
Распределительные щиты высокого напряжения, находящиеся вне электромашинных помещений, напр. в мастерских, обязательно должны быть так расположены или ограждены, чтобы была исключена возможность прикосновения, случайного или умышленного, к токоведущим частям, со стороны всего рабочего персонала, кроме электротехников, на обязанности которых лежит обслуживание распределительных устройств. На фиг. 47 показано сетчатое проводочное ограждение высоковольтного распределительного щита. Решетка ограждает щит полностью, как его заднюю, так и переднюю сторону; так как кроме того решетка начинается от пола



Фиг. 46. Ограждение зажимного болта.

и подымается на большую высоту (выше 2,5 м), получается совершенно надежное ограждение токоведущих частей высокого напряжения.

Нужно, однако, сказать, что решетки, барьеры, перегородки и т. п. ограждения, необходимые для старых, существующих установок, для новых и вновь проектируемых мало по малу теряют свое значение. Развитие современного аппарата строения идет в направлении полного закрытия всех токоведущих частей приборов и распределительных устройств, причем защитные покрытия в виде ящиков или кожухов являются органической, неотъемлемой частью приборов. Если такой тип приборов начинает распространяться для главных распределительных уст-



Фиг. 46. Ограждение распределительного щита посредством барьера.

роЙств (см. выше, фиг. 39—44), располагаемых в чистых и сухих электромашинных помещениях, как правило доступных только для квалифицированных электротехников, то тем более этот тип является рациональным и удобным для вторичных распределительных устройств.



Фиг. 47. Ограждение распределительного щита проволоочной решеткой.

Последние располагаются часто в помещениях пыльных, грязных и сырых, в зависимости от рода данного производства, а иногда и на открытом воздухе. Место, отводимое для этих устройств, обыкновенно невелико, так что устройство открытых щитов, а тем более окруженных специальными ограждениями, нередко весьма затруднительно. Наконец, эти устройства в большинстве случаев обслуживаются неэлектротехническим персоналом, как напр. пусковые устройства для электродвигателей, при-

водящих в движение станки, и пр.; только в случае ремонта приборы поступают в ведение электромонтеров.

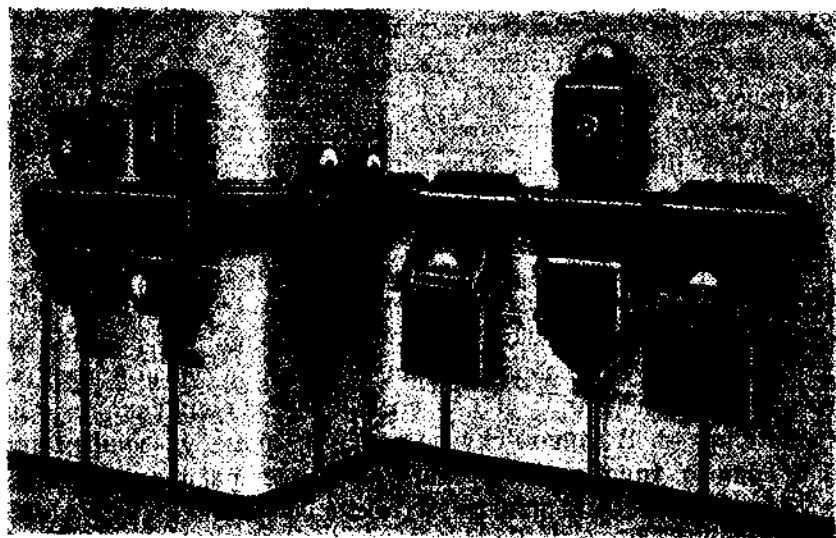
Все указанные выше условия привели к громадному развитию так называемых „закрытых“ распределительных устройств и приборов, заключенных в прочные и сплошные ящики или кожухи, большей частью чугунные, с плотно закрывающимися крышками или дверцами. Такие устройства занимают очень мало места, нечувствительны к вредным влияниям внешней среды (пыль, сырость), выносят грубое обращение (разные толчки, удары)

и, что самое главное, представляют, при заземленных кожухах, наилучшую защиту от прикосновений к токоведущим частям, не только случайных, но и умышленных, как со стороны обслуживающего неэлектротехнического персонала, так и вообще всех рабочих, находящихся в мастерской. Нужно пожелать поэтому, с точки зрения безопасности, возможно большего ускорения процесса замены цеховых распределительных устройств на мраморных досках, а также моторных и осветительных щитков, столь хорошо известных на каждом заводе, распределительными устройствами и приборами закрытого типа.

Распределительный ящик обыкновенно состоит из выключателя (рубильника), двух- или трехполюсного, в зависимости от рода тока, комплекта предохранителей, устройства для ввода кабелей или проводников и амперметра (последний не всегда). В таком виде распределительный ящик является предметом массового изготовления и может быть установлен практически в любом месте на стене, колонне, кронштейне и т. д. В случае надобности устанавливается рядом несколько ящиков, причем полученное таким образом распределительное устройство может быть сколь угодно расширено. Подобное устройство низкого напряжения (220 В, 400 А), состоящее из семи секций, показано на фиг. 48. В данном случае имеются кроме указанных ящиков обычного типа, также узкие закрытые распределительные коробки со сборными шинами, а также два ящика с масляными выключателями (первый и третий справа), предназначенными для большей нагрузки, чем прочие приборы. Как видно из фигуры 48, распределительное устройство может быть помещено в любом углу, в самом, казалось бы, неподходящем для электротехнического сооружения месте. Токоведущие части, даже при низком напряжении, недоступны для прикосновения; единственно, что выступает наружу из ящиков,— это шкалы измерительных инструментов и рукоятки выключателей.

Каждый распределительный ящик должен иметь крышку или дверцу для возможности доступа к внутренним частям при сборке, ремонте, смене предохранителей и пр. Нередко крышка устраивается только около предохранителей, ибо смена перегоревших предохранителей является наиболее частой операцией;

для доступа же к выключателю и к другим частям устройства нужно снять всю переднюю стенку ящика, укрепляемую на болтах. При устройстве ящика желательно, а при высоком напряжении и необходимо, предусмотреть механическую блокировку между крышкой или дверцей с одной стороны и выключателем с другой. Блокировка должна быть двойная, так, чтобы с одной стороны крышку нельзя было открыть при замкнутом выключателе, а с другой стороны выключатель нельзя было замкнуть



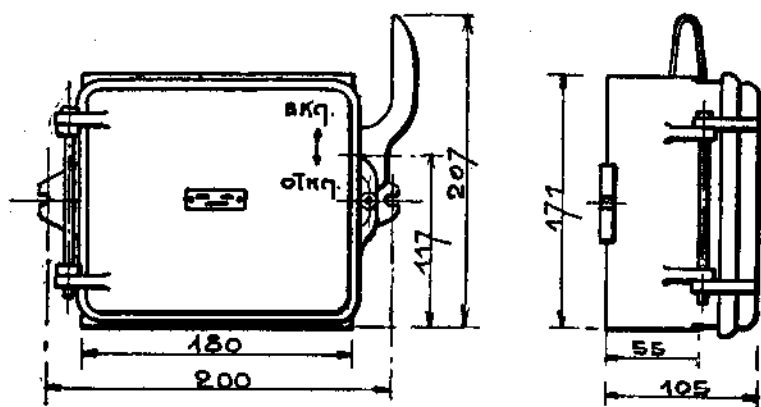
Фиг. 48. Распределительное устройство, состоящее из закрытых ящиков.

при открытой крышке. Так как при разомкнутом выключателе предохранители и другие доступные части отъединяются от источника тока, то при указанной блокировке исключается возможность доступа к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Не менее важна и получающаяся при этом защита от ожогов вследствие искр и вольтовых дуг, образующихся при смене предохранителей, если они находятся под током.

Распределительные ящики с указанной выше механической блокировкой изготавливаются у нас на Харьковском Электромеханическом Заводе ВЭО. Внешний вид ящика этого завода, типа

Я Р 25/III П для переменного тока и типа Я Р 25/II П для постоянного тока, показан на фиг. 49. В чугунном корпусе с уплотненной крышкой помещены предохранители для плавких пробок с нормальной резьбой и трехполюсный рубильник, замыкающий контакты с помощью роликов, укрепленных на валу с чугунной рукояткой. Ящики применяются для переменного тока до 25 А при 220—380 В и до 15 А при 500 В; для постоянного тока — до 25 А при 220 В и до 15 А при 440 В.

Схема механической блокировки, примененной в ящике Харьковского завода, показана на фиг. 50. На валу рубильника укреп-

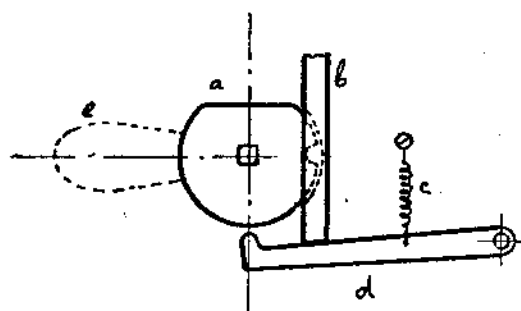
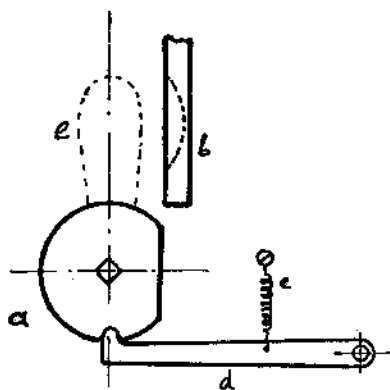


Фиг. 49. Закрытый распределительный ящик Харьковского Электромеханического Завода.

лен диск *a*, имеющий вид круга с одной срезанной стороной; кроме того на диске имеется выемка в виде маленькой канавки. В эту выемку западает конец защелки *d*, укрепленной на корпусе ящика и оттягиваемой вверх посредством пружины *c*. С крышкой ящика связан стержень *b*, имеющий выемку в виде сегмента, соответственно форме диска *a*. Когда крышка открыта (фиг. 50 сверху), стержень *b* находится в верхнем положении, а защелка *d*, под действием пружины *c*, препятствует вращению диска, а вместе с тем и вала рубильника; рубильник в это время разомкнут, и его нельзя замкнуть. Когда же крышка закрывается (фиг. 50 снизу), стержень *b* передвигается вниз и отжимает защелку *d*,



освобождая вал рубильника, который может быть замкнут. С другой стороны, при замыкании рубильника, когда его вал поворачивается на  $90^\circ$ , а рукоятка *e* занимает горизонтальное положение, показанное на фиг. 50 снизу, в выемку в стержне *b* заходит часть диска *a*, вследствие чего стержень не может быть



Фиг. 50. Схема механической блокировки закрытого ящика.

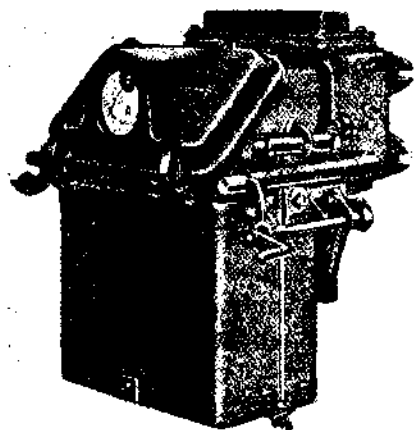
поднят, а связанная с ним крышка не может быть открыта. При разомкнутом же рубильнике (фиг. 50 сверху) против стержня *b* оказывается срезанная сторона диска *a*, передвижение стержня не встречает препятствий, и крышка может быть открыта.

Для напряжения до 750 V (и для силы тока от 60 до 350 А фирма AEG изготавливает небольшие закрытые масляные выключатели для укрепления на стене. По своему внешнему виду и размерам эти выключатели немного отличаются от обычных распределительных ящиков с рубильниками, как это видно на фиг. 48, на которой

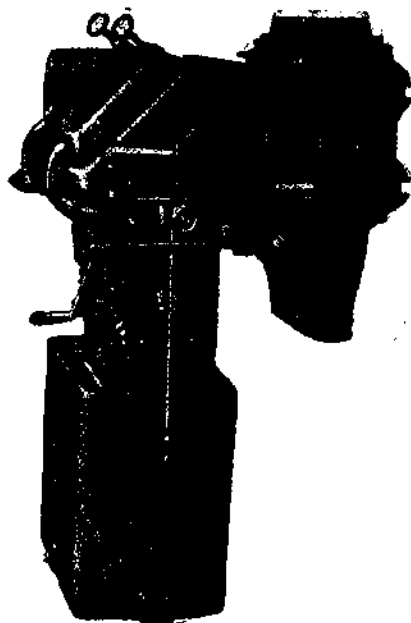
среди других ящиков изображены два ящика с масляными выключателями. Последние имеют преимущество перед воздушными выключателями или рубильниками в смысле безопасности и надежности действия, в особенности для помещений с парами и газами, представляющими опасность в отношении взрыва (напр., на газовых заводах, во многих химических производствах и т. д.). Погружение контактов в масло вполне предохраняет

их, а следовательно и образующиеся при размыкании вольтовой дуги, от соприкосновения с опасными газами.

Закрытый масляный выключатель фирмы АЕГ для вторичных распределительных устройств изображен на фиг. 51 в собранном, рабочем положении, и на фиг. 52, 53 и 54 — в открытом положении и разобранном виде, для целей осмотра, замены масла и сборки. Весь ящик состоит из трех частей, одной задней и двух передних. В задней части, примыкающей



Фиг. 51. Закрытый масляный выключатель в рабочем положении.

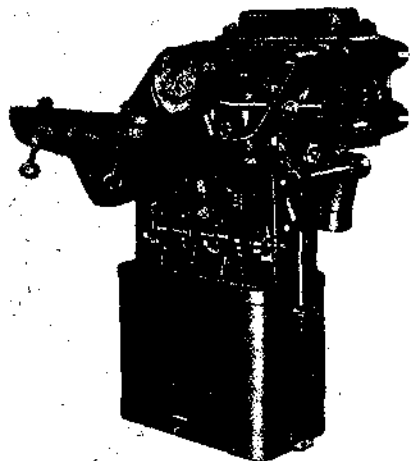


Фиг. 52. Закрытый масляный выключатель. Передняя часть выдвинута, резервуар для масла опущен.

к стене, укреплены кабельные наконечники, присоединительные зажимы, а также пружинные контакты разъединителя<sup>1)</sup>, хорошо видные на фиг. 54 слева. Соответствующие этим контактам ножи помещаются в верхней передней коробке, снабженной крышкой (фиг. 51—53). Эти же ножи хорошо видны на фиг. 54 справа, пред-

<sup>1)</sup> Применение разъединителей при масляных выключателях, согласно действующим у нас правилам, обязательно для напряжений свыше 1500 В; фактически, однако, разъединители применяются обычно и при меньших напряжениях, что следует признать весьма важным с точки зрения безопасности обслуживания.

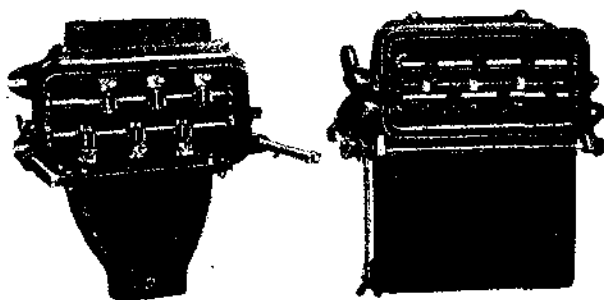
ставляющей вид сзади на передние две части ящика, отъединенные от задней части. В верхней передней коробке находится приводный валик выключателя,



Фиг. 53. Закрытый масляный выключатель. Передняя часть выдвинута, резервуар опущен, крышка открыта.

с выступающей наружу рукояткой, устройство для установки времени и расцепляющий механизм максимального релэ, связанного с выключателем, а также амперметр. Самый же выключатель, равно как и катушки максимального и нулевого релэ, находятся в передней нижней части ящика, представляющей резервуар для масла; таким образом не только контакты выключателя, но и катушки, в целях лучшей изоляции и охлаждения, погружены в масло. Вся передняя часть ящика, вместе с масляным резервуаром, может быть

без труда выдвинута вперед, ибо она опирается втулками на круглые направляющие стержни, укрепленные в задней



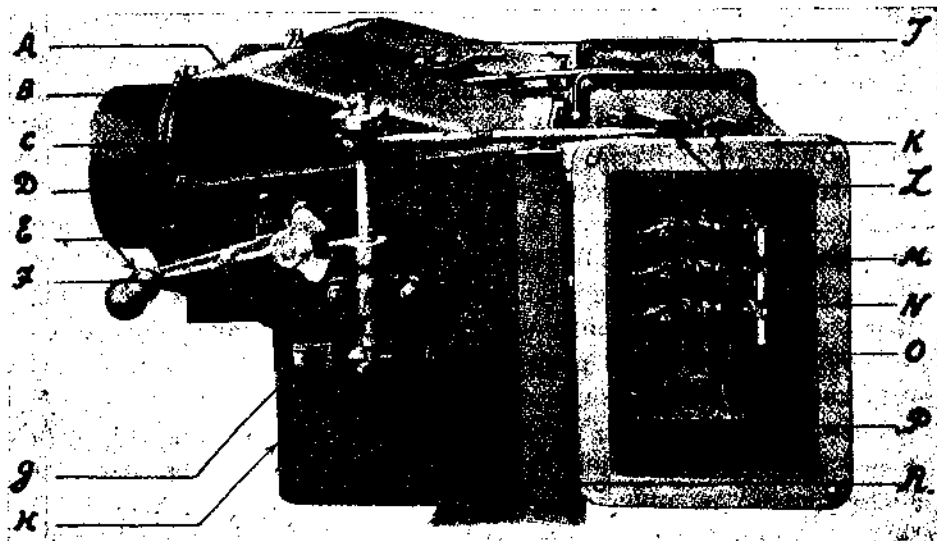
Фиг. 54. Закрытый масляный выключатель в разобранном виде.

части (фиг. 51 и 52). При этом выдвижении ножи разъединителя выходят из соприкосновения с пружинными контактами, и вся передняя часть отъединяется от источника тока.

Эта операция, однако, возможна только при разомкнутом положении выключателя, благодаря механической блокировке, связывающей механизм для выдвижения с рукояткой выключателя; таким образом, опасное размыкание разъединителя под током не может иметь места.

Дальнейшие блокировочные устройства связывают механизм для выдвижения с крышкой в передней верхней части ящика, открывающей доступ к амперметру и к приспособлению для установки времени действия максимального релэ. Эта крышка может быть открыта при помощи специальных ключей, показанных на фиг. 52 и 53, только в выдвинутом положении передней части ящика, а последняя может быть вдвинута назад, в рабочее положение, только при закрытой крышке. Для осмотра контактов выключателя, выпуска и наливания масла, нижний кожух или резервуар опускается вниз по вертикальным направляющим стержням (фиг. 52 и 53). Для облегчения этой работы служит подъемный механизм, состоящий из зубчатой рейки и шестерни, пары передаточных конических шестерен, валика, храпового устройства и рычага с рукояткой. Подъемный механизм связан с выдвижным такой же механической блокировкой, как и передняя крышка, т. е. резервуар может быть опущен лишь в выдвинутом состоянии передней части, а последняя не может быть вдвинута при опущенном резервуаре. Таким образом совершенно исключается возможность прикосновения к каким бы то ни было токоведущим частям в передней части ящика, если они находятся под напряжением. Возможность прикосновения к остающимся под напряжением пружинным контактам и контактам в задней части ящика, когда передняя часть выдвинута, также устранена, ибо эта часть нормально закрыта специальной защитной стенкой, в отверстия которой проходят ножи разъединителя. И только при сборке, присоединении кабелей и крупном ремонте, вся передняя часть ящика, после удаления укрепительных болтов, снимается совсем, после чего могут быть открыты задние токоведущие части (фиг. 54). Описанное устройство является глубоко продуманным во всех своих деталях и обладает высокими качествами в смысле безопасности и удобства обслуживания.

Другая конструкция закрытого распределительного устройства с масляными выключателями английской фирмы Metropolitan-Vickers изображена на фиг. 55. Каждая секция состоит из следующих частей: амперметр *В* в чугунном кожухе, чугунный ящик *С* с крышкой *А*, под ним — сварной железный резервуар *Н* для масла, сзади — камера *К* со сборными шинами *Л* и разъединителем *М*, контакты которого *О* укреплены на



Фиг. 55. Закрытое распределительное устройство с масляными выключателями.

изолирующих стержнях *Р*. Масляный выключатель занимает всю переднюю часть устройства, при чем снаружи ящика выступает ручка выключателя *Е* и блокировочное устройство *Ф* между ручкой и вертикальным валом, поворот которого (при помощи особого ключа) приводит в действие разъединитель, посредством особой тяги. Блокировочное устройство *Ф* в виде вилки, соединяющейся с кулаком на вертикальном валу, действует таким образом, что разъединитель не может быть разомкнут, пока выключатель замкнут, а выключатель не может быть замкнут, пока разъединитель разомкнут. Другими словами, как

размыкание, так и замыкание тока может производиться только выключателем, но не разъединителем. Другое блокировочное устройство *I* в виде штифта, сцепляющегося с выступом на крышке *A*, допускает снятие и установку крышки только при разомкнутом разъединителе; такого же вида устройство *R* допускает снятие и установку масляного резервуара *H* только при разомкнутом разъединителе. Таким образом доступ к внутренним частям масляного выключателя возможен только, когда они отъединены от источника тока. Кроме того имеется запор *L*, посредством которого можно, действуя специальным ключом, укрепить разъединитель в разомкнутом положении и предупредить случайное его замыкание во время осмотра выключателя, наполнения резервуара маслом и т. д. Для наблюдения за уровнем масла в резервуаре служит указательная трубка *G*.

В заключение настоящего раздела следует упомянуть об устройстве рычагов, рукояток, маховичков и других органов управления на распределительных щитах, ящиках и т. д. Эти органы должны быть особенно тщательно защищены от возможности появления на них напряжения, ибо с ним обслуживающий персонал наиболее часто соприкасается, причем электрический контакт, в виду плотного обхвата, получается очень хороший. Необходимым условием безопасности должна быть вполне надежная изоляция, в соответствии с применяемым напряжением, приводного механизма от токоведущих частей; в частности, должна быть изолирована ось, на которой насажен рычаг или маховичек. Но кроме того необходимо принять меры против появления на рукоятках и маховичках опасного напряжения даже в случае повреждения указанной изоляции приводного механизма. Наиболее желательным, с этой точки зрения, является применение для рукояток изолирующих материалов, которые, однако, при значительных размерах приборов, оказываются недостаточно прочными. Нередко поэтому применяют металлические рукоятки, покрытые изолирующим слоем; последний должен быть при этом достаточной толщины и не должен иметь изъянов и трещин. Наконец, применяются и металлические рукоятки и маховички без изолирующего

слоя, но в таком случае они должны быть обязательно заземлены.

При напряжениях свыше 1000 V (т. е. при высоких напряжениях в смысле классификации, приведенной в главе IV) применение изолирующего материала или изолирующего слоя не может служить достаточной защитой в виду того, что наиболее пригодные и обычно применяющиеся в этих случаях материалы, как эбонит, фибра и т. п., ненадежны при указанных напряжениях, не говоря уже о возможности повреждений этих материалов. Поэтому изолирующие рукоятки или маховички (состоящие целиком из изолирующего материала или только покрытые таковым), при напряжениях начиная от 1000 V, должны быть так устроены, чтобы между лицом, пользующимся рукояткой, и токоведущими частями прибора имелось заземленное место. Заземлению обычно подвергается ось рукоятки или какаянибудь другая металлическая часть приводного механизма. Таким образом, может быть предотвращена опасность появления высокого напряжения на рукоятке даже в случае повреждения изоляции.

#### **d. Электрические приборы.**

Под электрическими приборами подразумеваются выключатели, штепсельные соединения, предохранители, измерительные инструменты, реостаты и др. Отдельно стоят, с точки зрения безопасности обслуживания, переносные электрические приборы, которые будут рассмотрены в особой главе (глава VIII).

1. **Выключатели.** К сказанному в предыдущем разделе относительно защиты выключателей в распределительных устройствах остается теперь прибавить только то, что касается отдельно устанавливаемых приборов. Эти выключатели, применяемые преимущественно для низкого напряжения, можно разделить на два главных класса: рубильники и коробчатые или комнатные выключатели.

Как рубильники, так и коробчатые выключатели должны быть так сконструированы и установлены, чтобы при размыкании их при нормальной нагрузке не образовалось продолжи-

тельной вольтовой дуги<sup>1)</sup>, что имеет большое значение для защиты от ожогов. Достигается это требование, кроме надлежащих размеров и конструкции контактов, главным образом путем применения пружинных механизмов, дающих возможность мгновенно размыкать выключатели. Все выключатели рассматриваемых типов должны как правило быть мгновенного действия.

Рубильники низкого напряжения, устанавливаемые в электромашиных помещениях, могут, согласно общим правилам, не иметь защиты от прикосновений; поэтому, например, они могут быть установлены на лицевой стороне щита и в то же время не иметь предохранительного покрытия. В этих случаях необходимо позаботиться о защите от ожогов вследствие вольтовых дуг, хотя бы и непродолжительных, образующихся при размыкании выключателя. Для уменьшения возможности ожогов контакты рубильников должны располагаться в вертикальной плоскости, а рукоятка вместе с контактными ножами при выключении должна двигаться вниз, а не вверх; таким образом рука окажется под местом образования вольтовой дуги, распространяющейся вверх.

Рубильники, устанавливаемые вне электромашиных помещений, должны быть либо снабжены предохранительными покрытиями в виде кожухов или чехлов, либо так устроены, чтобы их токоведущие части были спереди недоступны. Последнее достигается применением рычажной передачи от рукоятки к ножевым контактам, располагаемым на задней стороне щитка подобная конструкция стандартного рубильника ВЭО (тип S) на шиферной плите показана на фиг. 56.

Что касается предохранительных кожухов рубильников, то они, как и рукоятки, должны быть либо заземлены, либо сделаны из непроводящего ток материала, или же покрыты изолирующим слоем достаточной толщины. Кожухи или колпаки должны полностью покрывать токоведущие части, как это пред-

---

<sup>1)</sup> В электромашиных помещениях это правило должно быть соблюдено только для той силы тока, для выключения которой выключатели предназначены; сила тока выключения может быть значительно меньше полного рабочего тока.



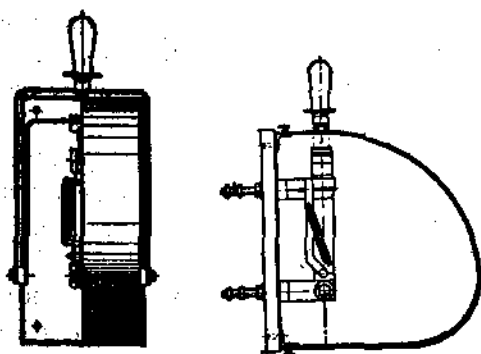
ставлено на фиг. 57, изображающей стандартный закрытый рубильник ВЭО с двухсторонним рычагом в виде бугеля; эта конструкция имеет то большое преимущество, что не допускает



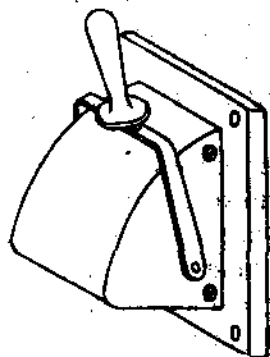
Фиг. 56. Рубильник с рычажной передачей.

снятия колпака без разборки всего рубильника. Внешний вид рубильника подобной же конструкции показан на фиг. 58. Раньше были в большом ходу рубильники, у которых кожухи имели открытые щели, предназначенные для перемещения рычага с рукояткой. В настоящее время применение подобных кожухов воспрещено, ибо как показал опыт, подобные кожухи не дают защиты от ожогов вследствие вольтовых дуг, выбивающихся при раз-

мыкании из щели. Кожухи должны быть прочно прикреплены к основной плите рубильника, составляя органическую часть всей конструкции. Не привинчиваемые, легко снимающиеся



Фиг. 57. Закрытый рубильник.



Фиг. 58. Внешний вид закрытого рубильника.

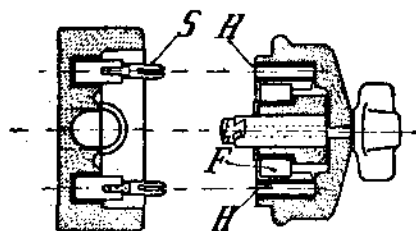
чехлы или футляры не должны допускаться, ибо они оказываются чаще всего не на месте.

Коробчатые или комнатные выключатели, служащие главным образом для размыкания тока в лампе или в небольшой группе

ламп, представляют большой интерес с точки зрения защиты от прикосновения, в виду своего исключительного распространения среди широких масс населения. Ось коробчатого выключателя должна быть хорошо изолирована от токоведущих частей, ибо в противном случае, при поломке ручки, может обнажиться часть, находящаяся под напряжением. Сама ручка должна быть из изолирующего материала; она делается, как и цоколь выключателя, из фарфора, стеатита, или из синтетического изолирующего материала. Все выключатели рассматриваемого типа обязательно должны быть снабжены предохранительным покрытием в виде коробки или чехла, совершенно закрывающего все токоведущие части (отсюда и название — коробчатый выключатель). Коробка, так же как и ручка и цоколь, должна быть сделана из изолирующего материала; для коробок часто применяют синтетические материалы (гуммон, пувволит, бакелит и пр.). Прежде обыкновенно применялись металлические защитные коробки и металлические ручки; подобные выключатели старых типов еще и теперь довольно широко распространены. В виду того, что заземление таких мелких и повсеместно распространенных частей, как коробки выключателей, практически неосуществимо, следует признать недопустимым применение металлических коробок и ручек и принять все меры к скорейшей замене выключателей старой конструкции новыми, не имеющими никаких наружных металлических частей.

Далее, выключатель должен быть так устроен, чтобы его разборка при ремонте, присоединении оборвавшегося провода и т. д., сопровождающаяся снятием коробки и обнажением токоведущих частей, могла быть произведена лишь при помощи специальных инструментов. Это достигается применением запорных винтиков, утопленных глубоко в ручке выключателя, с тем, чтобы вывинчивание возможно было только посредством специальной очень тонкой отвертки (применение утопленных винтиков важно также и для того, чтобы на внешней поверхности выключателя не было металлических частей). Таким образом доступ к внутренним частям выключателя возможен, как правило, лишь для электромонтеров, а не для всех лиц, пользующихся выключателем.

Дальнейшая защита от прикосновения к токоведущим частям коробчатого выключателя при его ремонте может быть осуществлена путем применения разъемных выключателей, подобных тому, который изображен на фиг. 59 (выключатель типа „Зета“ фирмы Сименс-Шуккерт). Выключатель состоит из двух частей, одной неподвижно установленной (цоколь) и другой съемной; все части, которые подвержены износу и могут нуждаться в осмотре или ремонте, именно подвижные и неподвижные контакты  $F$ , а также ось выключателя, укреплены на съемной части. Подвод тока к съемной части совершается при помощи штепсельного соединения, состоящего из контактных штифтов  $S$ , укрепленных в цоколе, и соответствующих им гнезд  $H$ , имеющихсся в съемной части.



Фиг. 59. Разъемный выключатель.

Вывинтив запорный винтик специальной отверткой, можно снять всю переднюю часть выключателя, отъединяя при этом его контакты от источника тока; таким образом работы по исправлению контактного механизма могут быть произведены вполне безопасно, при полном устра-

нении возможности прикосновения к токоведущим частям под напряжением. Роль защитной коробки исполняет в данном случае самый корпус съемной части, сделанный, как и ручка, из изоляционного материала. Постановка съемной части на неподвижную часть выключателя типа „Зета“ показана на фиг. 60.

При расположении коробчатых выключателей необходимо учесть возможность случайного их повреждения проходящими мимо лицами или проносимыми предметами. Поэтому в узких проходах следует устраивать выключатели в специальных углублениях в стенах. В случаях применения выключателей коробчатого типа для тяжелых условий работы, в заводской обстановке, их следует устраивать в чугунных коробках, но в таком случае необходимо, как и для всех выключателей, заземление коробки или кожуха. Комнатные выключатели в жилых домах следует располагать на высоте не менее 1,1—1,2 м

от пола, с тем, чтобы они были недоступны для детей, которые при игре могли бы сорвать крышку и обнажить токоведущие части.

2. Штепсельные устройства. Штепсельные соединения требуют к себе особенного внимания с точки зрения безопасности по следующим причинам: 1) они содержат в себе контакты разной полярности, расположенные на весьма близком расстоянии друг от друга, а потому представляют повышенную опасность в отношении прикосновения к токоведущим частям, а также коротких замыканий; 2) штепселя обыкновенно служат для присоединения подвижных проводов и переносных приемников тока, повреждения в которых случаются гораздо чаще, чем в неподвижных проводах и приемниках; включение приемников нередко происходит в условиях короткого замыкания, полного или частичного; 3) грубое обращение с штепселем, в частности вытаскивание вилки путем дергания издали подвижного провода, как это часто практикуется, приводит к быстрому расстройству штепсельного соединения и заставляет потребителей прибегать к самочинным ремонтам, связанным с большой опасностью прикосновения, и 4) плавкий предохранитель в штепсельной розетке, если он имеется, является постоянным источником опасности, ибо смена перегоревшей вставки (вернее замена вставки куском проволоки, как это обычно имеет место) производится потребителем, как правило, под напряжением и без принятия каких либо мер предосторожности.

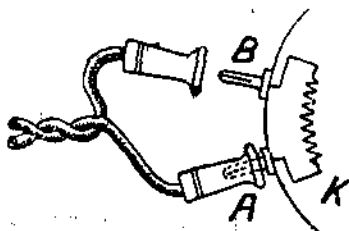


Фиг. 60. Сборка разъёмного выключателя.

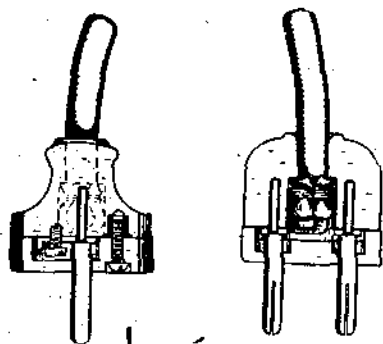
Основным правилом для штепсельных соединений, служа-

щих для питания ламп и других переносных приемников тока, является соединение розетки с неподвижно установленными питающими проводами, и вилки — с переносным шнуром, а не наоборот. Если бы вилочные контакты или штифты оставались всегда присоединенными к источнику тока, то при разомкнутом штепсельном соединении их было бы трудно оградить от прикосновения, во всяком случае труднее, чем гнезда или гильзы розетки. Устройство переносных проводов с штепселями на обоих концах также недопустимо, ибо контакты штепселя, не вставленные в розетку приемника тока, при втором штепселе, присоединенном к сети, были бы открыты для прикосновения. Таким образом контакты штепселя, вынутые из гнезд, никогда не должны быть под напряжением. Кроме того, при введении вилки, контакт между штифтами и токоведущими гильзами розетки должен получиться только тогда, когда уже нельзя прикоснуться пальцами к штифтам, и возможно прикосновение лишь к изолирующему покрытию вилки; это обыкновенно достигается надлежащей конструкцией предохранительной крышки с отверстиями, закрывающей токоведущие части розетки. Эта же крышка должна быть, кроме того, так устроена и соразмерена, чтобы была исключена возможность однополюсного контакта (или же двухполюсного при трехполюсном штепселе), при втором штифте, выступающем за край крышки. В противном случае второй открытый штифт, присоединенный к сети через приемник тока, т. е. будучи под напряжением, оказался бы доступным для прикосновения. Равным образом нельзя допускать и возможности такого перекося вилки при введении ее в розетку, который позволил бы коснуться пальцем одного из штифтов, когда второй уже прикоснулся к своей гильзе. По этой же причине следует признать совершенно недопустимым применение штепселя, состоящего из двух отдельных штифтовых контактов, втыкаемых в гнезда независимо друг от друга. Подобное неправильное устройство, состоящее из двух штифтов и двух отдельных гильз, изображено на фиг. 61; свободный штифт *В*, хотя и не имеющий контакта с соответствующей гильзой, находится, однако, под напряжением, будучи соединенным с сетью через обмотку приемника *К*.

Далее, штепсели должны быть так устроены, чтобы провода, в местах их соединения с вилочными штифтами, не испытывали натяжения. В случае передачи усилий на эти места (напр. при грубом обращении со штепселем, дергании за провод и т. п.), штепсельные контакты постепенно ослабевают, что может повести к образованию искр, повреждению изоляции и короткому замыканию внутри штепселя. На фиг. 62 изображен штепсель хорошей прочной конструкции, в котором контактные места освобождены от натяжения посредством узла на шнуре, плотно сидящего в выемке верхней части разъемного штепселя.



Фиг. 61. Неправильное штепсельное устройство.



Фиг. 62. Штепсель прочной конструкции.

Штепсельная розетка обязательно должна быть снабжена плотно сидящей съемной крышкой из изолирующего материала, крышка, равно как и доколь розетки, делается большей частью из фарфора или стеатита, реже из синтетических изолирующих веществ. Металлические крышки и кожухи применяются только для штепсельных устройств заводского типа, о которых будет речь ниже; в штепселях комнатного типа металлические крышки не должны допускаться. Крышка должна полностью покрывать токоведущие части, укрепленные на доколе розетки; в частности должна быть устранена возможность прикосновения к контактным гильзам, которые для этого должны быть установлены достаточно глубоко под крышкой. Само собой разумеется, умышленного прикосновения к контактам розетки, путем введения

через отверстия в крышке гвоздей, иголок, проволок и т. п., устранить нельзя, и с этой опасностью приходится считаться. Для предупреждения подобных шалостей со стороны детей, розетки должны быть устанавливаемы на достаточной высоте, не менее 1,1—1,2 м от пола. Винт, соединяющий крышку розетки с цоколем, желательно устраивать утопленным в теле крышки, во-первых для того, чтобы на внешней поверхности розетки не было металлических частей, могущих при повреждении оказаться под напряжением, а главным образом, для того, чтобы сделать снятие крышки без помощи ключа или отвертки особой формы затруднительным. Это относится в особенности к розеткам без предохранителей; снятие крышек в этом случае нужно только при переносе штепселя на другое место и т. п. работах, и должно производиться, как правило, только электромонтерами, а не потребителями.

Из изложенного можно уже усмотреть, что применение плавких вставок в розетках штепсельных устройств обычного типа следует признать вообще нежелательным с точки зрения безопасности. Действительно, как было уже выяснено, операция смены предохранителей самими потребителями является несомненно опасной, а между тем прибегать к услугам электромонтеров для таких мелких ремонтов потребители обыкновенно не склонны, если могут это сделать сами. С другой стороны, эти предохранители сплошь да рядом не выполняют своего назначения, ибо оказываются замененными кусками проволоки.

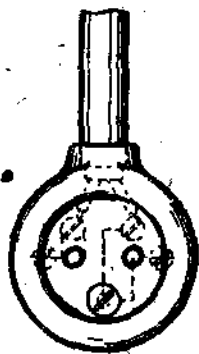
Более безопасными являются розетки типа „Зета“, в которых предохранитель расположен на съемной крышке, а не на нижней, неподвижной части розетки. Предохранительная пластина может быть поставлена на место или снята лишь когда крышка розетки снята с нижней части и не находится под напряжением. Эта операция показана на фиг. 63. Весьма рациональными с точки зрения безопасности являются розетки нового типа (фиг. 64), у которых, смена предохранительных вставок может происходить без снятия крышки; предохранительная вставка здесь пробочного типа и может быть вывинчена извне, без прикосновения к токоведущим частям. В Германии подобные розетки получили широкое распространение, применение же

розеток с предохранительными пластинками, расположенными внутри, новыми Германскими правилами не допускается.

Замена предохранителей могла бы быть также вполне безопасной, если бы предохранители были монтированы не на розетке, а в штепсельной вилке, ибо в этом случае смена вставки на вынутой вилке происходила бы не под напряжением. Однако, правила безопасности как раз запрещают устройство предохранителя в штепсельной вилке; причиной этого является опасность ожога, если плавкая вставка перегорит в момент введения вилки в розетку, что может иметь место при коротком замыкании или другом повреждении на переносном приемнике, подключаемом к сети через штепсель. Кроме того, предохранители, установленные в штепсельной вилке,



Фиг. 63. Штепсельная розетка с предохранителем на съемной части.



Фиг. 64. Штепсельная розетка с предохранителем пробочного типа.

не защищали бы установку от коротких замыканий вследствие повреждений внутри самой розетки или вследствие умышленного втыкания металлических предметов в отверстия розетки.

В случаях повышенной опасности поражения людей электрическим током, например в помещениях сырых, особо сырых, с проводящей пылью и т. д., совсем не следует применять штепсельных розеток с предохранителями. Если же требуется защита переносного приемника, то необходимо в таких случаях ставить от-

дельные предохранители обычного типа. Тем более это относится к установкам высокого напряжения, в которых предо-



хранители должны обязательно устанавливаться вне штепсельных соединений.

Кроме штепсельных соединений комнатного типа существуют более крупные штепсельные устройства, приспособленные для промышленных установок. Эти устройства снабжены обыкновенно сплошными металлическими покрытиями в виде чугунных ящиков или коробок; подобная конструкция закрытого штепсельного соединения для низкого напряжения фирмы АЕС изображена на

фиг. 65. Нижняя часть, представляющая вилку, также смонтирована в металлическом заземленном кожухе, имеющем прилив для ввода кабеля. Введенная в штепсельную коробку вилка прочно удерживается на своем месте защелкой в виде крышки, зацепляющейся за выступ на вилке. Другая крышка, открываемая только при помощи специального инструмента, служит для доступа внутрь штепсельной коробки в случае необходимости осмотра, ремонта и т. д. Данное устройство имеет кроме того приспособление для заземления нулевого подвижного провода, соединенного с переносным приемником, до взаимного прикосновения штепсельных контактов. О подобных приспособлениях будет сказано подробнее в главе VIII (см. стр. 408—410).

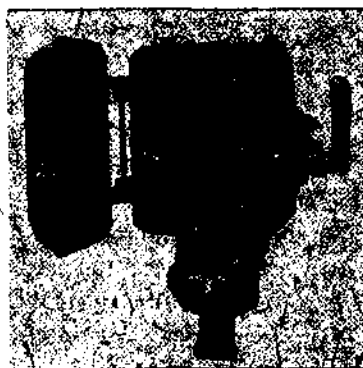
Фиг. 65. Штепсельное устройство в металлической коробке.

При мощности более 2,5 kW и при силе тока более 25 А, а для высокого напряжения при любой мощности и силе тока, размыкание

штепсельных контактов под током является недопустимым, в виду связанной с этим опасности ожогов от сильных вольтовых дуг. Поэтому в указанных случаях необходимо применение особого выключателя, служащего для размыкания цепи, помимо штепсельных контактов. Этот выключатель, для достижения действительной защиты, должен быть связан с штепсельным устройством механической блокировкой таким образом, чтобы вставка и вынимание вилки были возможны лишь при разомкнутом выключателе. Подобное устройство штепселя, соединенного с выключателем, монтированное в чугунной коробке, показано на фиг. 66.

3. Предохранители. Предохранители, служащие для защиты частей электрических установок от перегрузок и связанных с этим опасностей недопустимого повышения температуры, пожара, повреждения изоляции, короткого замыкания и т. д., сами по себе, однако, могут явиться серьезным источником опасности в отношении электрических ударов и ожогов, если не принять надлежащих мер предосторожности. В этом отношении неблагоприятным фактором является то, что предохранители, по условиям своей работы, гораздо чаще других элементов электрических установок подлежат ремонту, состоящему в замене плавкой вставки, а всякий ремонт связан с возможностью прикосновения к токоведущим частям. Не менее важным является то обстоятельство, что предохранители, как приборы, не предназначенные для размыкания электрических цепей, дают при своем перегорании вольтову дугу, которая считалась бы совершенно недопустимой для всякого выключателя. В виду присутствия легкоплавкого металла вольтова дуга сопровождается обыкновенно образованием в большом количестве брызг расплавленного металла и горячих металлических паров. Вследствие этого предохранитель является прибором со специфической опасностью в отношении ожогов и повреждений глаз, которые возможны как при случайном нахождении людей около предохранителей в момент их перегорания, так в особенности при обслуживании самих предохранителей (наиболее опасный случай — перегорание новой вставки в момент ее установки на место) и расположенных рядом с ними выключателей. Большая часть ожогов и повреждений глаз, случающихся при эксплуатации электрических установок, падает именно на предохранители.

Основное требование безопасности для предохранителей заключается в том, чтобы смена плавкой вставки происходила без при-



Фиг. 66. Штепсельное устройство, соединенное с выключателем.

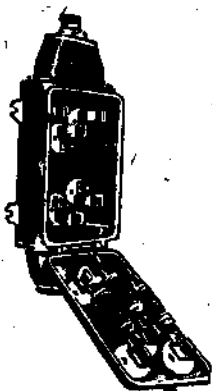
косновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Это может быть достигнуто либо применением выключателя или разъединителя в одной цепи с предохранителем, для выключения напряжения при смене вставки, либо же таким устройством предохранителя, которое позволило бы заменить плавкую вставку без прикосновения к токоведущим частям.

Первый способ (применение выключаемых предохранителей) требует отключения цепи на всех полюсах или фазах. Так это обыкновенно и устраивается для сколько-нибудь значительных приемников, напр., двигателей, больших групп ламп и т. п. Кроме того, с точки зрения опасности прикосновения к токоведущим частям, необходимо иметь возможность отключить и самые предохранители от источника тока, т. е. поставить выключатель или разъединитель до предохранителей, если идти от источника тока к приемнику. Последнее условие выполняется далеко не всегда, ибо при таком расположении не будет достигнута защита в случае повреждения или короткого замыкания на выключателе. Наиболее желательное с точки зрения безопасности устройство — это применение как выключателя, так и разъединителя, причем предохранители включаются в цепь за разъединителем, но до выключателя. Наконец, для достижения полной безопасности при обращении с предохранителями необходима еще блокировка между крышкой, закрывающей предохранители, и разъединителем, с тем, чтобы доступ к предохранителям в целях смены вставок был бы возможен только при разомкнутом разъединителе. Если разъединитель не применяется, то такая же блокировка должна быть между крышкой и выключателем. Принцип и способы осуществления подобной механической блокировки были подробно изложены в предыдущем разделе настоящей главы.

Простое устройство выключаемых предохранителей, соединенных с разъединителем, применяемое ВЭО, показано также на фиг. 67. Предохранители патронного типа укреплены на внутренней стороне откидной крышки чугуниного ящика (ящики типа D, E и F). В нормальных условиях работы ящик закрыт, когда же нужно сменить или отремонтировать патроны, ящик открывается, и крышка откидывается вниз. При этом размы-

каются все контакты как над патронами, так и под ними, и предохранители оказываются совершенно отъединенными от сети. Двухстороннее отъединение, вместо одностороннего, имеет особенное значение для того случая, когда участки сети питаются с обоих концов (напр. при кольцевой системе). Изображенные на фиг. 67 предохранители изготавливаются ВЭО для напряжения до 550 В и для силы тока до 350 А. Это устройство, однако, не совсем предохраняет от опасности ожогов, если крышка открывается, и контакты разъединителя размыкаются под током. С этой точки зрения желательна дальнейшая блокировка разъединителя с выключателем, препятствующая размыканию первого при замкнутом положении второго (см. напр. фиг. 51—54).

Ответвления к мелким приемникам (отдельным лампам и небольшим группам ламп, мелким электрическим приборам и т. д.) обыкновенно либо имеют лишь однополюсные выключатели, либо вовсе не имеют выключателей. Во всех этих случаях необходимо применять предохранители такой конструкции, которая позволяла бы менять плавкую вставку без прикосновения к токоведущим частям. Этому условию удовлетворяют сплошь покрытые изоляцией пробочные предохранители, главным образом штепсельного типа, имеющие повсеместное применение в распределительных сетях. Вывинчивание пробки происходит без прикосновения к токоведущим частям, смена же плавкой вставки возможна только на отъединенной от источника тока пробке; кроме того последняя, в своем рабочем положении, закрывает вполне токоведущие части. Однако при вывинченной пробке, обнажаются токоведущие контакты предохранителя, именно винтовая нарезка и внутренний контакт на дне отверстия. Так как вероятность случайного прикосновения к нарезке гораздо больше, чем к внутреннему контакту, необходимо, чтобы винтовая нарезка была соединена с отходящим проводом, т. е. проводом, идущим к приемнику тока, а внутренний контакт — с питающим



Фиг. 67. Предохранительное устройство, соединенное с разъединителем.

проводом, т. е. источником тока, а не наоборот. Таким образом при вывинчивании пробки нарезка предохранителя освобождается от напряжения, и возможность случайного прикосновения к токоведущим частям значительно уменьшается.

В отношении ожогов пробочный предохранитель, хотя он и имеет закрытую плавкую вставку, не является вполне безопасным, ибо при случайном вывинчивании пробки под током выбивающиеся из под пробки искры могут причинить повреждения. Поэтому невыключаемые пробочные предохранители, без специальных ограждений, могут применяться лишь для мелких ответвлений, с незначительной силой тока. При более или менее крупных приемниках требуется постановка рядом с предохранителями выключателя, как об этом уже было упомянуто.

Для больших сил тока, порядка выше 200—300 А, пробочные предохранители неудобны по конструктивным соображениям, и потому для таких токов применяют пластинчатые предохранители, с открытыми токоведущими вставками. Эти вставки должны быть, согласно общим правилам, защищены от прикосновения специальными покрытиями, если только предохранители, вместе с другими частями распределительного устройства, не заключены в закрытые ящики. Покрытия должны быть достаточно прочны и так сконструированы, чтобы их нельзя было легко удалить из рабочего положения. Часто применяющиеся съемные картонные чехлы для предохранителей следует признать непригодными, ибо на практике эти чехлы оказываются очень часто снятыми, а предохранители незащищенными. Для смены плавких вставок пластинчатые предохранители должны быть либо выключаемы, с полным отъединением от источника тока (т. е. предохранители должны быть расположены за выключателем), либо же смена должна происходить при помощи инструментов с изолирующими рукоятками.

При высоком напряжении, когда опасность как прикосновения, так и ожогов особенно велика, постановка и снятие вставок предохранителей, какого бы они ни были типа, должна производиться обязательно при помощи соответственно изолированных и достаточно длинных клещей, причем для защиты

глаз должны быть надеты предохранительные очки. О клещах для замены вставок предохранителей будет подробнее сказано в главе о защитных средствах (см. главу IX).

В последнее время замечается сильное распространение автоматических максимальных выключателей, заменяющих плавкие предохранители даже для установок с небольшой силой тока. Применение автоматов вместо предохранителей желательно, помимо прочих соображений, также и с точки зрения безопасности, ибо устраняет необходимость частых операций по смене плавких вставок, связанных с возможностью тех или иных поражений электрическим током.

4. Измерительные приборы. Измерительные приборы можно считать сравнительно безопасными в отношении прикосновения к токоведущим частям; они обыкновенно заключаются в оправы, совершенно закрывающие токоведущие части, за исключением присоединительных зажимов. Оправы либо заземляются, либо же защищаются сами от прикосновения особыми покрытиями (кожухами, чехлами). В нормальных условиях эксплуатации измерительные приборы подвергаются осмотру и ремонту сравнительно редко, а потому нет необходимости в особых приспособлениях для отъединения их от источника тока. В случае высокого напряжения измерительные приборы, как правило, включаются в сеть при посредстве измерительных трансформаторов, сами же приборы остаются на низком напряжении.

5. Реостаты. Реостаты представляют, помимо опасностей, общих другим электрическим приборам (прикосновение к токоведущим частям, возникновение искр и вольтовых дуг), еще и опасность ожогов от прикосновения к нагретым до высокой температуры частям, ибо в современных реостатах температура сопротивлений допускается до  $250^{\circ}$  —  $300^{\circ}$ . Поэтому защитные покрытия (кожухи и чехлы), которыми как правило, должны снабжаться реостаты, должны быть надежно изолированы от токопроводящих частей не только в электрическом, но и тепловом отношении.

Кожухи реостатов прежде применялись нередко со щелью, в которой двигался рычаг с рукояткой. Эту конструкцию однако

так же как и для выключателей, следует признать нерациональной вследствие опасности ожогов от выбивающихся искр и пламени. Кожухи для реостатов, как цилиндрических (контроллерного типа), так и плоских, должны совершенно закрывать все токоведущие части. Выступающие из кожухов рукоятки и маховички должны быть либо сделаны из изолирующих материалов, либо же, если они металлические, должны быть тщательно изолированы от токоведущих частей и заземлены. Равным образом должны быть изолированы от токоведущих частей оси передаточных механизмов и все соединенные с ними металлические части.

Для безопасного обслуживания реостата при осмотре, ремонте и пр. необходимо, чтобы он мог быть отъединен от источника тока посредством особого выключателя или разъединителя, включаемого в линию до реостата. Если реостат устроен так, что он сам может прервать ток на всех полюсах или фазах, то, согласно нашим правилам, можно обойтись без отдельного выключателя до отъединения всей цепи. Однако необходимо иметь в виду, что контакты реостата требуют, вообще говоря, периодического осмотра и ремонта, каковые операции не должны сопровождаться опасностью прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Поэтому, если цепь приемника не имеет специального выключателя, то все же должна быть предусмотрена возможность ее отсоединения не только при помощи реостата, но также, например, путем вывинчивания или удаления плавких вставок предохранителей или же посредством выключения соответствующей магистрали.

Из других электрических приборов, не упомянутых выше, большой интерес с точки зрения безопасности представляют переносные приборы, употребляемые как в домашнем быту (нагревательные приборы, пылесосы и пр.), так и в промышленности (электрические инструменты). Переносные приборы будут подробно рассмотрены дальше, в главе VIII, а потому сейчас мы на них останавливаться не будем.

#### е. Лампы и осветительные аппараты.

Лампы дают довольно значительный процент несчастных случаев от электрического тока, что и не удивительно, если

принять во внимание повсеместное распространение ламп накаливания среди широких масс населения. Не говоря уже о переносных ручных лампах, которые будут рассмотрены дальше, в главе VIII, лампы обычных типов, стенные, настольные и подвесные, если они расположены на доступной высоте, подвергаются весьма частым прикосновениям, как при ввинчивании и вывинчивании ламп, так в особенности при их включении и выключении, в случае применения патронов с выключателями.

1. Ламповые колбы. Стеклоклянная колба иногда может представить опасность для прикосновения, именно если стекло покрыто налетом токопроводящей пыли или грязи (напр., угольной пыли), дающей контакт с цоколем лампы. В хронике несчастных случаев от электричества встречаются даже смертельные поражения электрическим током, происшедшие вследствие прикосновения к загрязненной колбе электрической лампы. Наиболее безопасной в отношении прикосновения является поэтому лампа, сплошь закрытая стеклянным колпаком, изолированным от металлических токоведущих частей. Открытые стеклянные колбы могут считаться безопасными для прикосновения, если они под-

держиваются в чистоте; таким образом, поддержание лампы в чистоте имеет значение не только в отношении использования световой энергии, но и с точки зрения безопасности. В отдельных случаях, например, при установке ламп в неудобном для обслуживания месте, или вблизи токоведущих частей других электрических приборов, может оказаться полезным специальное приспособление для ввинчивания и вывинчивания ламп, изображенное на фиг. 68. На конце штанги или



Фиг. 68. Приспособление для ввинчивания ламп издали.



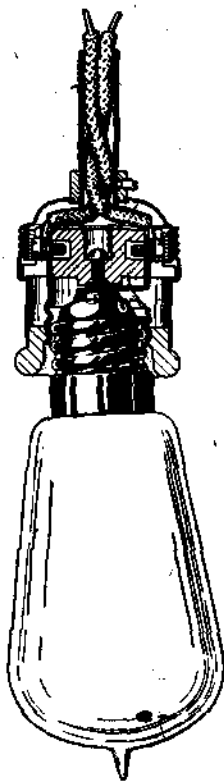
шеста, сделанного из изолирующего материала, укреплено зажимное приспособление, которое состоит из нескольких пружинящих лапок, с резиновыми прокладками. При посредстве отведенного вниз шнура, лапки могут быть отогнуты наружу, с тем, чтобы ввести колбу внутрь зажима; а затем, если шнур отпущен, лапки под действием пружин плотно прижимаются к колбе; таким образом, можно вывинчивать или ввинчивать лампу издали.

2. Ламповые патроны. Гораздо более серьезным источником опасности, нежели колба, являются металлические части как самой лампы (цоколь), так и патрона. Согласно основному правилу безопасности, токоведущие части лампы должны быть защищены от случайного прикосновения, что и выполняется в применяющихся у нас патронах обычного типа с металлической оболочкой, изолированной от токоведущих частей патрона. Однако, не только токоведущие части патрона, но и токоведущие части самой лампы, именно ее цоколь, должны быть защищены от прикосновения. Это достигается применением изолирующего кольца или воротника (обыкновенно фарфорового), навинчиваемого на шейку патрона, между шейкой и внешней оболочкой патрона. Кольцо это должно быть достаточно высоко, с тем, чтобы закрывать полностью цоколь лампы, когда она ввинчена до конца в патрон, т. е. находится в рабочем положении. Размеры колец, а также цоколей ламп у нас нормированы, причем они так подобраны, чтобы указанное условие было выполнено (см. „Нормы для конструирования и испытания установочного материала“, одобренные ЦЭС'ом). К сожалению, до сих пор применяются еще очень много ламп с слишком низким кольцом, не отвечающим нашим нормам. Патрон с слишком низким изолирующим кольцом и слишком короткой шейкой изображен на фиг. 69; цоколь лампы, даже ввинченной до конца, выступает из патрона и доступен для прикосновения.

Кроме защиты от прикосновения к цоколю лампы, фарфоровые кольца выполняют другую весьма важную в отношении безопасности функцию, именно они препятствуют перекосу шейки патрона и случайному ее прикосновению к внешней оболочке. Таким образом, благодаря надежной изоляции шейки от оболочки, устраняется возможность перехода напряжения на внешнюю

оболочку; для ламп это тем более важно, что защитное заземление внешней оболочки в большинстве случаев неосуществимо.

В случае включения ламп между фазным и нулевым проводом (напр., в системе 380/220 В), к нулевому проводу должна быть присоединена шейка патрона, а не внутренний его контакт. Таким образом можно значительно уменьшить опасность случайных прикосновений к токоведущим частям патрона, находящимся под напряжением, когда лампа вывинчена, и эти части открыты; вероятность прикосновений к контакту, находящемуся в глубине патрона, разумеется гораздо меньше, чем к шейке патрона. Равным образом и при ввинчивании и вывинчивании лампы, когда обнажается большая или меньшая часть цоколя лампы, устраняется опасность прикосновения к цоколю, если последний имеет потенциал земли. Далее, при указанном соединении сильно уменьшается опасность перехода напряжения на оболочку или корпус патрона, который также гораздо легче может соединиться с шейкой (напр., при отсутствии изолирующего кольца или какой-либо неисправности в патроне), нежели с внутренним контактом. Для выполнения требования о соединении с шейкой патрона нулевого провода необходимо, чтобы нулевой провод можно было легко отличить по внешним признакам (цвет оплетки, способ крепления к роликам и т. п.). Пользоваться металлической оболочкой патрона для присоединения нулевого провода наши правила воспрещают, ибо отдельные участки нулевого провода, при несимметричной нагрузке системы, а также при каких-либо повреждениях, могут быть под значительным напряжением относительно земли, и в таком случае прикосновение к корпусу патрона может стать опасным.



Фиг. 69. Ламповый патрон, не удовлетворяющий требованиям безопасности.

В обычном случае присоединения ламп к двум полюсам или двум фазным проводам сети, применяющиеся у нас патроны с металлическим корпусом и с фарфоровым защитным кольцом нельзя признать вполне удовлетворяющими требованиям безопасности. Действительно, в этих патронах не устранена возможность прикосновения к находящемуся под напряжением цоколю лампы при ввинчивании и вывинчивании последней. Удовлетворяющие нашим нормам защитные кольца вполне прикрывают цоколь лампы только в ее рабочем положении, когда она ввинчена до конца; между тем цоколь лампы может получить напряжение как только он коснется шейки патрона, будучи при этом доступным для прикосновения. Возможность прикосновения к токоведущим частям особенно возрастает, если операция ввинчивания лампы происходит в темноте; в этом случае лампу держат обыкновенно за цоколь и ошупью стараются найти соответствующее отверстие патрона. Равным образом, если лампа ввинчивается не совсем легко, и происходит заедание лампы в патроне, приходится часто браться за нарезку цоколя, для правильного его направления. Увеличение высоты защитного кольца в данном случае не может дать надлежащую защиту, ибо для возможности введения в патрон лампы обычной грушеобразной формы, кольцо, если оно достаточно высоко, должно расширяться кнаружи, т. е. не может предохранить от просовывания пальца в пространство между кольцом и цоколем лампы в начале процесса ввинчивания. Вероятность прикосновений к токоведущим частям может быть несколько уменьшена путем присоединения шейки патрона к проводу, идущему не непосредственно в сеть, а через однополюсный ламповый выключатель. Это требование должно быть выполнено, но оно конечно не может вполне устранить указанную опасность, ибо лампы сплошь и рядом меняются при невыключенном выключателе, т. е. под током.

Другой, еще более серьезный недостаток патронов обычного типа состоит в том, что защитное фарфоровое кольцо не закреплено на патроне и может быть легко вывинчено и удалено. Далее, являясь наиболее хрупкой частью патрона, кольцо при ударах, падении патрона и т. д. часто повреждается, ломается

и вываливается из патрона. Так как отсутствие кольца не препятствует нормальной работе патрона, то в указанных случаях обыкновенно не заботятся об установке другого кольца, а тем более всего патрона (если нельзя достать запасных колец). Патрон продолжает работать без защитного кольца, вопреки существующим правилам безопасности; если в промышленных предприятиях подобные патроны могут быть обнаружены в порядке осмотра и надзора, то в помещениях жилых, общественных, торговых и т. д., патроны без колец могут оставаться незамеченными долгое время, представляя опасность как в отношении прикосновения к токоведущим частям, так и замыкания на землю, вследствие соединения шейки патрона и его корпуса.

В виду изложенных выше соображений, Германский Союз Электротехников (VDE) ввел в 1926 году в свои правила безопасности электротехнических сооружений новое предписание относительно ламповых патронов, согласно которому токоведущие части лампы и патрона должны быть защищены от случайного прикосновения не только в рабочем состоянии лампы, но и во время операции ввинчивания и вывинчивания лампы. Кроме того, в специальной инструкции, изданной в 1926 году Германским Союзом Электротехников <sup>1)</sup>, даются указания относительно самого выполнения защиты от прикосновения. Именно, защитное приспособление должно быть так укреплено, чтобы его можно было удалить лишь при посредстве особого инструмента, либо же при удалении этого приспособления весь патрон должен распасться на составные части, т. е. стать негодным к употреблению. Равным образом, в случае металлического корпуса должна быть устранена возможность соприкосновения между шейкой и корпусом патрона путем применения приспособления, которое могло бы быть удалено лишь при помощи инструмента.

Как следствие издания указанных правил, в Германии в последние годы появилось много конструкций ламповых патронов, взамен старых патронов обычного устройства, не удовлетворяю-

---

<sup>1)</sup> Vorläufige Leitsätze für die Prüfung des Berührungsschutzes bei nackten Fassungen, Armaturen und Handleuchtern.

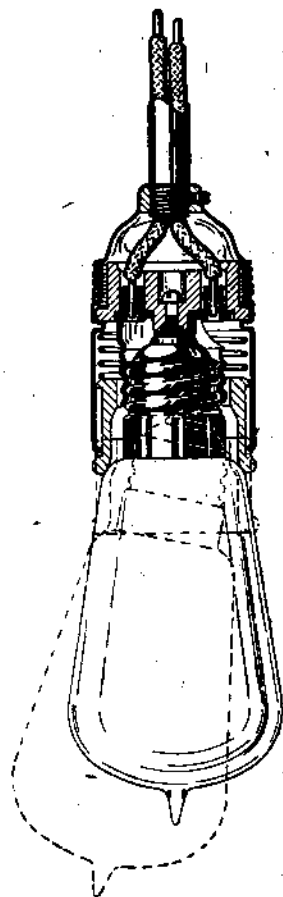
щих требованиям безопасности; к рассмотрению некоторых из этих конструкций мы теперь и перейдем.

Прежде всего следует остановиться на патронах с внешней оболочкой или корпусом из фарфора или другого изолирующего материала. Подобный патрон изображен на фиг. 70. Изолирующий корпус служит также для защиты от прикосновения к токоведущему цоколю лампы, когда последняя ввинчена. Таким образом роль защитного приспособления играет сама конструктивная часть патрона, без которой патрон вообще не может быть применен. У нас патроны с корпусом из изолирующего материала изготавливаются на заводе „Электрик“ в Ленинграде.

Фиг. 70. Патрон с фарфоровым корпусом.

Патрон, изображенный на фиг. 70, хотя и имеет большое преимущество с точки зрения безопасности перед патроном обычного типа, однако, не удовлетворяет одному из указанных выше Германских правил, а именно правилу о защите цоколя не только в рабочем состоянии лампы, но и во время ввинчивания. Для того, чтобы удовлетворить этому требованию, был предложен целый ряд конструкций с подвижным предохранительным кольцом; одна из подобных конструкций изображена на фиг. 71. Предохранительное изолирующее кольцо имеет такую высоту,

что оно вполне покрывает цоколь лампы даже в первый момент прикосновения его к шейке патрона. Для того же,

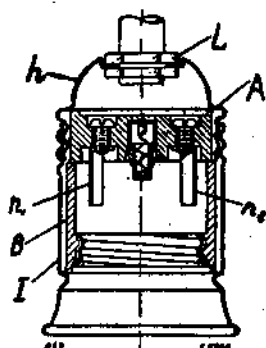


Фиг. 71. Патрон с пружинным укреплением защитного кольца.

чтобы защитное кольцо не препятствовало ввинчиванию лампы; оно укреплено подвижно, при помощи спиральной пружины. При ввинчивании лампы кольцо вдвигается внутрь патрона, сжимая пружину, но под действием последней внешний край кольца всегда плотно прилегает к стеклянной колбе лампы, вполне закрывая ее цоколь. Это наглядно изображено на фиг. 71, на которой пунктиром изображено положение лампы в начале процесса ввинчивания. Благодаря загнутому краю на корпусе патрона и соответствующему выступу на защитном кольце, последнее не может быть удалено из патрона без снятия внешней оболочки, каковая операция может быть произведена только при помощи инструмента.

Недостатком конструкций патронов с подвижными защитными кольцами является некоторая сложность их устройства и возможность перекоса и заедания при движении кольца. Вследствие этого в последнее время подобные патроны применяются все реже, и вместо них начинают широко распространяться безопасные патроны, построенные на другом принципе; в этих патронах цоколь лампы присоединяется к источнику тока и оказывается под напряжением лишь тогда, когда цоколь полностью закрыт неподвижным защитным кольцом или оболочкой патрона, т. е. когда цоколь недоступен для прикосновения.

В качестве примера подобной конструкции на фиг. 72 изображен патрон типа „Sava“ фирмы AEG. В отличие от всех приведенных выше конструкций, снабженная нарезкой часть патрона *B*, в которую ввинчивается цоколь лампы, является не токоведущей, а изолирующей. Электрическое соединение с шейкой цоколя лампы получается не посредством нарезки, а при помощи двух специальных пластинчатых контактов  $n_1$  и  $n_2$ , соприкасающихся с шейкой патрона. Это соприкосновение происходит, однако, только тогда, когда лампа настолько ушла в патрон, что ее цоколь полностью закрыт оболочкой патрона *I*.



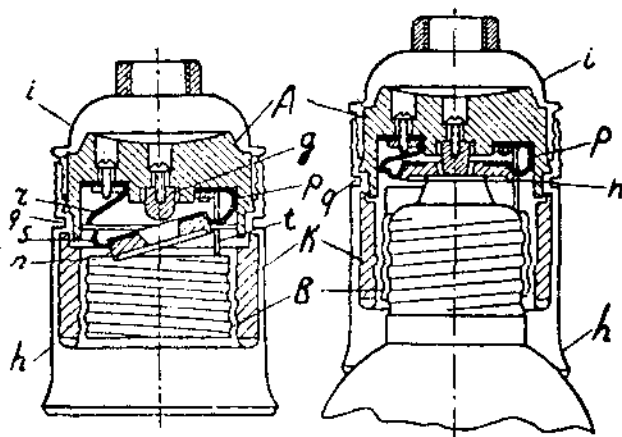
Фиг. 72. Патрон типа „Sava“.

Изолирующая часть *B* препятствует прикосновению цоколя лампы к оболочке патрона и появлению напряжения на последней. При дальнейшем ввинчивании лампы происходит прикосновение дна цоколя со средним пружинящим контактом, укрепленном, как и контакты  $n_1$  и  $n_2$  в фарфоровой основной части *A* патрона. Оболочка цоколя состоит из двух частей *h* и *I* свинчиваемых вместе при сборке патрона. При этом свинчивании зажимаются обе фарфоровые части *A* и *B*, причем для предотвращения отвинчивания частей *B* и *I*, при вывинчивании лампы, между гильзой *B* и частью *A* устроено фрикционное соединение, препятствующее вращению гильзы *B*, а следовательно и части *I*. Следует также отметить способ укрепления ниппеля или втулки, служащей для ввода провода, в оболочке патрона *h*, при помощи двух гаечек *L*, вместо обычно применяющегося зажимного винта; таким образом устраняется возможность повреждения изоляции провода зажимным винтом, каковое повреждение влечет за собой появление напряжения на оболочке патрона.

Дальнейшее усовершенствование ламповых патронов в Германии пошло по направлению устранения опасности не только случайных прикосновений к токоведущим частям при ввинчивании и вывинчивании ламп, но и прикосновений к внутренним частям патрона, при отсутствии лампы, напр., при вытирании пыли, или же просто из любопытства. В таких патронах все внутренние, доступные прикосновению части при вывинченной лампе отключены от источника тока и не находятся под напряжением, и только когда лампа ввинчена, т. е. доступ к внутренним частям патрона невозможен, эти части присоединяются к источнику тока. Таким образом в этих патронах осуществляются все условия безопасности даже в большей степени, чем это предусмотрено в приведенных выше Германских правилах, а потому эти патроны с большим правом, чем все другие, могут быть названы безопасными.

Из патронов разных конструкций, осуществляющих указанный принцип, мы остановимся на новейшем патроне типа „Elt“, представляющем стандартный тип, разработанный Берлинским объединением фирм, изготовляющих ламповые патроны. Этот

патрон изображен на фиг. 73, слева в положении, когда лампы нет, а справа при ввинченной лампе. Металлическая оболочка патрона сделана, как и в других конструкциях, разъемной и состоит из двух частей *h* и *i*, свинчиваемых между собой. Внутри оболочки расположены фарфоровые части патрона — основание *A* и защитная гильза *K*; внутри последней находится вторая латунная гильза *B*, снабженная нарезкой, в которую ввинчивается лампа. Гильза *B* укреплена на основании *A* посредством металлической стоечки *t*. Кроме того на основании *A* укреплена при помощи пружины *p* изолирующая пластинка *n*, с контакт-



Фиг. 73. Безопасный патрон типа „Elt“.

ным кольцом *s*, составляющим одно целое с пружиной *p*; последняя соединена также электрически со стоечкой *t*. Ток подается к двум контактам, боковому *r* и среднему *g*. Когда лампы нет (фиг. 73 слева) пластинка *n* под действием пружины отжата, электрическое соединение между пружинным контактом *r* и гильзой *B* нарушено, и последняя не находится под напряжением. Оба токаведущие контакты *r* и *g* защищены от прикосновения изолирующей пластинкой *n*. Когда же ввинчивается лампа (фиг. 73 справа), ее цоколь нажимает на пластинку *n* и отодвигает ее внутрь, вследствие чего кольцо *s* соприкасается с пружинным контактом *r*; при этом гильза *K* соединяется электрически с контактом *r* через стоечку *t*, пружину *p* и кольцо *s*.

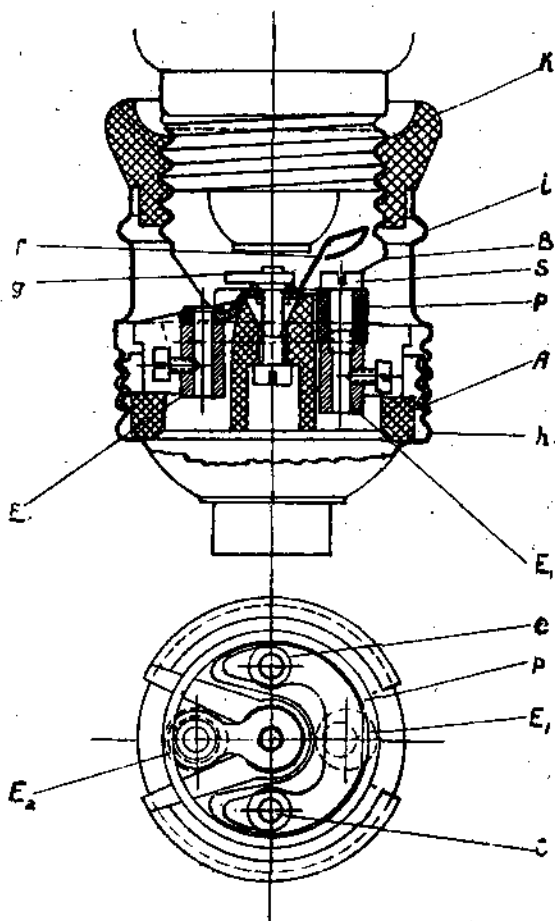


Одновременно открывается доступ к среднему токоведущему контакту  $g$ , выступающему через отверстие в пластинке  $n$  и соприкасающемуся с нижним контактом цоколя лампы. Указанные электрические соединения устанавливаются лишь тогда, когда лампа ввинчена на достаточную глубину, и ее цоколь полностью закрыт оболочкой патрона  $h$ . Последняя надежно защищена от возможности прикосновения к внутренней токоведущей гильзе  $B$ , в виду наличия фарфоровой изолирующей гильзы  $K$ . Большим преимуществом данной конструкции является то, что гильза  $B$ , укреплена независимо от оболочки патрона, на основании  $A$ , а потому исключена возможность развинчивания наружной оболочки при вывинчивании лампы. Описанный тип патрона является весьма целесообразным и продуманным во всех своих деталях.

Все описанные выше конструкции безопасных патронов существенно отличаются от патронов обычного типа, которые пока только и применяются у нас. Переход от обычных патронов к безопасным связан, конечно, с большими расходами и с необходимостью организовать в широком масштабе новое производство, что требует довольно значительного времени. Поскольку однако существующие патроны неудовлетворительны с точки зрения безопасности, особенно для установок с напряжением 380/220 В, в Государственном Научном Институте Охраны Труда в Москве была разработана конструкция безопасного патрона, в котором сохранены все размеры и расположение частей обычного нормального патрона и лишь введены некоторые изменения, в результате чего устраняется опасность прикосновения к токоведущим частям<sup>1)</sup>. Эта конструкция, разработанная М. М. Тамаровым, показана на фиг. 74. Латунная оболочка патрона, состоящая из двух свинчиваемых между собой частей  $h$  и  $i$ , защитное изолирующее кольцо  $K$ , фарфоровое основание  $A$ , внутренняя латунная гильза  $B$ , втулочные зажимы  $E_1$  и  $E_2$  — все эти части такие же, как у патрона обычного

<sup>1)</sup> Описываемая конструкция заимствована из статьи инж. С. Я. Белинского: Безопасные патроны с защитой от прикосновения для электрических ламп накаливания. „Гигиена, безопасность и патология труда“. 1930, № 5.

типа. Втулочный зажим  $E_1$  электрически соединен со средним контактом  $g$ , с которым соприкасается нижний контакт на цоколе лампы. Что же касается второго зажима  $E_2$ , то, в отличие от обыкновенного патрона, он не соединен непосредственно с гильзой  $B$ , в которую ввинчивается цоколь лампы. Вместо металлической пластинки, соединяющей зажим  $E_1$  с гильзой  $B$ , внутрь последней вставлено изолирующее полукольцо  $p$ , закрепляемое на основании  $A$  винтами  $c$ , служащими также для укрепления гильзы  $B$ . Этими же винтами  $c$  на полукольце  $p$  закрепляется вспомогательный пружинный контакт  $г$ , которого нет в патроне обычного типа; таким образом гильза  $B$  находится в постоянном электрическом соединении с контактом  $г$ . Токопроводящий же зажим  $E_1$  соединен с винтом  $s$ , проходящим через отверстие в кольце  $p$ . При отсутствии лампы пружинный контакт  $г$  находится в верхнем положении и не прикасается к винту  $s$ ; когда же лампа ввинчена настолько, что ее цоколь полностью закрыт защитным кольцом  $K$ , нижняя часть цоколя отжимает контакт  $г$  вниз до



Фиг. 74. Патрон конструкции М. М. Тамарова.

соединен с винтом  $s$ , проходящим через отверстие в кольце  $p$ . При отсутствии лампы пружинный контакт  $г$  находится в верхнем положении и не прикасается к винту  $s$ ; когда же лампа ввинчена настолько, что ее цоколь полностью закрыт защитным кольцом  $K$ , нижняя часть цоколя отжимает контакт  $г$  вниз до

его соприкосновения с винтом *S*, вследствие чего гильза *B* и нарезка цоколя присоединяются к источнику тока. Массовый выпуск патронов с указанными изменениями может быть, конечно, произведен гораздо скорее и дешевле, чем организация производства патронов нового типа. Опыт должен показать, насколько видоизмененный согласно фиг. 74 патрон окажется прочным и практичным в применении.

Особое внимание с точки зрения безопасности заслуживают ламповые патроны с выключателями (ключами), чаще являющиеся источником несчастных случаев, чем патроны без выключателей. Объясняется это главным образом тем, что в нормальных условиях эксплуатации неизбежны весьма частые прикосновения к корпусу патронов с ключами, чего нельзя сказать о патронах без ключей. Кроме того, наличие ключа в патроне значительно усложняет его конструкцию и увеличивает вероятность возникновения в нем всякого рода неисправностей. Поэтому применение патронов с ключами регламентируется особыми правилами. Прежде всего только патроны с нормальной нарезкой могут снабжаться выключателями; в патронах же типа „Миньон“ или „Голиаф“ выключатели не допускаются. Патроны „Миньон“ слишком малы по своим размерам для надлежащего устройства и надежной изоляции механизма выключателя. Что касается больших патронов „Голиаф“, то воспрещение ключей основывается на затруднительности безыскрового выключения патронным ключем токов сравнительно большой силы, для которых патроны „Голиаф“ конструируются. Однако и в патронах с нормальной нарезкой применение выключателя разрешается далеко не всегда; оно воспрещено во всех случаях, когда имеется повышенная опасность эксплуатации электрической установки, а именно в помещениях сырых, особо сырых и в помещениях с едкими парами, а кроме того при высоком напряжении и в ручных переносных лампах (см. главу VIII).

В тех случаях, когда выключатель в патроне допускается, он также должен удовлетворять известным правилам безопасности. Выключающий механизм должен находиться в соединении с винтовой шейкой патрона, а не с его внутренним контактом. При этом, как это уже было упомянуто, размыкание выключа-

теля отъединяет от источника тока токоведущую часть патрона, легче всего доступную прикосновению, именно его шейку. Кроме того, соединение выключателя с шейкой, а не с внутренним контактом, с конструктивной стороны более удобно, и поэтому способствует уменьшению возможности повреждений внутри патрона. Далее патроны, снабженные выключателями, должны быть так устроены, чтобы была исключена возможность соприкосновения между подвижными частями выключателя и концами проводов. Ручки патронных выключателей, так же как и коробчатых стенных выключателей, должны быть сделаны из изолирующего материала, а отнюдь не из металла. Ось выключателя должна быть изолирована как от токоведущих частей патрона, так и от металлической его оболочки (корпуса). Двойное изолирование оси выключателя требуется для того, чтобы ввести дополнительную защиту на случай порчи изоляции между осью выключателя и токоведущими частями; указанное повреждение не должно приводить к появлению напряжения на корпусе патрона.

Все сказанное выше относительно ламп и ламповых патронов относится только к низкому напряжению. Осветительных цепей с лампами накаливания для напряжений, превышающих 250 V относительно земли, следует по возможности избегать. Во всяком случае, питание электрическим током высокого напряжения сетей широкого общественного пользования недопустимо. Осветительные устройства высокого напряжения, с последовательным соединением ламп, применяются лишь в особых случаях, главным образом для трамвайных установок. Наши правила безопасности разрешают устанавливать доступные по своему положению лампы накаливания и патроны только в сетях постоянного тока и только для напряжений не свыше 1000 V. Выделение постоянного тока может быть обосновано его меньшей опасностью, по сравнению с переменным током (см. главу I), а также тем, что применение осветительных цепей для напряжений выше 250 V относится главным образом к трамвайным установкам, работающим, как правило, на постоянном токе. При переменном же токе применения высокого напряжения для осветительных установок всегда легко избежать путем

трансформирования напряжения, причем обе сети, высокого и низкого напряжения, должны быть совершенно отделены друг от друга; т. е. для этой цели необходимо применять трансформаторы, а никак не авто-трансформаторы.

В случае применения ламп накаливания на высоком напряжении наружные части патронов должны быть сделаны из изолирующего материала. Патроны типа „Миньон“ и патроны с выключателями при высоком напряжении совершенно не допускаются. Кроме тщательного ограждения токоведущих частей патрона необходимо еще применение закрытых осветительных арматур с колпаками, представляющими дополнительную защиту от прикосновений и в известной степени предотвращающими замену ламп недостаточно инструктированными людьми. Металлические части осветительных арматур и металлические защитные оболочки проводов должны быть заземлены. Шнуровые подвесы (т. е. применение подводящих ток проводов для подвешивания арматур) при высоком напряжении не допускаются.

3. Подвес ламп. Большие лампы, служащие для освещения значительных пространств, как внутри помещений, так и вне их, раньше почти исключительно были дуговые, в настоящее же время и для таких случаев применяются все больше и больше лампы накаливания. Как те, так и другие, в целях освещения по возможности большей площади, укрепляются обыкновенно на недоступной высоте, напр., на потолке, на высоких столбах, высоко расположенных кронштейнах и т. п. Для своего обслуживания, при чистке, ремонте, замене углей (при дуговых лампах), необходимо опускать лампы вниз, для чего применяются троссы и подъемные механизмы, которые в свою очередь должны удовлетворять требованиям безопасности в отношении поражения электрическим током.

Фонари дуговых ламп (подвесы, арматура) должны быть изолированы от токоведущих частей, а подвесные троссы должны быть в свою очередь изолированы от фонарей. Такая двойная изоляция, дающая перестраховку на случай замыкания токоведущих частей лампы на корпус, необходима потому, что соприкосновение с троссами через рукоятки подъемных лебедок, при наличии соединения между троссами и токоведущими

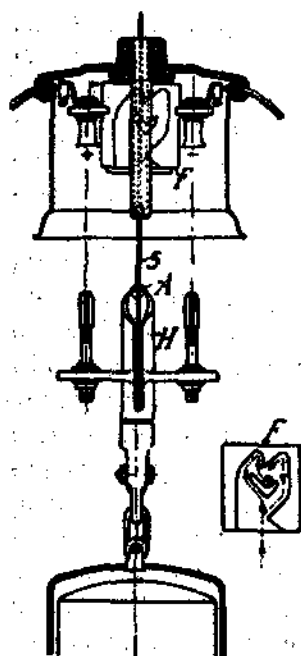
частями, представляет большую опасность, особенно в наружных установках и сырых местах. В случаях, когда лампы подвешаны не на деревянных, а на металлических столбах, необходимо арматуры изолировать не только от троссов, но и от столбов, ибо в противном случае изоляция подвесных троссов от арматуры потеряла бы смысл. При высоком напряжении в цепи, до 1000 V, арматуры дуговых ламп должны быть изолированы не только от троссов, но и от кронштейнов, на которых лампы укреплены, независимо от того, подвешена ли лампа на деревянном или железном столбе; исключение допускается только для тех случаев, когда троссы и кронштейны заземлены. Наконец, при напряжении выше 1000 V оба требования изоляции и заземления должны быть выполнены одновременно.

Применение \*подводящих ток проводов для подвешивания крупных ламп вообще не рекомендуется, а при высоком напряжении воспрещается. Во всяком случае, если такой способ подвеса применен, необходимо тщательно следить за тем, чтобы места присоединения проводов к зажимам ламп не испытывали натяжения, ибо в противном случае может легко получиться неудовлетворительный контакт и, как следствие, перегрев проводов в местах подвеса, а иногда и их перегор, сопровождающийся обрывом и падением ламп. Для разгрузки мест присоединения устраиваются особые зажимы для подвески лампы, с тем, чтобы соединительный участок провода (между подвесными и контактными зажимами) не испытывал никаких механических напряжений.

Выше было уже сказано, что крупные лампы, будь то дуговые или лампы накаливания, подвешиваются обыкновенно на большой высоте, в целях освещения больших пространств. Необходимо заметить, что и с точки зрения безопасности желательно расположение ламп на недоступной высоте, как в отношении опасности прикосновения, так и для ограждения людей от ожогов и от ослепляющего действия сильного источника света. При высоком же напряжении недоступное расположение ламп считается обязательным. При спуске лампы вниз, в целях осмотра, ремонта и пр., следует предварительно

выключить лампу, с тем, чтобы опущенная лампа была бы отъединена от источника тока. Наилучшим с точки зрения безопасности является автоматическое выключение лампы при выходе ее из верхнего, рабочего положения. Такое выключающее приспособление является обязательным, согласно нашим правилам, только при высоком напряжении, но его следует

всячески рекомендовать и при низком напряжении, в особенности в случае установок на открытом воздухе или в сырых местах. Подвес лампы, снабженный автоматическим разъединителем, изображен на фиг. 75; при спуске лампы из верхнего, рабочего положения, выходят из своих гнезд, соединенных с  $+$  и  $-$  сети, контактные штифты, совершенно отъединяя таким образом лампу от источника тока. Для того, чтобы при подъеме лампы штифты попали в свои гнезда, устроена направляющая трубка  $H$  с продольной щелью,двигающаяся на соответствующий сердечник. Далее, в описываемом устройстве имеется приспособление для разгрузки подвесного троса  $S$  в верхнем рабочем положении лампы; для этого служит штифт  $A$ , укрепленный на трубке  $H$ , который при подъеме лампы входит в затвор  $F$ , как это показано отдельно на рисунке справа.



Фиг. 75. Подвес лампы с автоматическим разъединителем.

4. Зарядка осветительных арматур. В заключение настоящего раздела следует упомянуть о правилах прокладки проводов, питающих осветительные приборы. Для зарядки осветительных арматур применяются, за исключением крупных ламп, так называемые арматурные провода. Эти провода, будучи очень небольшого сечения (обыкновенно  $0,75 \text{ мм}^2$ ), легко подвергаются излому или повреждению, следствием чего может быть появление напряжения на корпусе лампы. Для предупре-

ждения этой опасности необходимо хорошее закрепление проводов на арматурах, с тем, чтобы провода не могли перемещаться, закручиваться и изламываться в местах загиба, а также повреждаться острыми краями арматур.

Весьма часто провода приходится вести внутри осветительных арматур, для чего в последних устраиваются соответствующие отверстия, углубления и каналы. Эти отверстия и углубления должны быть так соразмерены и иметь такие края, чтобы провода могли проходить в них без повреждения изоляции. Для защиты проводов от повреждений острыми краями при вводе внутрь арматур часто применяются вводные изолирующие втулки с закругленными кромками. При этом нужно однако следить за тем, чтобы втулка была прочно укреплена; в противном случае втулка легко выходит из предназначенного для нее отверстия, и провод повреждается острыми краями арматуры или задними кромками самой втулки.

Отверстия, предназначенные для пропуска двух проводов внутрь арматур, образованы ли эти отверстия при помощи вводных втулок, или без них, должны при низком напряжении иметь диаметр в свету не менее 6 мм. Этот размер является наименьшим, при котором еще можно произвести зарядку двумя арматурными проводами сечением по 0,75 мм<sup>2</sup> без опасности повреждения этих проводов. При высоком напряжении минимально допускаемое сечение проводов, а в особенности толщина их изоляции, значительно возрастает, соответственно чему минимальный диаметр вводных отверстий в осветительных арматурах устанавливается в 12 мм в свету.

В случае осветительных приборов с несколькими лампами (напр., люстры, многоламповые арматуры и т. п.), приходится устраивать на арматурах ответвления и соединения проводов. Как всегда соединения изолированных проводов, выполненные путем спайки, создают в проводах слабые места, так как изоляция места спая обыкновенно менее надежна, чем изоляция целого провода. Кроме того, места соединения, как более слабые, могут быть легко повреждены при случайных усилиях, возникающих при монтаже и зарядке арматуры. В виду указанных обстоятельств следует вообще избегать устройства ответ-



влений и соединений проводов внутри осветительных арматур, выбирая для этого по возможности наружные части осветительных приборов. Если же внутренних соединений трудно избежать, то они при низком напряжении могут быть допущены, но в таком случае соединения и ответвления необходимо делать с большой тщательностью, пользуясь для этого по возможности особыми зажимами, а не посредством простой спайки. При этом токоведущие части зажимов и контактов должны отстоять от металлических частей арматуры на расстоянии не менее 3 мм.

При высоком же напряжении ответвления и соединения проводов внутри осветительных арматур совершенно не допускаются, ибо наличие внутренних соединений увеличивает возможность замыканий на корпус и коротких замыканий, представляющих при высоком напряжении особую опасность. Кроме того при наличии внутри арматур голых токоведущих частей, вероятность прикосновений к ним не устранена в такой степени, как это требуется для высокого напряжения.

## f. Провода.

Мы не будем касаться качества проводов, их изоляции и защитных покрытий, а также общих правил прокладки. Все эти правила и условия, хотя и играют большую роль с точки зрения защиты от прикосновения, но главным образом имеют в виду чисто эксплуатационную сторону работы сети, как-то: предупреждение перегрева проводов, коротких замыканий, защиту от механических и химических воздействий и т. д. Кроме того, указанные сведения можно найти в любом справочнике или руководстве практического характера по электротехнике, а потому мы на них останавливаться не будем, и перейдем прямо к требованиям, имеющим специальное значение с точки зрения опасности прикосновения к токоведущим частям.

1. Воздушные провода. Наиболее серьезного внимания заслуживают в смысле предохранения от поражения электрическим током воздушные провода. Прикосновения к воздушным проводам представляют очень серьезную опасность даже в установках низкого напряжения, не говоря уже о высоком напряжении, ибо при обслуживании или ремонте воздушных про во

дов, расположенных на открытом воздухе, рабочие обыкновенно лишены защитного действия изолирующего пола и должны стоять на земле или металлических крышах, на подмостках, мачтах и тому подобных, сравнительно хорошо заземленных сооружениях; вместе с тем обувь и одежда рабочих нередко оказываются пропитанными влагой. Особенно опасны прикосновения в тех случаях, когда даже слабое сотрясение, испытанное прикоснувшимся, может повлечь за собой потерю равновесия и падение с высоты, например, с крыши или столба.

Во избежание случайных прикосновений к воздушным проводам последние, вместе с установленными на них приборами, должны быть так расположены, чтобы быть недоступными, без особых приспособлений, как с земли, так и с крыш, балконов и т. п. мест. В отношении магистральных проводов, при установлении наименьшего их расстояния от зданий, нужно кроме того руководствоваться тем, чтобы провода не препятствовали сооружению лесов для производства строительных ремонтных работ, а также, чтобы в случае пожара провода не мешали работе пожарных.

Далее, для защиты от прикосновений к воздушным проводам необходимо избегать прокладки проводов вблизи деревьев; пользование деревьями для подвески проводов должно быть воспрещено. В тех случаях, когда линия должна быть проведена около деревьев (напр., в лесу или на опушке леса), последние вблизи воздушных проводов должны быть срублены, или же должны быть так подрезаны, чтобы ветви не могли прийти в соприкосновение с проводами. Особенное внимание должно быть уделено местам прохождения воздушной линии мимо фруктовых деревьев; в то время как при других деревьях опасность прикосновения к проводам может обыкновенно возникнуть лишь при случайном влезании на дерево, фруктовые деревья подлежат регулярному обслуживанию. Поэтому расстояние между проводами и фруктовыми деревьями должно быть настолько велико, чтобы для людей, обслуживающих деревья и применяющих для этого лестницы и другие приспособления, была устранена возможность случайного прикосновения к проводам.

При высоком напряжении воспрещается укреплять воздушные провода на крышах и других частях зданий, даже если провода окажутся недоступными с этих частей. Это необходимо в целях предупреждения появления напряжения, в случае повреждения изоляции, на опорах, а затем и на проводящих и полупроводящих частях зданий.

Что касается опор воздушных линий, то с точки зрения безопасности следует предпочесть деревянные опоры железным и железобетонным. Несмотря на то, что дерево не может считаться надежным изолятором, деревянные опоры при не очень высоких напряжениях, не свыше 20000 V, обычно дают защиту от серьезных поражений электрическим током, как это показывает практика несчастных случаев, во всяком случае больше, чем заземленные металлические опоры, ибо состояние заземления нередко оказывается неудовлетворительным. Поэтому, если только это возможно по конструктивным и экономическим соображениям, следует при указанных напряжениях отдавать предпочтение деревянным опорам, при условии надлежащей обработки дерева (пропитка специальными составами и т. д.). Необходимо однако тщательно следить за тем, чтобы изолирующее действие опоры не было уничтожено металлическим оттяжным троссом или же заземляющим проводом (напр., при заземлении кожухов трансформаторов или выключателей на столбах, штырей изоляторов и т. п.). Поэтому применения оттяжных троссов, а тем более заземляющих проводов, следует при деревянных опорах по возможности избегать. Если же троссы применяются, необходимо укреплять их на столбе в возможно большем расстоянии от траверз и штырей. Кроме того оттяжные троссы должны на недоступной для прикосновения высоте снабжаться изоляторами и заземляться, причем заземляющий провод должен быть присоединен к оттяжному троссу ниже изолятора.

Равным образом должны быть вделаны изоляторы и в приводные тяги и рукоятки выключателей, установленных на деревянных столбах; в этом случае следует заземлять не поддерживающую конструкцию, но приводные тяги ниже изолятора. Одновременное применение изоляции и заземления приводных

механизмов выключателей вызывается серьезной опасностью, связанной с обслуживанием выключателей воздушных линий. Эти выключатели работают при весьма тяжелых условиях на открытом воздухе, и приведение их в действие связано обыкновенно с появлением больших механических напряжений, что в значительной степени увеличивает вероятность повреждений и замыканий токоведущих частей на корпуса приборов. Между тем обслуживание выключателей сопровождается тесным соприкосновением с металлическими приводными тягами и рукоятками. По указанным причинам переключательные пункты являются особенно опасными местами воздушных линий, на которых многократно имели место несчастные случаи.

При очень высоких напряжениях и при больших количествах передаваемой энергии применяются только железные и железобетонные опоры. В этих случаях на первый план в качестве защитного средства выступает как можно более тщательное и надежное заземление опор.

Для предупреждения приближения к опорам, а в особенности влезания на них посторонних лиц, служат предостерегающие плакаты, о которых подробнее было сказано раньше, в главе V. Нужно однако сказать, что плакаты далеко не всегда выполняют свое назначение, в частности в отношении детей и неграмотных. Практика эксплуатации линий передачи высокого напряжения знает не мало несчастных случаев вследствие влезания на опоры, закидывания на провода веревок и т. п. В случае прохождения линии по населенным местам желательно применение специальных ограждений опор, с целью предохранения от приближения и в особенности влезания на них. Одно из подобных ограждений, применяемое в Америке, в виде щита из листового железа, укрепленного на опоре, показано на фиг. 76; край щита находится на расстоянии около 0,5 м от опоры, так что перелезть через щит крайне трудно. Для того, чтобы рабочие, при ремонте линии, могли взобраться на опору, одна из сторон щита сделана выдвижной и закреплена болтами. Другое предохранительное устройство против влезания на опоры, в виде проволоочной сетки, покрывающей нижнюю часть металлической конструкции опоры, изображено на фиг. 77.

Наибольшую опасность представляют воздушные линии передачи в случаях их прохождения по населенным местам, при пересечении проезжих путей (железнодорожных линий, судоходных рек и каналов, шоссейных и грунтовых дорог) и при пересечении или приближении к телеграфным и телефонным линиям, а также к линиям низкого напряжения. Во всех этих случаях, кроме возможности непосредственного прикосновения к проводам в их рабочем положении (напр., при проезде под



Фиг. 76. Устройство для предохранения от влезания на опору.

линией передачи или при ремонте телеграфной линии), следует учитывать ту весьма большую опасность для жизни многих людей, которая возникает в случае обрыва провода высокого напряжения и падения его конца вниз. Существующие у нас нормы расчета, проектирования и сооружения линий передач вообще говоря достаточно обеспечивают от обрывов, поломок изоляторов, обрушения опор или траверз и т. п. в нормальных условиях эксплуатации, но для перечисленных выше случаев должны быть приняты добавочные меры безопасности в виду тех весьма тяжелых последствий, которые связаны с каким либо из указанных повреждений воздушной линии.

Еще сравнительно недавно, в качестве специальных мер безопасности для указанных случаев, весьма часто применялись заземленные защитные сетки, кольца и подхваты, установленные около проводов высокого напряжения и имевшие своим назначением предотвратить падение оборвавшегося провода на землю, а также привести его потенциал к нулю относительно земли. Однако эти приспособления оказались на практике неудовлетворительными и не достигающими своей цели. Защитные сетки

сами служили нередко источником аварий (коротких замыканий) и несчастных случаев вследствие того, что под влиянием атмосферных воздействий железная проволока, из которой сетки изготавливаются, ржавеет, рвется при сильном ветре и приходит в соприкосновение с проводами. Да и вообще, при гололеде и ветре, т. е. в условиях, при которых обрыв проводов наиболее вероятен, шансы на обрыв защитной сетки так же велики; только в случае весьма массивной и прочной сетки она могла бы быть надежной в отношении обрыва, но такая сетка практически неприменима вследствие той недопустимо большой нагрузки, которую она вызвала бы для опор.

Вследствие указанных причин применение защитных сеток для воздушных линий нашими правилами безопасности не допускается. Что касается других защитных средств в виде колец или подхватов, то они хотя правилами и не воспрещены, но на практике в настоящее время также почти не применяются, в виду своей ненадежности; заземленные кольца и подхваты далеко не всегда улавливают оборвавшийся провод, а уловив его, очень редко надежно заземляют.

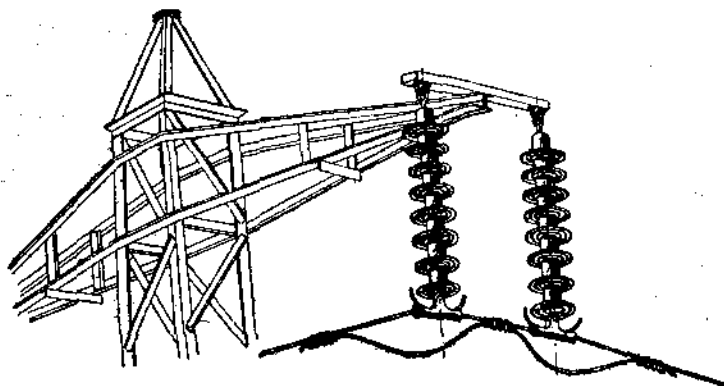


Фиг. 77. Ограждение опоры.

В виду этих соображений приходится отказаться от применения специальных защитных средств для указанных выше случаев повышенной опасности, а все внимание сосредоточить на устройстве самой линии передачи, которая в таких случаях

должна удовлетворять нормам „повышенной надежности“. Здесь имеется в виду, во-первых, повышенная прочность проводов, их подвесов и мачт, а во-вторых, соблюдение известных минимальных расстояний между проводами и опорами высокого напряжения и защищаемыми сооружениями (дорогами, домами, телеграфными и телефонными линиями).

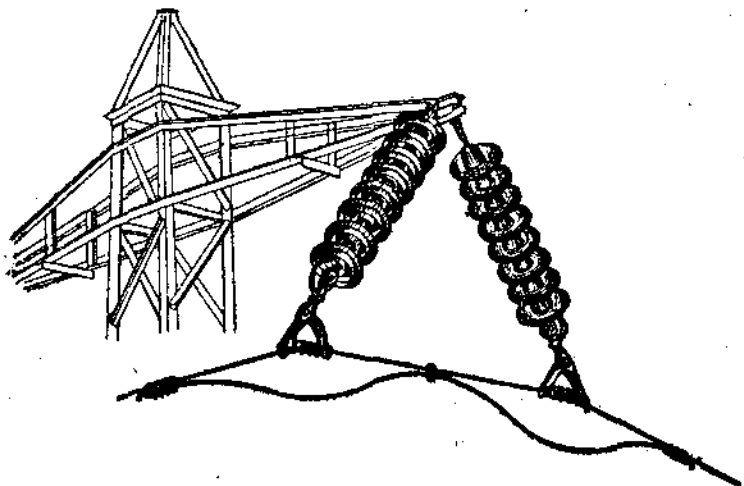
Для усиления прочности подвеса проводов высокого напряжения часто применяют „двойное подвешивание“, т. е. укрепление каждого провода на двух изоляторах. При двойном



Фиг. 78. Двойное подвешивание проводов с параллельным расположением изоляторов.

подвешивании механическая нагрузка, вызванная натяжением провода, передается не на один, а на два изолятора, благодаря чему уменьшаются шансы всякого рода аварий, сопряженных с их поломкой. Кроме того, если вследствие трещины в изоляторе, пробое его и т. п. между проводом и штырем возникнет дуга, которая приведет к расплавлению провода, то все же обрыва не будет, ибо провод остается прикрепленным ко второму изолятору, при помощи обходного соединения. Примеры двойного подвешивания с обходными соединениями показаны на фиг. 78 и 79; на фиг. 78 оба изолятора расположены вертикально и параллельно друг другу, а на фиг. 79 — под углом в  $45^\circ$ . На фиг. 80 показано двойное подвешивание с применением пружины между обоими изоляторами, которая растягивается в зависимости от нагрузки проводов под действием

снега, гололеда и т. п. Благодаря подобному эластичному подвесу понижаются механические напряжения в проводах и уменьшается возможность их обрыва. При прохождении линий высокого напряжения через населенные места следует рекомендовать устройство двойного подвешивания на всем протяжении соответствующего участка. Для угловых и анкерных опор в населенных местах и при пересечении с дорогами двойное подвешивание является обязательным.



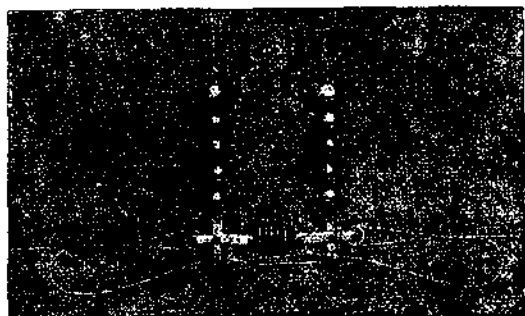
Фиг. 79. Двойное подвешивание проводов с расположением изоляторов под углом друг к другу.

Что касается расположения проводов высокого напряжения, то мы приведем некоторые указания, заимствованные из „Норм для пересечения линиями передачи энергии железнодорожных линий, судоходных рек и каналов, шоссе и грунтовых дорог и бечевников“, а также из „Норм для пересечения телеграфных и телефонных линий линиями передачи энергии“, одобренных IX ВЭС'ом.

Угол пересечения линии передачи энергии с путями сообщения, а также с телефонными и телеграфными линиями должен быть по возможности прямой и, во всяком случае, не менее  $45^\circ$ . Высота наинизшей точки провода при наивысшей температуре или наибольшем гололеде, в отсутствие ветра, должна быть:



1) не менее 7,5 м над головкой рельса при пересечении железных дорог нормальной колеи; 2) не менее 6 м над головкой рельса и не менее 2 м над габаритом подвижного состава при переходах через узкоколейные железные дороги; 3) не менее 7 м над



Фиг. 80. Двойное подвешивание проводов с применением пружины.

подотном дороги при пересечении шоссежных дорог; 4) не менее 6 м над полотном дороги при переходах через полевые и грунтовые дороги; 5) на 1 м выше наиболее высоких мачт судов, проходящих по данному пути, в период самого высокого половодья, при переходах через судоходные реки и каналы и 6) не

менее 2 м над телеграфными и телефонными проводами при пересечениях телеграфных и телефонных линий.

Другие указания в отношении устройства линий передачи энергии в местах пересечений, расположения опор и проводов, допускаемых механических напряжений в проводах и т. д. можно найти в указанных выше „Нормах“, а также во „Временных правилах ограждения телеграфных, телефонных и сигнализационных линий от вредного действия установок сильного тока“. Последние правила касаются, кроме защиты от непосредственного соприкосновения между проводами сильного и слабого тока, также и защиты от индукционного влияния. Последний вопрос подробно разобран в книге проф. А. А. Смурова „Токи высокого напряжения“ (выпуск седьмой серии „Безопасность Труда“).

В заключение нужно сказать, что даже при соблюдении всех указанных выше мер и правил проведение воздушных линий высокого напряжения в населенных местах, напр., в черте города, следует считать вообще нежелательным с точки зрения безопасности. Вместо воздушных линий передачи энергии в населенных местах следует применять, насколько это позволяют технические

и экономические условия, кабельные линии и сети, являющиеся как в смысле эксплуатации, так и для окружающего населения, гораздо более безопасными, чем воздушные линии. В последнее время замечается сильное развитие кабельных высоковольтных линий передачи, не говоря уже о городских распределительных сетях, которые в большинстве случаев являются кабельными.

2. Наружные провода. Наружные провода, укрепленные обыкновенно на стенах зданий, представляют, с точки зрения поражения электрическим током, не меньшую опасность, чем воздушные провода, ибо при их обслуживании рабочие также соприкасаются с заземленными частями зданий, нередко в сыром платье и обуви, с мокрыми руками и инструментами, и находясь на высоте, часто в неудобном и опасном положении. Для того, чтобы можно было работать не под напряжением, не выключая в то же время магистральных линий, должна быть предусмотрена возможность выключения отдельных участков наружных проводов на всех полюсах или фазах.

Возможность случайных прикосновений к наружным проводам, как к голым, так и изолированным, должна быть надежно устранена либо посредством их расположения на недоступной высоте, либо же применением защитных оболочек и ограждений. Незащищенные провода низкого напряжения вне зданий должны быть так проложены, чтобы они были доступны лишь при помощи особых приспособлений, и, во всяком случае, они должны находиться от земли на высоте не менее 2,5 м. При высоком напряжении незащищенные провода должны быть удалены от земли своими низшими точками по крайней мере на 6 м. Последняя высота может быть уменьшена до 4,5 м только для выводов высокого напряжения из зданий станций и трансформаторных подстанций в сельских местностях. Указанные расстояния являются минимальными, а в каждом отдельном случае необходимо проверить, в соответствии с местными условиями, достаточна ли эта высота для обеспечения полной безопасности.

Защитные оболочки и ограждения наружных проводов должны быть достаточно прочными и хорошо изолированными от самих проводов. Металлические оболочки, напр., стальные и железные трубы, должны быть тщательно заземлены. Изоляция проводов

не может для наружных устройств считаться достаточной защитой не только при высоком, но даже при низком напряжении, так как в виду сильных атмосферных воздействий не представляется возможным в полной мере рассчитывать на исправность и надлежащую стойкость изоляции. Наружные устройства при напряжениях свыше 750 V по отношению к земле должны отмечаться красной молниеобразной стрелой (см. главу V).

3. Провода в зданиях. Провода в зданиях, если они находятся под напряжением относительно земли, должны, как правило, быть покрыты изоляцией. Конструкция провода и его изолирующей оболочки должна соответствовать способу прокладки (открытая прокладка, прокладка в трубках, переносные провода и т. д.), а также условиям эксплуатации в данной помещении (сухое помещение, сырое, с едкими парами и т. д.). Применение проводов с изоляцией несоответствующего качества является источником опасности поражения людей электрическим током в виду быстрого разрушения изолирующих оболочек проводов.

Голые незаземленные провода внутри зданий допускаются в электромашиных и аккумуляторных помещениях (напр., в качестве сборных шин), а при низком напряжении также в помещениях, в которых изолирующая оболочка заведомо подвержена опасности быстрого разрушения вследствие химических процессов, и, наконец, в качестве контактных проводов. При высоком напряжении голые провода должны допускать выключение на всех полюсах при помощи соответственно помещенных выключателей.

При низком напряжении изоляция проводов представляет вообще говоря достаточную защиту от прикосновения, если только провода не подвержены механическим воздействиям, могущим быстро повредить изоляцию и обнажить провод. В последнем случае, напр., при укладке проводов на полу или по станинам машин, необходимо предусмотреть достаточную защиту от механических повреждений в виде панцирной оболочки, железных и стальных труб, труб Пешеля и т. д. При высоком напряжении изоляция проводов ни в каком случае не может служить достаточной защитой от прикосновений, и поэтому изолированные провода высокого напряжения должны иметь специальную защиту.

Голые провода низкого напряжения и все провода, как голые так и изолированные, высокого напряжения должны быть защищены от случайного прикосновения либо путем укрепления их на недоступной по условиям эксплуатации высоте, либо путем снабжения их сплошными, механически прочными, огнестойкими и заземленными покрытиями. Для голых проводов высокого напряжения, представляющих особую опасность в отношении поражения электрическим током, необходимо соблюдение известных расстояний между проводами и их защитными покрытиями, в целях предупреждения искровых разрядов и замыканий на землю. В этом случае необходимо придерживаться следующих минимальных расстояний проводов друг от друга, от стен, частей зданий и собственных защитных покрытий:

| Номинальное напряжение в вольтах. | Наименьшее расстояние в миллиметрах. |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| до 1000                           | 50                                   |
| „ 3000                            | 75                                   |
| „ 6000                            | 100                                  |
| „ 10000                           | 125                                  |
| „ 20000                           | 180                                  |
| „ 30000                           | 260                                  |
| „ 45000                           | 360                                  |
| „ 60000                           | 470                                  |
| „ 80000                           | 580                                  |
| „ 100000                          | 720                                  |

Исключения из указанных норм могут быть допущены только для электрохимических установок и для установок для электрической очистки газов.

4. Контактные провода. Контактные провода, применяющиеся в промышленности главным образом для подъемных и транспортных устройств, представляют весьма большую опасность поражения электрическим током. Провода эти по существу должны быть голые; далее, в отличие от сборных шин и тому подобных

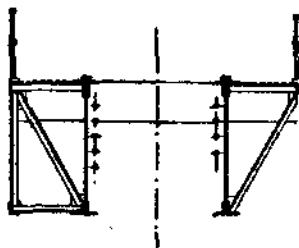
устройств, они не могут быть сконцентрированы в немногих местах, а должны быть разбросаны по всему промышленному предприятию; высота расположения и способ укрепления контактных проводов обычно определяется не условиями безопасности, а всей механической конструкцией подъемного и транспортного устройства; наконец, полное закрытие проводов ограждениями обыкновенно неосуществимо по самым условиям работы. Особенно опасны контактные провода, установленные на открытом воздухе, в случае подъемных и транспортных сооружений, обслуживающих заводские дворы, склады, станции и порты; эти провода, если они проложены на доступной высоте, еще больше подвержены возможности прикосновения со стороны посторонних лиц, а кроме того опасность поражения увеличивается вследствие того, что прикасающиеся стоят на земле, часто с мокрыми руками, в сырой одежде и обуви.

В виду указанного следует по возможности избегать применения высокого напряжения для подъемных и транспортных устройств, даже при постоянном токе; во всяком случае рабочее напряжение не должно превосходить 500 V. Далее, контактные провода, как высокого, так и низкого напряжения должны допускать легкое и удобное выключение, необходимое во всех случаях ремонта.

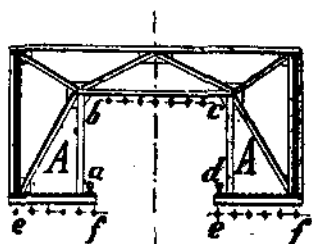
Как общее правило, следует располагать контактные провода на недоступной высоте, если только это позволяет механическая конструкция всего устройства. Для мостовых кранов это условие осуществляется без труда в отношении главных контактных проводов, идущих параллельно крановому пути. Что же касается контактных проводов на самом мосту, то очень часто возможны прикосновения к ним, как со стороны крановожатого, напр., при его подъеме в будку, так и со стороны ремонтных и других рабочих, взбирающихся на крановый мост для осмотра, смазки и ремонта крановых частей. Кроме того возможны и прикосновения к контактным проводам поднимаемого груза или подъемных канатов и цепей; подобные случаи весьма опасны, ибо находящиеся под напряжением грузы или канаты могут служить причиной несчастных случаев как для рабочих крановщиков, так и вообще для всех рабочих в мастерской, принимаю-

щих внизу грузы или приходящих с ними в случайное соприкосновение. Надежное же заземление подымаемых на кране частей практически неосуществимо.

Наилучшей защитой от указанных опасностей является такое конструктивное выполнение контактных устройств, при котором провода находятся вдали от галлерей или помостов, имеющих в целях обслуживания и ремонта на каждом мосту, и защищены от случайных прикосновений самими конструктивными частями моста. Например, при открытой конструкции кранового моста с верхним расположением помостов, изображенной на фиг. 81, наилучшим местом для укрепления проводов являются внутрен-



Фиг. 81. Расположение контактных проводов на крановом мосту открытой конструкции.



Фиг. 82. Расположение контактных проводов на крановом мосту закрытой конструкции.

ние стороны обеих крановых ферм, как показано на фигуре. При закрытой конструкции кранового моста, с внутренним расположением помостов (фиг. 82), желательно располагать контактные провода на участках  $ef$  и  $bc$ , при чем на участке  $bc$  — только при достаточной высоте  $ab$ , во всяком случае больше человеческого роста. Участки же  $ab$  и  $dc$ , примыкающие непосредственно к помостам, являются неподходящими, с точки зрения безопасности, для укрепления контактных проводов. Если на крановом мосту имеется только один помост, то контактные провода желательно всегда располагать на стороне, противоположной той, где находится помост. Кроме того расстояние между обеими фермами на фиг. 81, или же расстояние  $ad$  на фиг. 82, должно быть достаточно велико, чтобы

была исключена возможность прикосновения к контактными проводам поднимаемых частей, даже при раскачивании груза.

К сожалению, при конструировании на механическом заводе кранового сооружения весьма часто забывают о надлежащем укреплении контактных проводов. Между тем, при большом числе контактных проводов (нередко до 20—30 на крановом мосту) и при необходимости соблюдения между проводами известных минимальных расстояний, целесообразное и безопасное размещение проводов является иногда весьма нелегкой задачей. На практике приходится поэтому нередко располагать контактные провода в открытых местах, около помостов, вопреки соображениям безопасности. В таких случаях необходимо защищать провода от прикосновения при помощи специальных ограждений, обыкновенно в виде проволочных сеток. Такими же сетками должны ограждаться и неподвижные контактные провода в мастерских, если они доступны для прикосновения, напр., если около них проходят лестницы, помосты и т. п.

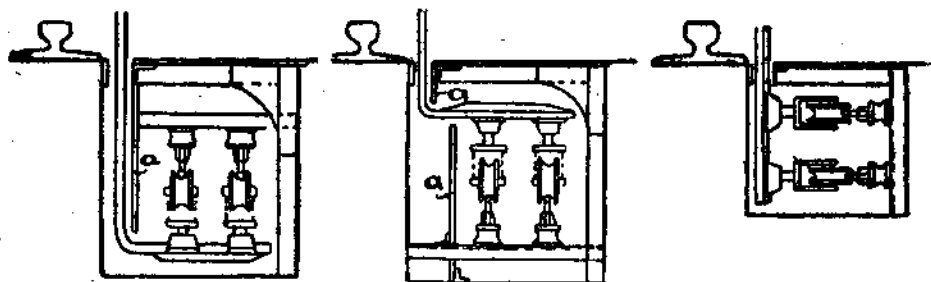
Краны козлового, портального и полупортального типа, обыкновенно применяющиеся для обслуживания портов и набережных, больших открытых складов и других мест перегрузки, как правило, имеют нижнее питание с наземных или подземных контактных проводов, ибо устройство высоко расположенной воздушной контактной проводки было бы затруднительно. Из двух способов проводки, наземной или подземной, следует безусловно предпочесть с точки зрения безопасности второй способ, ибо контактные провода, находящиеся на уровне земли, весьма трудно надлежащим образом оградить от прикосновений; поэтому наземной контактной проводки, находящейся под напряжением относительно земли, следует всячески избегать<sup>1)</sup>.

Подземные контактные провода располагаются в особых каналах, которые должны быть тщательно ограждены сверху прочными и неподвижно укрепленными помостами и покрытиями. Щель для введения рычага токоприемника должна быть как

---

<sup>1)</sup> Наземная контактная проводка в виде „третьего рельса“ находит себе применение главным образом для электрических железных дорог, рассмотрение которых не входит в рамки настоящей книги.

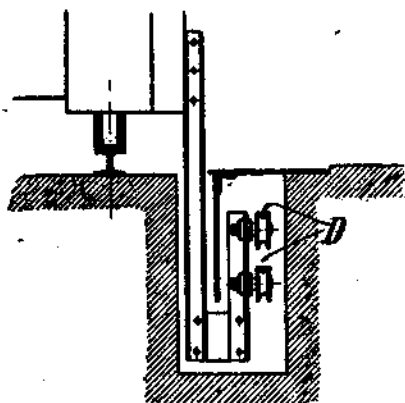
можно более узкая, не более 60—70 мм, с тем, чтобы в щель нельзя было просунуть не только ногу, но и руку. Для



Фиг. 83. Ограждение подземных контактных проводов при боковом расположении щели.

предупреждения возможности заедания рычага в узкой щели рекомендуется устраивать направляющие приспособления в виде роликов, хорошо изолированных от токоведущих частей. Далее, необходимо принять меры против возможности прикосновения к контактным проводам какого нибудь предмета, вроде палки, проволоки и т. п., опущенного случайно или умышленно в щель; это достигается соответствующим расположением проводов относительно щели, а также применением особых защитных стенок.

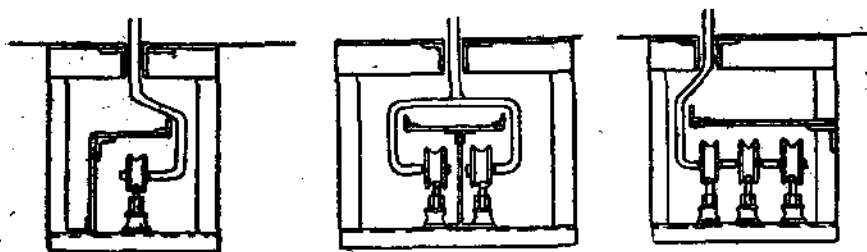
На фиг. 83, 84 и 85 показаны различные случаи устройства подземных контактных проводов, защищенных от прикосновения. На фиг. 83 изображены три конструкции подземного канала с боковым расположением проводов относительно рабочей щели. При расположении токоприемников под контактными проводами (фиг. 83 слева), достаточно применение одной защит-



Фиг. 84. Ограждение подземных проводов, расположенных один над другим.

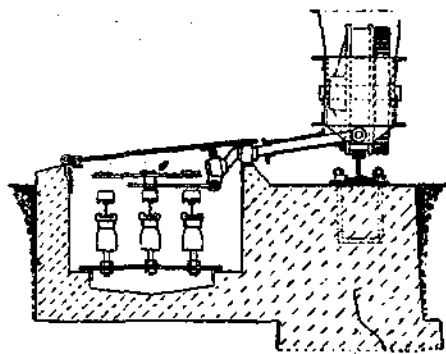


ной стенки *a*, опускающейся сверху. При расположении токоприемников над контактными проводами (фиг. 83 посередине) необходимо устройство двух защитных стенок *a a*, смещенных



Фиг. 85. Ограждение подземных контактных проводов, расположенных под щелью друг относительно друга. При боковом расположении токоприемников относительно проводов (фиг. 83 справа) устройство защитной стенки затруднительно, но зато сами провода больше

всего удалены от рабочей щели. Из трех приведенных вариантов наиболее желательным, с точки зрения безопасности, является первый, дающий наилучшее ограждение контактных проводов. Это особенно относится к случаю расположения контактных проводов не в горизонтальной, а в вертикальной плоскости (один провод над другим), как это показано на фиг. 84; при таком расположении проводов *D* канал выходит узким и глубоким,



Фиг. 86. Устройство контактных проводов в подземном канале без щели.

что благоприятно с точки зрения безопасности. Для собирания тока при таких условиях удобна прочная клепаная конструкция рычага токоприемника, показанная на фиг. 84.

Менее желательным, с точки зрения безопасности, является расположение контактных проводов прямо под щелью, а не

сбоку. Способы ограждения контактных проводов посредством защитных стенок в этом случае, для одно-, двух- и трехпроводной контактной линии, показаны на фиг. 85. Рычаг токоприемника должен иметь специальную форму, для того, чтобы обогнуть защитную стенку.

На другом принципе основано защитное устройство, изображенное на фиг. 86. Покрытие подземного канала состоит из отдельных узких щитков, укрепленных шарнирно. Токоприемник крана, при движении последнего, приподымает по очереди щитки, которые, по проходе токоприемника, опускаются вниз и вновь закрывают каналы. Таким образом контактное устройство не имеет щели, и канал совершенно закрыт, за исключением того места, где в данный момент находится кран. Недостатком устройства является возможность умышленного поднятия предохранительных щитков, хотя для этого требуется применение специальных инструментов.

---

## ГЛАВА VII.

### ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ И МЕРЫ ЕГО ЗАМЕНЯЮЩИЕ.

#### а. Заземление в электрических установках с точки зрения их безопасности.

Одной из главнейших мер безопасности электрических установок является заземление, т. е. электрическое соединение с землей тех частей установки, напряжение которых относительно земли должно удерживаться в известных пределах. Как ни прост самый принцип заземления, техническая проблема заземления является сложнейшей в области техники безопасности электрических установок.

Самое понятие „защитного заземления“ не может считаться вполне установленным в технической литературе. Дело в том, что помимо защиты жизни и здоровья людей, имеющих дело с электрической установкой, заземление очень часто устраивается в целях обеспечения правильного функционирования самой установки, как при нормальном, так и при аварийных режимах. Такое заземление, которое правильно назвать „рабочим заземлением“ в отличие от „защитного“, устраивается для того, чтобы пропустить рабочий ток (системы с заземленными рабочими проводами), отвести зарядный ток, обеспечить действие электрических приборов и обеспечить быстрое отключение поврежденных частей. Во многих случаях, однако, заземление выполняет одновременно те и другие функции; так, например, заземление нулевой точки сети обеспечивает правильную работу многих приборов, включенных в эту сеть, и в то же время предохраняет от слишком большого повышения напряжения всей установки относительно земли, что, конечно, имеет серьезнейшее

значение с точки зрения безопасности. Таким образом, строгое разграничение заземлений с указанной точки зрения довольно затруднительно.

Нередко термин „защитное заземление“ понимается в более узком значении этого слова, именно как соединение с землей металлических частей, нормально не находящихся под рабочим напряжением данной установки и не принадлежащих к токоведущей системе последней, в целях предупреждения появления на них опасного напряжения вследствие повреждения изоляции токоведущих частей. Однако, и при таком определении понятия „защитное заземление“ оно не всегда может быть вполне отделено от других видов заземления; так, например, заземление нулевой точки обмотки низкого напряжения трансформатора не является защитным в указанном смысле этого слова по отношению к системе низкого напряжения, и в то же время оно является защитным по отношению к системе высокого напряжения. Действительно, вследствие нарушения изоляции между обеими обмотками трансформатора, высокое напряжение может перейти на обмотку низкого напряжения, которая не принадлежит к токоведущей системе высокого напряжения и нормально не находится под высоким напряжением.

Вопрос о заземлении нулевых точек или нейтралей электрических установок уже разбирался нами с точки зрения безопасности выше, в главе IV. В этой главе указывалось, что с точки зрения вероятности поражения электрическим током системы с заземленными нейтралями вообще говоря следует признать более опасными, чем системы, изолированные от земли, при прочих равных условиях. Между тем заземление нулевых точек электрических систем, в частности низкого напряжения, обычно обосновывается как раз соображениями безопасности. Точки зрения, принятые по этому вопросу в разных странах, расходятся сильнейшим образом. В Германии, а по ее примеру и у нас, решающим фактором для оценки установки с точки зрения опасности поражения электрическим током, принято максимальное напряжение относительно земли; если это напряжение не превосходит 250 В, установка относится к низкому напряжению, в противном случае — к высокому напряжению. Оче-

видно, что пока рабочее напряжение установки не превосходит указанной величины, условие, необходимое для отнесения установки к классу низкого напряжения, выполняется и без заземления нулевой точки, которое поэтому и не является обязательным. И только, если рабочее напряжение установки больше 250 V (что, при трехфазной системе, примерно соответствует фазному напряжению, превосходящему 150 V), заземление нулевой точки становится обязательным, ибо в противном случае установка должна быть отнесена к классу высокого напряжения, со всеми вытекающими отсюда последствиями, вызывающими значительное удорожание установки. Сказанное относится к напряжению 380/220 V с заземленной нейтралью, долженствующему стать основным напряжением для промышленных установок.

Совершенно другая точка зрения проводится в Американском кодексе безопасности электрических установок (National Electrical Safety Code). Поскольку заземление нейтрали имеет целью предотвратить опасное повышение напряжения установки, в Американских правилах рассматриваются сети низкого напряжения, подверженные и не подверженные возможности такого повышения вследствие перехода напряжения из других систем. В мелких, отдельно расположенных установках, не связанных трансформаторами с сетями высокого напряжения, в частности в установках постоянного тока, нет опасности значительного повышения напряжения, а потому в таких установках заземление нейтрали не обязательно. Что касается распределительных сетей, связанных через трансформаторы с сетями высокого напряжения, то в них приходится считаться с возможностью опасного перехода напряжения (как через трансформаторы, так напр., и вследствие случайного прикосновения проводов той и другой системы, проложенных на тех же опорах), во избежание чего Американские правила предписывают заземление нейтрали. Однако, это правило обязательно только для установок, напряжение которых не превышает 150 V по отношению к земле (около 250 V между проводами). Установки более высокого напряжения, т. е. те, рабочее междуфазное напряжение которых превышает 250 V, не требуют обязательного заземления нейтрали, на том основании, что уже само напряжение установки, в нормаль-

ных условиях ее работы, может быть опасным для жизни и здоровья людей. Этой опасности заземление нейтрали не может устранить, а так как оно с своей стороны увеличивает возможность электрического удара при однополюсном прикосновении к токоведущим частям, то оно и не требуется Американскими правилами. Для достижения безопасности таких установок (с напряжением выше 150 V относительно земли) главное внимание в Америке обращается на ограждение токоведущих частей и другие меры защиты от прикосновения.

Подобная же точка зрения в отношении заземления нейтралей электрических систем существует и во Франции. До последнего времени правила безопасности, изданные Французским Министерством общественных Работ, обязывали вообще заземлять нейтрали низковольтных трехфазных сетей. Однако, среди французских электротехников возникло движение в пользу отмены этого постановления, по крайней мере для сетей с фазным напряжением, превышающим 150 V, в виду значительной опасности в отношении электрических ударов, представляемой подобными сетями, при заземлении нейтралей; этого мнения придерживается и такой авторитетный французский электротехник, как профессор Модюи (Mauduit<sup>1)</sup>). В связи с указанным движением в 1927 году было издано постановление (Arrêté Technique), отменяющее обязательность заземления нейтрали в установках переменного тока, относящихся к разряду В<sub>2</sub> первой категории по французской классификации, т. е. в установках с напряжением относительно земли от 150 V до 250 V. Обязательность заземления нейтрали сохраняется только для установок разряда В<sub>1</sub> первой категории, т. е. установок с напряжением относительно земли, не превышающем 150 V. Таким образом во Франции существуют в этом отношении те же требования, что и в Соединенных Штатах Америки.

Сравнивая между собой две противоположные точки зрения, одну Германскую, принятую и у нас, и другую франко-американ-

<sup>1)</sup> См. A. Mauduit. Protections obtenues et dangers occasionnés par les diverses mises à la terre dans les réseaux à basse et haute tension. „Revue Générale de l'Electricité“, 8 Juin 1929.

скую, нельзя не признать, что вторая лучше согласуется с требованиями и положениями техники безопасности, чем первая. Принятый у нас взгляд на обязательность заземления установок переменного тока 380/220 В, с целью устранения возможности повышения напряжения при однополюсном прикосновении сверх 220 В, мог бы быть обоснован с точки зрения техники безопасности лишь в том случае, если бы напряжения ниже 220 В можно было рассматривать как безопасные для жизни и здоровья человека. Поскольку, однако, практика несчастных случаев показывает совершенно другое (см. главы I и II настоящей книги), отпадает указанное обоснование для заземления нейтрали, польза которого в отношении безопасности является сомнительной.

Если теперь обратиться к опасности перехода на данную систему более высокого напряжения из другой системы, т. е. того фактора, под углом зрения которого в Америке главным образом рассматривается вопрос о заземлении нейтралей распределительных сетей, то и с этой точки зрения нельзя признать обоснованным требование обязательного заземления нейтрали. В качестве меры борьбы с указанной опасностью более рациональным является применение вместо глухого заземления пробивного или разрядного сопротивления (пробивного предохранителя), включаемого между нулевой точкой системы и землей. Указанное сопротивление настолько велико, что нормально низковольтная сеть работает в условиях близких к тем, которые существуют для сетей, изолированных от земли. В случае же перехода на данную сеть высокого напряжения, напр., при повреждении изоляции между первичной и вторичной обмоткой трансформатора, происходит пробой или разряд, в результате чего устанавливается прямое замыкание нейтрали низковольтной сети на землю, с последующим возникновением тока короткого замыкания и отключением поврежденного участка сети. После этого прямое замыкание на землю нарушается, и восстанавливается первоначальное соединение через сопротивление. При той весьма значительной разнице между первичным и вторичным напряжением, которая существует в промышленных установках (первичное напряжение

обычно не ниже 3000 V, вторичное — не выше 500 V) можно вполне обеспечить надежное действие пробивного предохранителя, если только за его исправным состоянием будет установлен надлежащий контроль. О конструкции подобного прибора будет сказано дальше, в разделе г настоящей главы, посвященном устройству заземлений.

Таким образом может быть достигнута защита установки от случайного появления высокого напряжения, и в то же время нормально установка будет работать в таких же условиях, как установка, изолированная от земли; благодаря этому значительно уменьшается вероятность поражений электрическим током при прикосновении к токоведущим частям, как это было подробно выяснено в главе III. Устройство пробивного предохранителя, рекомендуемое в качестве защитной меры многими авторами (Mauduit, Zipp<sup>1)</sup> и др.), заслуживает гораздо более широкого применения, чем то, которым оно сейчас пользуется. К сожалению, для установок 380/220 V этому применению препятствует установленная у нас неудачная классификация напряжений, согласно которой установка в 380/220 V может быть причислена к низковольтным только при полном заземлении нейтралей.

Как видно из всего предыдущего, вообще говоря нельзя обосновать необходимость глухого заземления в низковольтных установках соображениями увеличения безопасности этих установок. С другой стороны, нельзя отрицать в некоторых случаях целесообразности такого заземления, диктуемого эксплуатационно-техническими соображениями, но в этих случаях мы будем иметь уже дело с „рабочим заземлением“, в полном смысле этого слова. А так как в настоящей книге нас интересуют только защитные функции заземлений, общее же рассмотрение вопроса о заземлении не входит в наши задачи, то мы и не будем больше останавливаться отдельно на заземлении нейтралей распределительных сетей и установок, а все внимание обратим на заземление металлических частей, не при-

<sup>1)</sup> H. Zipp, Erdung und Nullung in Niederspannungsanlagen. „Elektrizitätswirtschaft“, 1926, № 418.



надлежащих к токоведущей системе и нормально не находящихся под напряжением. Заземление таких частей, могущих случайно оказаться под напряжением, мы и обозначим в дальнейшем термином „защитное заземление“, ибо подобное заземление имеет как правило лишь защитные функции, в отношении предохранения от поражения электрическим током. Для самой же работы электрической установки это заземление не имеет обыкновенно никакого значения, и если бы не требования безопасности, без него можно было бы вполне обойтись.

В несколько иных условиях работают установки высокого напряжения, в частности высоковольтные линии передачи электрической энергии. Вопрос о заземлении таких установок подробно изложен в седьмом выпуске настоящего издания, именно в книге проф. А. А. Смурова „Токи высокого напряжения“, а потому мы здесь вообще говоря не будем его касаться и ограничимся рассмотрением защитного заземления в установках низкого напряжения.

## **в. Общие принципы защитного заземления и его применение в установках низкого напряжения.**

Как уже сказано, защитное заземление имеет целью устранение или ослабление опасности электрического удара при прикосновении к металлическим частям, на которые может случайно, напр., вследствие повреждения изоляции, перейти напряжение от соседних токоведущих частей. Поэтому заземлению подлежат внешние нетокведущие металлические части электрических машин, приборов и проводов, именно станины и кожухи двигателей, генераторов, трансформаторов и преобразователей, корпуса и металлические оболочки измерительных приборов, реостатов, контроллеров и других аппаратов, металлические ящики и коробки выключателей, предохранителей, штепселей, защитных приборов, каркасы распределительных щитов, металлическая броня или оболочка бронированных кабелей и проводов (если эта броня не заземлена по условиям самой проводки), корпуса кабельных муфт и концевых заделок, металлические опоры воздушных линий; наконец, металлические предохранительные щиты, решетки, барьеры и защитные трубы, огражда-

ющие токоведущие части от прикосновения. Все перечисленные металлические части находятся обыкновенно в непосредственной близости от токоведущих частей, а потому более всего подвержены опасности случайного появления напряжения вследствие повреждения изоляции.

Помимо перечисленных элементов электрических установок в защитном заземлении нередко нуждаются и не-электрические машины и другие металлические предметы оборудования, а также конструктивные части зданий и сооружений, как-то металлические балки и фермы (в частности крановые), колонны, кронштейны, подвески и т. д. Защитное заземление всех этих частей следует производить в тех случаях, когда предметы электрического оборудования, напр., электрические провода, соприкасаются с этими частями или расположены так близко, что возможен переход напряжения при порче изоляции. Нужно однако, отметить, что при заземлении конструктивных частей зданий следует соблюдать известную осторожность, ибо в некоторых случаях такое заземление нежелательно по строительным соображениям; так, например, большинство специалистов-строителей признают вредным заземление железной арматуры железобетонных сооружений. Во всех подобных случаях, когда заземление не производится, необходима особенно тщательная прокладка проводов и установка электрических приборов, с тем, чтобы исключить возможность перехода напряжения на конструктивные металлические части.

Самое заземление заключается в электрическом соединении с заземляющим электродом или заземлителем, т. е. металлическим предметом, находящимся в непосредственном соприкосновении с почвой и имеющим относительно „земли“, т. е. точек нулевого потенциала, определенное сопротивление, не выше наперед установленной величины. Соединение защищаемой части с заземлителем может быть прямое, и в этом случае мы имеем дело с так называемым „простым“ или „чистым“ заземлением; либо же это соединение производится путем приключения заземляемой части к общему нулевому заземленному проводу или нейтрали установки, и в таком случае устройство называется „занулением“. Возможны и другие, более сложные спо-

собы присоединения заземляемых частей к одному или нескольким заземлителям („сложное заземление“). Как зануление, так и сложное заземление, подробно рассматриваемые ниже, являются, однако, лишь разновидностями защитного заземления, ибо принцип действия устройства остается во всех случаях один и то же, меняется только форма его технического осуществления. В дальнейшем поэтому термин „защитное заземление“ будет относиться как к простому заземлению, так и занулению и сложному заземлению.

При повреждении изоляции между заземляемой и токоведущей частью, т. е. при „замыкании на корпус“, могут установиться два различных режима, в зависимости от устройства сети и других внешних условий. Один режим, имеющий место при однополюсном замыкании на землю в сетях, изолированных от земли (или соединенных с землей через большое сопротивление), — можно назвать режимом утечки. Сила тока, проходящего от токоведущей части к заземленной и дальше к заземлителю („ток утечки“), в этих случаях обыкновенно незначительна по сравнению с номинальной силой тока данной установки. Однополюсное замыкание само по себе может остаться без всяких последствий в отношении работы электрической установки, но вызывает повышение потенциала заземленной части, в зависимости от ее сопротивления относительно земли и силы тока утечки. При прикосновении к рассматриваемой металлической части человек включается на известное напряжение, которое можно назвать „напряжением прикосновения“ (см. главу III). Это напряжение прикосновения вообще говоря может отличаться от напряжения заземленной части относительно земли, ибо потенциал той точки, к которой человек прикасается ногами или другой рукой, одновременно с прикосновением к металлической части, может и не быть равным нулю. Так, если человек стоит как раз около заземления, то напряжение прикосновения обычно несколько меньше потенциала заземленной металлической части, ибо при переходе тока от заземлителя в землю, около заземлителя устанавливается некоторая зона падения напряжения, так что потенциал земли около самого заземления не равен нулю. Однако, для практических

расчетов заземлений в низковольтных установках это обстоятельство обыкновенно во внимание не принимается, и напряжение прикосновения принимается равным полному потенциалу заземленной части. Как бы то ни было, защитное заземление должно быть так устроено, чтобы максимально возможный для данной установки длительный ток утечки не мог вызвать напряжения прикосновения к заземленным частям, превышающего известный безопасный предел. За такой предел безопасного напряжения можно принять величину 40 V, как было выяснено в главе IV <sup>1)</sup>.

Другой режим, который может возникнуть при замыкании на корпус, можно назвать режимом короткого замыкания. В сетях, изолированных от земли, это явление может возникнуть только при двухполюсном замыкании на землю, т. е. в случае, если кроме замыкания на корпус в рассматриваемом месте, произошло другое замыкание на другом полюсе или фазе. В сетях же с заземленными нейтралью каждое замыкание на заземленный или зануленный корпус влечет за собой установление короткозамкнутой цепи <sup>2)</sup>, в которой появляется ток большой силы. В этом случае обыкновенно нельзя рассчитывать на то, чтобы потенциал заземляемого корпуса, а вместе с тем напряжение прикосновения не превысило установленного выше безопасного предела в 40 V. Выполнение этого условия встретило бы, как показано ниже, весьма большие трудности в техническом и экономическом отношениях. Вместо этого в рассматриваемых случаях выдвигается другое условие, именно быстрое отключение от сети той части установки, где произошло замыкание на корпус, с тем чтобы по возможности скорее ликвидировать опасность прикосновения к металлическому корпусу. Таким образом

<sup>1)</sup> В установках высокого напряжения, нормами, принятыми IX ВЭС'ом, допускается напряжение прикосновения до 150 V и даже выше. Подобные напряжения прикосновения, однако, совершенно не могут быть допущены для низковольтных установок, с которыми имеет дело несравненно большее число лиц, притом совершенно неквалифицированных в электротехническом отношении.

<sup>2)</sup> Сказанное, очевидно, не относится к случаю замыкания на корпус токоведущей части, присоединенной к нулевой точке или нулевому проводу установки; такое замыкание, вообще говоря, не вызывает повышения напряжения на корпусе, а потому опасности не представляет.

функция защитного заземления заключается в этом случае не столько в удержании потенциала ограждаемой части в известных пределах, как в установлении цепи короткого замыкания возможно малого сопротивления, для того, чтобы ток короткого замыкания быстро подействовал на предохранитель или автоматический выключатель, защищающий данную часть установки. При этом предполагается, что достаточно быстрое отключение получится, если сила тока короткого замыкания превысит 2,5-кратную величину номинальной силы тока соответствующего плавкого предохранителя, или же превысит на 20% силу тока выключения соответствующего автоматического выключателя. Требование о том, чтобы напряжение прикосновения не превышало 40 В, может быть установлено только в отношении токов, могущих существовать длительно в данной цепи, т. е. токов, сила которых значительно меньше указанных величин. Поскольку однако кратковременные токи короткого замыкания, быстро приводящие в действие плавкие предохранители или автоматы, могут быть значительно выше указанных величин, необходимо считаться с кратковременным увеличением потенциала ограждаемой металлической части гораздо выше безопасного 40-вольтного предела. В особенности это относится к случаю защитного зануления, когда сопротивление коротко-замкнутой цепи очень мало, а ток короткого замыкания велик.

Как бы кратковременно ни было появление указанного потенциала на металлической части, все же оно может вызвать несчастный случай. С возможностью поражения электрическим током в подобных условиях приходится считаться главным образом в тех случаях, когда рабочие находятся в длительном соприкосновении с ограждаемой металлической частью или с частями, с нею электрически связанными. Сюда относятся случаи работы с переносными электрическими инструментами, а также у станков, оборудованных по системе одиночного привода и связанных с электродвигателем общей плитой или общей станиной. В подобных случаях защитное устройство, вызывающее только быстрое отключение установки, нельзя признать вполне удовлетворяющим требованиям безопасности; к этому вопросу мы еще вернемся в следующих разделах настоящей главы. По-

скольку в сетях изолированных от земли вероятность появления тока короткого замыкания, связанная с одновременным двойным замыканием на корпус на разных полюсах, гораздо меньше, чем в сетях с заземленными нейтралями, установки первого типа являются в указанном отношении более безопасными, нежели вторые (см. главу III).

В вопросе о применении защитного заземления главную роль имеют следующие факторы: 1) расположение ограждаемых частей, 2) величина напряжения установки и 3) характер помещения и внешние условия работы установки и обслуживающего ее персонала.

В отношении пункта 1 следует сказать, что защитному заземлению подлежат лишь металлические части, доступные для прикосновения. Части, расположенные на недоступной высоте, либо же огражденные от прикосновения, в защитном заземлении не нуждаются, ибо они не представляют опасности поражения электрическим током. Равным образом не требуется заземлять такие части, прикосновение к которым возможно только с изолирующей площадки и в достаточном удалении от металлических заземленных предметов; в этих случаях ток через тело человека не может установиться даже при прикосновении к корпусу электрического прибора, случайно оказавшемуся под напряжением.

Далее, чем выше напряжение установки, тем при прочих равных условиях, должен быть выше потенциал металлической части, оказавшейся случайно под напряжением; поэтому чем выше напряжение, тем более существенным и необходимым является защитное заземление. Нижним пределом является естественно напряжение в 40 V, считающееся вообще говоря безопасным; так как в установке с рабочим напряжением в 40 V напряжение прикосновения не может превзойти этой величины<sup>1)</sup>, то для установок с указанным напряжением и ниже защитное заземление не требуется.

---

<sup>1)</sup> Поскольку устранена возможность перехода на данную установку более высокого напряжения другой установкой.

Что касается низковольтных установок с напряжением выше 40 V то вопрос о том, нужны или не нужны для них защитные заземления, решается в связи с указанным выше пунктом 3, т. е. с условиями работы данной установки и лиц, ее обслуживающих. Естественно, что чем неблагоприятнее эти условия в отношении поражения электрическим током, тем ниже должна быть установлена граница напряжений, при которых требуется защитное заземление.

В проекте „Руководящих указаний для расчета и устройства заземлений и занулений в устройствах низкого напряжения“, составленном инж. Л. П. Подольским и опубликованном в „Электричестве“ 1929, № 3—4, предложена следующая классификация установок в отношении требований защитного заземления.

1) Установки с напряжением свыше 40 и до 125 V относительно земли:

а) в случае, если имеет место длительное соприкосновение людей с металлическими корпусами токоприемников, защитное заземление выполняется в помещениях особо опасных, сырых, с проводящей пылью и в помещениях, содержащих металлические части, соединенные с землею;

б) в случае, если нет длительного соприкосновения, защитное заземление выполняется только в помещениях особо опасных,

2) Установки с напряжением свыше 125 и до 250 V относительно земли:

а) при длительном соприкосновении — защитное заземление выполняется во всех случаях;

б) в случае, если нет длительного соприкосновения — в помещениях особо опасных, сырых, с проводящей пылью и содержащих металлические части.

Особо опасными помещениями считаются, согласно указанному проекту, помещения особо сырые, помещения с едкими парами, а также помещения, в которых имеется два или более следующих неблагоприятных признака: сырость, наличие проводящей пыли, высокая температура, отсутствие изолирующего пола, наличие близлежащих заземленных металлических частей.

Изложенные правила, указывающие случаи необходимости заземления, следует признать слишком сложными; вследствие

обилия признаков и их взаимного перекрещивания при применении правил возможны различные толкования, недоразумения и споры, что значительно затруднило бы пользование этими правилами.

С другой стороны, несмотря на подробное перечисление неблагоприятных признаков, вызывающих необходимость заземления, этот список все же нельзя назвать исчерпывающим. Возможны и другие условия, которые делают защитное заземление необходимым, главным образом для напряжений свыше 150 V относительно земли. Одним из таких условий является наличие опасностей не-электрического характера, которым подвержен рабочий, имеющий дело с электрической установкой, напр., нахождение его на высоко расположенном месте, с которого возможно падение вниз, наличие вблизи вращающихся и движущихся машинных частей (ремней и других трансмиссионных частей, пил, вальцев, штампов и пр.). При таких условиях даже незначительный электрический удар, при небольшом напряжении прикосновения, сам по себе не опасный, может вызвать тяжелый несчастный случай вследствие испуга, нервного потрясения и потери равновесия. Указанные условия являются между прочим одними из основных, при которых защитное заземление требуется в Английских правилах безопасности<sup>1)</sup>.

В виду изложенного правильнее было бы признать для установок с напряжением выше 150 V относительно земли необходимость защитного заземления во всех случаях. Это относится главным образом к установкам переменного тока 380/220 V с заземленной нейтралью, которым предназначено широкое распространение в нашей промышленности и сельском хозяйстве. Как уже было сказано в главе IV, широкое применение указанного напряжения возможно только при условии соблюдения правил и мер, обеспечивающих безопасность людей, пользующихся этими установками. Одной из главнейших мер и является защитное заземление, на которое и должно быть обращено самое серьезное внимание.

---

<sup>1)</sup> Regulations for the Electrical Equipment of Buildings. The Institution of Electrical Engineers.



На первый взгляд может показаться, что требование защитного заземления всех металлических частей, доступных для прикосновения, сильно утяжеляет правила, выставленные в изложенном выше проекте Руководящих Указаний. В действительности, однако, это далеко не так, ибо если сопоставить вместе все упомянутые выше неблагоприятные признаки, требующие применения защитного заземления, то окажется, что подавляющее большинство промышленных установок все равно подпадает под приведенные правила. Один только признак длительного соприкосновения с металлическими частями, могущими случайно оказаться под напряжением, при современном колоссальном развитии системы одиночного привода, объединяет значительную часть электрических установок во всех отраслях промышленности. Не менее широким признаком является наличие вблизи электрических установок металлических заземленных предметов, т. е. машин, приборов, металлических конструкций и пр.; здесь имеется в виду расстояние, достаточное для возможности одновременного прикосновения разными частями тела к установкам и к указанным предметам, т. е. расстояние порядка 1—1,5 м. Ясно, что и это условие приложимо к чрезвычайно большому числу электрических установок, во всех мастерских, хорошо оборудованных машинами и металлическими приборами. Далее идет признак сырости, едких паров, токопроводящей пыли, высокой температуры, бетонного или плиточного пола. Очевидно, что при строгом выполнении правил, предложенных в вышеупомянутом проекте, получатся для промышленных установок практически те же результаты, что и в случае гораздо более простого и не вызывающего сомнений правила об обязательном защитном заземлении во всех установках с напряжением выше 150 V относительно земли. Существенная разница может получиться только для установок домашнего типа, в жилых и общественных зданиях. С нашей точки зрения, однако, представляется несомненным, что если в домашнем быту или в общественных местах будет применяться напряжение выше 150 V относительно земли и если в таких помещениях будут находиться доступные прикосновению электрические приборы с металлическими внешними

частями (что само по себе нежелательно), то эти части должны обязательно заземляться, во избежание возможности сильного увеличения электротравматизма в широких кругах населения.

В Америке, где защитное заземление применяется особенно широко, и где имеется в этом отношении наибольшая практика, также существует правило об обязательном заземлении всех металлических нетоковедущих частей в установках с напряжением выше 150 V относительно земли. Это правило является одним из основных в Американском кодексе безопасности электрических установок (National Electrical Safety Code) и относится как к оборудованию станций и подстанций (часть I кодекса), так и к оборудованию для потребления электрической энергии (часть III кодекса).

Что касается установок с напряжением от 40 до 150 V относительно земли, то общее правило о защитном заземлении всех частей, могущих оказаться под напряжением, было бы, конечно, излишне строго, да и вряд ли осуществимо, имея в виду все существующие электрические установки в промышленности и в домашнем быту. Для установок с указанным напряжением защитное заземление должно применяться только в случае специфических условий, неблагоприятных в отношении поражений электрическим током. Сюда принадлежат установки в сырых и особо сырых помещениях, в помещениях с токопроводящей пылью и едкими парами, а также в помещениях с проводящими полами (земляными, каменными, бетонными). Кроме того должны заземляться во всех случаях металлические корпуса переносных электрических инструментов (сверлилки, шлифовальные круги и пр.), представляющих особенную опасность в отношении поражения электрическим током (подробнее об этом см. главу VIII). Подобные же правила о защитном заземлении в установках с напряжением относительно земли ниже 150 V существуют и в Америке.

Таким образом мы приходим к следующим, сравнительно простым правилам о применении защитного заземления:

а) В установках с напряжением свыше 150 до 250 V по отношению к земле защитное заземление должно выполняться

во всех случаях, когда ограждаемые части доступны для прикосновения.

б) В установках с напряжением свыше 40 до 150 В по отношению к земле, защитное заземление должно выполняться в помещениях сырых, особо сырых, с едкими парами, с проводящей пылью и с проводящими полами.

с) В установках с напряжением 40 В и ниже защитное заземление не требуется.

Как было выяснено в главе IV, более рациональной является классификация установок по номинальным или рабочим напряжениям, а не по напряжениям относительно земли; при последней классификации могут возникнуть сомнения в отношении установок, изолированных от земли. Однако, поскольку в наших правилах безопасности принята вообще система классификации установок по напряжению относительно земли, эта же система сохраняется и в приведенных выше указаниях по устройству защитных заземлений.

### с. Простое заземление.

1. Общие основания. Как уже было сказано в предыдущем разделе, простое заземление заключается в прямом соединении металлической защищаемой части с заземлителем, при помощи заземляющего провода. Из этого, однако, не следует, что каждая заземляемая часть должна иметь свой собственный заземлитель, не связанный с другими заземлителями. Такое устройство было бы чрезвычайно дорого и трудно выполнимо; с точки зрения безопасности оно также должно быть признано нежелательным, ибо обеспечить надежное состояние множества заземлителей было бы вряд ли возможно даже при тщательном контроле. Поэтому все заземления, расположенные недалеко друг от друга, напр. в одном здании или даже в смежных зданиях, если последние не очень велики, следует выполнять электрически соединенными между собой, с тем, чтобы вся эта система имела бы один или несколько общих, параллельно соединенных заземлителей. Надзор за состоянием небольшого числа заземлителей можно производить с должной тщательностью, а кроме того эта система дает возможность иметь доста-

точный запас в отношении заземлителей, ибо все они работают сообща в одной и той же заземляющей сети.

С другой стороны следует принять все меры к тому, чтобы обеспечить надежность электрического соединения ограждаемых частей с заземлителями. Помимо соблюдения правил о сечении заземляющих проводов и об их прокладке (см. дальше, раздел g) необходимо вообще избегать применения заземляющих проводов большой длины, ибо такие провода более подвержены возможности обрыва, нежели короткие. Из этих же соображений следует предпочесть для заземляющих проводов кольцевую систему с тем, чтобы обрыв или повреждение в одном месте не имело бы последствием устранение защитного заземления.

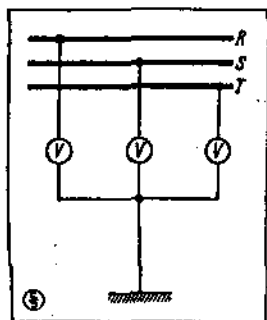
При расчете защитных заземлений следует резко различать между собой случай сети, изолированной от земли, от случая сети с заземленной нейтралью. К сетям, изолированным от земли, можно отнести также сети, нейтраль которых нормально соединена с землей через пробивное сопротивление.

2. Расчет сопротивления заземления для сетей, изолированных от земли. Для сетей, изолированных от земли, защитные заземления, как уже сказано раньше, должны рассчитываться на возможные токи утечки при однополюсном (или однофазном) замыкании на землю. Случай одновременного двухполюсного замыкания хотя и возможен, но настолько редок в правильно эксплуатируемых и в порядке содержимых сетях, что учитывать этот случай при расчете защитных заземлений не является необходимым.

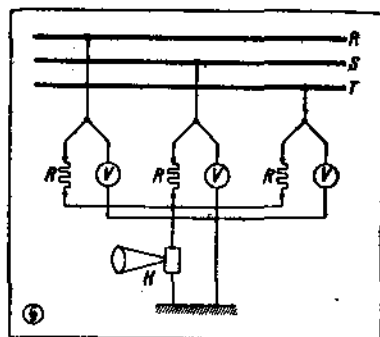
Сказанное, однако, справедливо лишь в том случае, когда имеются приспособления для обнаружения и последующего устранения возникшего однополюсного (однофазного) замыкания на землю, например, указатели заземления и другие сигнальные приспособления. В противном случае однополюсное замыкание может остаться долгое время незамеченным, и таким образом вероятность двухполюсного замыкания, при случайном втором замыкании на землю, значительно возрастет.

Устройство для контроля за состоянием изоляции в виде трех вольтметров, соединенных в звезду и включенных между землей и каждым из линейных проводов, показано на фиг. 87. При исправ-

ном состоянии изоляции на всех фазах вольтметры показывают фазное напряжение сети. При частичном замыкании на землю в одной из фаз, т. е. когда имеется некоторое повреждение изоляции, уменьшающее ее сопротивление, показание соответствующего вольтметра уменьшается, а двух других вольтметров увеличивается. Наконец, при полном замыкании на землю в одной из фаз соответствующий вольтметр показывает нуль, а два другие — междуфазное напряжение сети. Для облегчения надзора за состоянием изоляции описанное устройство часто дополняют сигнальным звуковым прибором в виде сирены, дающим сильные



Фиг. 87. Указатель заземления.



Фиг. 88. Указатель заземления с сигнальным прибором.

и далеко слышимые сигналы. Схема комбинированного сигнального прибора фирмы Сименс-Гальске показана на фиг 88. Кроме трех вольтметров  $V$ , соединенных в звезду, имеются три безындукционные сопротивления  $R$ , также соединенные в звезду, с отдельной нулевой точкой; между последней и землей включена электрическая сирена  $H$ . Ток, идущий в сирену  $H$ , равен геометрической сумме токов в сопротивлениях  $R$ ; при равенстве величин сопротивлений изоляции трех фаз, а следовательно напряжений линейных проводов относительно земли, ток в сирене  $H$  равен нулю, и сирена молчит. При уменьшении же сопротивления изоляции одной из фаз по сравнению с другими, это равновесие нарушается, и сирена дает сигнал. Услышав сигнал и подойдя к прибору, можно по показаниям вольтметров узнать, в какой фазе произошло повреждение изоляции. Для того, чтобы

это можно было узнать также издали, вместо сопротивлений  $R$  можно применить электрические лампы, окрашенные в разные цвета, в соответствии с принятыми обозначениями для трех фаз; лампа, дающая более слабый свет, укажет на фазу с поврежденной изоляцией. Лампы, однако, не могут вполне заменить вольтметров, которые, конечно, дают гораздо более точную картину состояния изоляции сети.

Недостатком указанных приборов, как с сиреной, так и без нее, является то, что приборы не реагируют на тот случай, когда изоляция повреждена в одинаковой мере на всех трех фазах, ибо такое повреждение не влияет на распределение напряжений относительно земли. Поскольку, однако, этот случай на практике встречается редко, этот недостаток не имеет особого значения.

Дальнейшее развитие описанных устройств состоит в том, что прибор не только сигнализирует о повреждении изоляции, но и отключает от сети ту часть установки, в которой это повреждение произошло. Это устройство состоит из выключателя, действующего от релэ, которое включается так же, как сирена на фиг. 88.

Каковы бы ни были приборы, указательные, сигнальные или отключающие, существенное требование, предъявляемое к ним с точки зрения безопасности, должно заключаться в том, чтобы электрическое сопротивление приборов, включенных между фазными проводами и землей, было очень велико, не менее нескольких тысяч омов. В противном случае эти приборы сами будут источником опасности поражения электрическим током, ибо условия прохождения тока через тело человека в случае однополюсного прикосновения будут приближаться к тем, которые имеют место в сетях с заземленными нейтральными. Сказанное станет понятным, если вспомнить, что сопротивление человеческого тела велико, и что с другой стороны очень слабые токи (порядка сотых долей ампера) могут представить опасность для жизни человека (см. главу I).

В главе III, разделе с, были выведены значения силы тока, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к случайно оказавшейся под напряжением металлической части, для электрических сетей разных систем. На основании формулы 23 и фи-

гуры 14 (стр. 105—106) мы можем написать для двухпроводной сети (постоянного или однофазного тока) следующее выражение для напряжения прикосновения  $E'$ , в зависимости от рабочего напряжения сети  $E$ , сопротивления изоляции <sup>1)</sup> противоположного полюса  $r$ , сопротивления защитного заземления  $R_a$  и сопротивления тела человека  $R$ :

$$E' = IR = \frac{ERR_a}{R(R_a + r) + R_a r}$$

При выводе этой формулы мы пренебрегли влиянием сопротивления изоляции  $r_1$  того полюса, где произошло замыкание на землю, а сопротивление изоляции противоположного полюса обозначено буквою  $r$  вместо  $r_2$ .

Решая уравнение относительно  $R_a$ , мы получим:

$$R_a = \frac{E'r}{E - E' \left( \frac{r}{R} + 1 \right)} \dots \dots \dots (33)$$

Неудобство пользования полученной формулой заключается в том, что в нее входит крайне неопределенная величина  $R$  — сопротивления тела человека, прикоснувшегося к ограждаемой части. Из формулы явствует, что чем больше величина  $R$ , тем, при прочих равных условиях, будет меньше сопротивление защитного заземления  $R_a$ . Поскольку, в целях надежности защиты, мы заинтересованы получить минимальное значение  $R_a$ , при самом неблагоприятном случае, мы можем принять весьма большое значение  $R$  и допустить  $\frac{r}{R} = 0$ . Таким образом фактически напряжение прикосновения при вычисленной нами величине  $R_a$  будет меньше, чем в случае  $\frac{r}{R} = 0$ , т. е. мы будем иметь значительный запас. Итак, принимая  $\frac{r}{R} = 0$ , мы получим:

$$R_a = \frac{E'r}{E - E'} \dots \dots \dots (34)$$

<sup>1)</sup> Мы имеем в виду только ваттные сопротивления и ваттные токи утечки. Что касается емкостных токов утечки, то они для низковольтных установок практического значения не имеют, а потому мы ими пренебрегаем.

или

$$E' = \frac{ER_a}{R_a + r} \dots \dots \dots (35)$$

Сила тока  $I_a$  через заземляющий проводник и заземлитель равна:

$$I_a = \frac{E'}{R_a} = \frac{E - E'}{r} \dots \dots \dots (36)$$

Если принять, согласно общим принципам защитного заземления (см. выше), напряжение прикосновения  $E' = 40$  V, то мы получим:

$$R_a = \frac{40r}{E - 40} \dots \dots \dots (37)$$

$$I_a = \frac{E - 40}{r} \dots \dots \dots (38)$$

Сопротивление защитного заземления, вычисленное по формуле 37 получается очень большим, как это видно из следующего примера. Для осветительной установки напряжением в 220 V, состоящей из 60 групп ламп общей мощностью 10 kW, рассмотренной в качестве примера в главе III, стр. 89, было принято сопротивление изоляции одного полюса  $r = 3600$  Ω. Для этой величины сопротивления изоляции, которую следует, вообще, признать небольшой, мы получим:

$$R_a = \frac{3600 \cdot 40}{220 - 40} = 800 \text{ } \Omega$$

$$I_a = \frac{40}{800} = 0,05 \text{ A}$$

Таким образом, даже при расчете по формуле 34, дающей сильно преуменьшенные значения сопротивления  $R_a$ , мы получили весьма большую величину сопротивления защитного заземления, которую практически можно уменьшить в несколько раз, ибо заземлитель любой конструкции, даже не особенно тщательно выполненный, даст меньшее сопротивление. В качестве практической максимальной величины этого сопротивления можно



указать на 100  $\Omega$ . Принимая  $R_a = 100 \Omega$ , имеем согласно уравнениям 35 и 36, для рассматриваемого случая:

$$E' = \frac{220 \cdot 100}{100 + 3600} = 6 \text{ V}$$

$$I_a = \frac{6}{100} = 0,06 \text{ A}$$

Как видим, получается совершенно незначительная величина напряжения соприкосновения (6 V), совершенно безопасная для жизни и здоровья человека, в каких бы неблагоприятных условиях последний ни находился. Расчетная сила тока для заземления (0,06 A) также весьма мала, так что размеры заземлителя и сечение заземляющих проводов могут быть выбраны минимальные, определяясь лишь условиями прочности в отношении механических и химических воздействий.

Для трехфазной сети переменного тока получаем на основании фигуры 15 и формулы 24 (стр. 106) следующее значение напряжения прикосновения  $E'$ , если пренебречь влиянием сопротивления изоляции  $r_1$  той фазы, где произошло замыкание на землю и если считать сопротивления изоляции двух других фаз равными друг другу, т. е.  $r_2 = r_3 = r$ :

$$E' = IR = \frac{\sqrt{3} E R R_a}{R(2R_a + r) + R_a r}$$

Решая это уравнение относительно  $R_a$ , получаем:

$$R_a = \frac{E'r}{\sqrt{3}E - E' \left( \frac{r}{R} + 2 \right)} \dots \dots \dots (39)$$

Полагая по прежнему  $\frac{r}{R} = 0$ , т. е. рассматривая самый неблагоприятный случай, получаем:

$$R_a = \frac{E'r}{\sqrt{3}E - 2E'} \dots \dots \dots (40)$$

или

$$E' = \frac{\sqrt{3} E R_a}{2R_a + r} \dots \dots \dots (41)$$

Сила тока  $I_a$  через заземлитель и заземляющий проводник равна:

$$I_a = \frac{E'}{R_a} = \frac{\sqrt{3}E - 2E'}{r} \quad (42)$$

Для  $E' = 40$  В получаем:

$$R_a = \frac{40r}{\sqrt{3}E - 80} \quad (43)$$

$$I_a = \frac{\sqrt{3}E - 80}{r} \quad (44)$$

Для приведенного выше примера ( $E = 220$  В и  $r = 3600$   $\Omega$ ) имеем:

$$R_a = \frac{40 \cdot 3600}{\sqrt{3} \cdot 220 - 80} = 480 \text{ } \Omega$$

$$I_a = \frac{40}{480} = 0,085 \text{ А}$$

Если же принять по прежнему  $R_a = 100$   $\Omega$ , то мы получим (из уравнений 41 и 42):

$$E' = \frac{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 100}{2 \cdot 100 + 3600} = 10 \text{ В}$$

$$I_a = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ А}$$

Мы получаем подобную же картину, как и для двухпроводной сети, т. е. весьма малые величины напряжения прикосновения и расчетной силы тока через заземлитель.

Таким образом для сетей с изолированными нейтралями можно получить вполне надежную защиту от прикосновения к случайно оказавшимся под напряжением частям, без всяких затруднений в отношении электрического расчета и устройства защитных заземлений.

3. Расчет сопротивления заземления для сетей с заземленными нейтралями. Совершенно другая картина получается для сетей и установок с заземленными нейтралями. Как уже было сказано, в этом случае каждое замыкание на корпус может вызвать режим короткого замыкания, соответ-

ственно чему и должны быть рассчитаны и устроены защитные заземления.

Обозначаем по прежнему через  $E'$  — напряжение прикосновения,  $R_a$  — сопротивление защитного заземления,  $R_o$  — сопротивление рабочего заземления нулевой точки или нейтрали сети,  $E_{об}$  — напряжение, действующее в той части или той фазе сети, где произошло замыкание на землю; это напряжение, вообще говоря, будет меньше нормального напряжения установки  $E_o$  относительно земли, вследствие неравномерности нагрузки генератора или трансформатора; однако, мы в целях упрощения расчета примем  $E_{об} = E_o$ , что введет некоторый запас в наши расчеты и увеличит надежность защитного заземления.

Пренебрегая далее сопротивлением линейных проводов, как вообще незначительных по сравнению с сопротивлением заземлений<sup>1)</sup>, мы получим для сети любой системы следующее выражение (см. главу III, стр. 110):

$$E' = \frac{E_o R_a}{R_a + R_o}$$

Сила тока  $I_a$  через заземлители (она же равна силе тока короткого замыкания  $I_k$ ) равна:

$$I_a = \frac{E'}{R_a} = \frac{E_o}{R_a + R_o}$$

Для трехпроводной сети постоянного тока мы имеем (фиг. 17, стр. 109)  $E_o = \frac{E}{2}$ , где  $E$  — рабочее напряжение установки и:

$$E' = \frac{E R_a}{2(R_a + R_o)} \dots \dots \dots (45)$$

$$I_a = \frac{E}{2(R_a + R_o)} \dots \dots \dots (46)$$

<sup>1)</sup> Сопротивлением линейных проводов (по отношению к сопротивлению заземлений) нельзя было бы пренебрегать в случае линий, передающих энергию на большое расстояние; подобные линии при низком напряжении можно рассматривать лишь как исключение.

Сопротивления  $R_a$  и  $R_o$  определяются на основании приведенных формул:

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{E'}{I_a} \\ R_o &= \frac{ER_a}{2E'} - R_a = \frac{E - 2E'}{2I_a} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (47)$$

Как уже было сказано, для сетей с заземленными нейтралью защитные заземления должны быть так рассчитаны, чтобы токи короткого замыкания (через заземлители) достаточно быстро приводили в действие плавкие предохранители или максимальные выключатели. Для этого необходимо, чтобы ток через заземлители при замыкании на корпус в каком-либо приемнике был бы не менее 2,5-кратного номинального тока в случае плавких предохранителей и не менее 1,2-кратного номинального тока в случае максимального автомата. Если целый ряд приемников имеет один или несколько общих заземлителей, то естественно эти заземлители должны быть рассчитаны в соответствии с номинальным током предохранителя или автомата, защищающего наиболее мощный из подключенных приемников. Для упрощения дальнейших расчетов примем, что номинальный ток предохранителя или автомата равен номинальному току самого приемника, защищаемого этим предохранителем или автоматом.

Для установки постоянного тока, обозначая через  $P$  электрическую мощность в киловаттах наиболее мощного приемника данной группы, мы получим следующую расчетную величину силы тока через заземлитель:

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{2,5 \cdot 1000 P}{E} && \text{в случае плавких предохранителей} \\ \text{и} &&& \\ I_a &= \frac{1,2 \cdot 1000 P}{E} && \text{в случаях максимальных автоматов} \end{aligned}$$

Так как с другой стороны  $R_a = \frac{E'}{I_a}$  и принимая по прежнему  $E' = 40$  В, получим:

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{40 E}{2500 P} \text{ и} \\ R_o &= \frac{(E-80) E}{5000 P} \end{aligned} \right\} \text{ в случае плавких предохра-} \\ \text{нителей . . . . . (48)}$$

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{40 E}{1200 P} \\ R_o &= \frac{(E-80) E}{2400 P} \end{aligned} \right\} \text{ в случае максимальных ав-} \\ \text{томатов . . . . . (49)}$$

Например, при  $P = 10 \text{ kW}$  и  $E = 440 \text{ V}$  (трехпроводная сеть  $2 \times 220 \text{ V}$ ), имеем:

$$\left. \begin{aligned} I_a &= \frac{2500 \cdot 10}{440} = 57 \text{ A} \\ R_a &= \frac{40}{57} = 0,7 \text{ }\Omega \\ R_o &= \frac{360 \cdot 440}{5000 \cdot 10} = 3,16 \text{ }\Omega \end{aligned} \right\} \text{ в случае плавких} \\ \text{предохранителей.}$$

$$\left. \begin{aligned} I_a &= \frac{1200 \cdot 10}{440} = 26 \text{ A} \\ R_a &= \frac{40}{26} = 1,54 \text{ }\Omega \\ R_o &= \frac{360 \cdot 440}{2400 \cdot 10} = 6,6 \text{ }\Omega \end{aligned} \right\} \text{ в случае максималь-} \\ \text{ных автоматов.}$$

Значения сопротивления  $R_o$  заземления нейтрали должны быть проверены по условиям защиты при переходе напряжения из сети высокого напряжения в сеть низкого напряжения (см. дальше, стр. 328—329). Если окажется, что сопротивление  $R_o$  должно быть взято по указанным соображениям ниже приведенных величин, то и сопротивление заземлителя должно быть соответственно понижено с тем, чтобы было удовлетворено следующее равенство (из формулы 45):

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{2E'R_o}{E-2E'} \\ R_o &= \frac{80R_o}{E-80} \end{aligned} \right\} \text{ . . . . . (50)}$$

а при  $E' = 40 \text{ V}$

Для трехфазных сетей с заземленной нейтралью  $E$  равно фазному напряжению, т. е.  $E_0 = \frac{E}{\sqrt{3}}$ , а следовательно:

$$E' = \frac{E R_a}{\sqrt{3} (R_a + R_0)} \dots \dots \dots (51)$$

$$I_a = \frac{E}{\sqrt{3} (R_a + R_0)} \dots \dots \dots (52)$$

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{E'}{I_a} \\ R_0 &= \frac{E - \sqrt{3} E'}{\sqrt{3} I_a} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (53)$$

Сохраняя те же величины тока короткого замыкания (2,5-кратного номинального при плавких предохранителях и 1,2-кратного при максимальных выключателях), мы опять произведем расчет в соответствии с номинальным током наиболее крупного в данной установке приемника.

Для трехфазного приемника мощностью в  $P$  kW и при коэффициенте мощности  $\cos \varphi$ , мы найдем следующую расчетную силу тока через заземлители:

$$I_a = \frac{2,5 \cdot 1000 P}{\sqrt{3} E \cos \varphi} \quad (\text{при плавких предохранителях}).$$

$$I_a = \frac{1,2 \cdot 1000 P}{\sqrt{3} E \cos \varphi} \quad (\text{при максимальных автоматах}).$$

Подобно предыдущему найдем:

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{40 \sqrt{3} E \cos \varphi}{2500 P} \\ R_0 &= \frac{(E - 70) E \cos \varphi}{2500 P} \end{aligned} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{при плавких пре-} \\ \text{дохранителях.} \end{array} \dots (54)$$

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{40 \cdot \sqrt{3} E \cos \varphi}{1200 P} \\ R_0 &= \frac{(E - 70) E \cos \varphi}{1200 P} \end{aligned} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{при максимальных} \\ \text{автоматах} \end{array} \dots (55)$$

Например, для  $P=10 \text{ kW}$ ,  $E=380 \text{ V}$  (трехфазная сеть 380/220 V) и  $\cos \varphi=0,8$  имеем:

$$\left. \begin{aligned} I_a &= \frac{2500 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 47,5 \text{ A} \\ R_a &= \frac{40}{47,5} = 0,84 \text{ } \Omega \\ R_o &= \frac{310 \cdot 380 \cdot 0,8}{2500 \cdot 10} = 3,76 \text{ } \Omega \end{aligned} \right\} \text{при плавких предохранителях.}$$

$$\left. \begin{aligned} I_a &= \frac{1200 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 22,8 \text{ A} \\ R_a &= \frac{40}{22,8} = 1,75 \text{ } \Omega \\ R_o &= \frac{310 \cdot 380 \cdot 0,8}{1200 \cdot 10} = 7,85 \text{ } \Omega \end{aligned} \right\} \text{при максимальных автоматах.}$$

Если за исходную величину принять сопротивление  $R_o$ , которое должно быть взято ниже приведенных величин, то на основании формулы 51 имеем для трехфазной сети:

$$R_a = \frac{\sqrt{3} E' R_o}{E - \sqrt{3} E'}$$

а при  $E' = 40 \text{ V}$ :

$$R_a = \frac{70 R_o}{E - 70}$$

Полученные выше результаты подсчетов показывают, насколько затруднительной является задача защитного заземления в распределительных сетях с заземленными нейтральными. Действительно, устройство и содержание в порядке заземлителей с весьма малыми сопротивлениями (порядка от 0,5 до 2  $\Omega$ ) представляет вообще нелегкую техническую задачу и связано с крупными затратами, ложащимися тяжелым бременем на всю установку. Это будет ясно из дальнейшего изложения (раздел г), касающегося устройства заземлителей.

Следует еще указать, что выведенные нами величины сопротивлений  $R_a$  относятся к приемнику не очень большой мощности (10 kW). Для более мощных приемников, эти величины

оказываются еще более низкими и иногда практически почти недостижимыми <sup>1)</sup>.

В виду изложенного в распределительных низковольтных сетях с заземленной нейтралью приходится в большинстве случаев отказываться от устройства простого защитного заземления и прибегать к другим системам защиты, к которым мы теперь и перейдем.

#### д. Зануление.

1. Способы расчета сечений проводов при занулениях. Зануление является разновидностью защитного заземления и состоит в присоединении защищаемых металлических частей к нулевому проводу или нейтрали сети. При этом нейтраль должна быть обязательно заземлена, ибо в противном случае все зануленные металлические части могут, при любом повреждении изоляции между нулевым и линейным проводом, оказаться под полным напряжением сети, т. е. зануление может само стать источником чрезвычайно большой опасности. Таким образом по существу зануление может быть применено только для сетей и установок с заземленными нейтральями. Для сетей же изолированных от земли или соединенных с землей через пробивное сопротивление, возможно применение только простого защитного заземления.

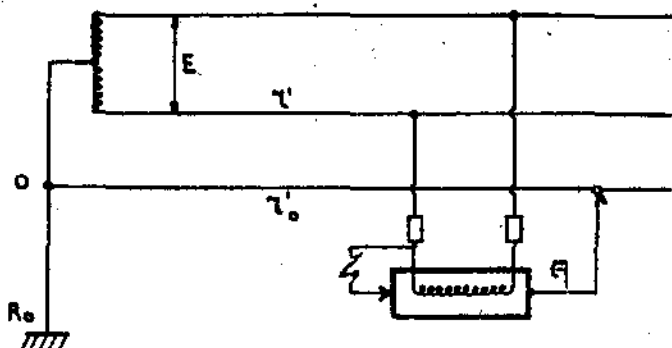
Под занулением (в отличие от сложного заземления) понимается тот случай, когда нейтраль заземлена лишь в одном месте, именно заземлена только нулевая точка генератора или трансформатора, питающего данную сеть. Схема такого зануления для трехпроводной сети постоянного тока показана на фиг. 89, а для трехфазной четырехпроводной сети — на фиг. 90.

Как нетрудно видеть, любое замыкание на корпус линейного провода вызывает ток короткого замыкания через соответству-

<sup>1)</sup> В новом Германском проекте правил по устройству заземлений в установках с напряжением ниже 1000 V указывается, что простое заземление практически осуществимо только для небольших приемников, именно в установках с плавкими предохранителями при номинальной силе тока до 10 А, и в установках с автоматическими выключателями при номинальной силе тока до 25 А. См. ETZ, 1930, № 21.



ющий линейный и нулевой провод. Обозначая напряжение между линейным проводом и землей через  $E_o$  (фазное напряжение), силу тока короткого замыкания через  $I_k$ , сопротивление линей-



Фиг. 89. Схема зануления для трехпроводной сети постоянного тока.

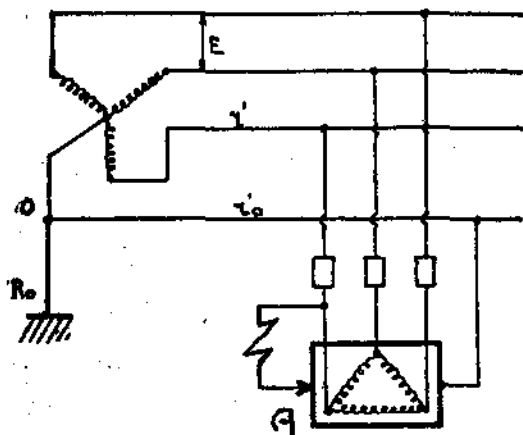
ного провода от начала сети (трансформатора или генератора) до места замыкания на корпус — через  $r'$  и сопротивление нулевого провода на том же протяжении — через  $r'_0$ , получим:

$$I_k = \frac{E_o}{r' + r'_0} \dots (56)$$

Этот ток должен быть такой силы, чтобы обеспечить весьма быстрое (мгновенное) действие плавкого предохранителя или максимального автомата, защищающего данную приемник или данную установку. Как уже было сказано раньше, в

Фиг. 90. Схема зануления для трехфазной сети.

случае плавких предохранителей необходимо, чтобы сила тока  $I_k$  превосходила не менее, чем в 2,5 раза номинальную силу тока  $I$  данного предохранителя, т. е.  $I_k \geq 2,5 I$ , а в случае максималь-



ного автомата достаточно превышение на 20%, т. е.  $I_k \geq 1,2 I$ . Это условие определяет максимально допустимое суммарное сопротивление линейного и нулевого проводов  $r' + r'_o$ , с точки зрения безопасности установки.

Другое условие безопасности заключается в том, чтобы напряжение прикосновения  $E'$  к зануленной части и к нулевому проводу не превосходило определенной величины, принимаемой за верхний предел безопасного напряжения; эта величина устанавливается, как уже сказано, в 40 V.

Последнее условие вытекает также и из основного правила безопасности, согласно которому токоведущие части, не покрытые изоляцией и доступные для прикосновения, могут иметь напряжение относительно земли только до 40 V. Нулевые провода обыкновенно не изолируются и не ограждаются от прикосновения, а потому падение напряжения в них, а вместе с тем и наибольшее напряжение прикосновения не должны превосходить 40 V.

Применяя указанное требование в отношении тока короткого замыкания  $I_k$  и обозначая в этом случае напряжение прикосновения через  $E'_k$ , мы получаем следующие соотношения, если примем, что потенциал начальной заземленной точки нулевого провода (точка  $o$  на фиг. 89 и 90) равен нулю:

$$E'_k = I'_k r'_o$$

$$\frac{E'_k}{E_o} = \frac{r'_o}{r' + r'_o}$$

Далее, мы получаем основное соотношение между сопротивлениями линейного и нулевого провода:

$$r'_o = r' \cdot \frac{E'_k}{E_o - E'_k} \dots \dots \dots (57)$$

Так как длина  $l$  линейного и нулевого провода от начала линии до места замыкания на корпус одна и та же, сопротивления  $r'$  и  $r'_o$  этих проводов обратно пропорциональны их сечениям  $q$  и  $q_o$ , т. е.

$$q_o = q \cdot \frac{E_o - E'_k}{E'_k}$$

а принимая  $E'_k = 40$  V, получаем:

$$q_o = q \cdot \frac{E_o - 40}{40}$$

Так, напр., для  $E_o = 220$  V (трехпроводная система постоянного тока  $2 \times 220$  V и трехфазная система 380/220 V), имеем:

$$q_o = q \cdot \frac{220 - 40}{40} = 4,5 q,$$

т. е. сечение нулевого провода должно в 4,5 раза превосходить сечение линейного провода.

Для  $E_o = 127$  V (трехфазная система 220/127 V):

$$q_o = q \cdot \frac{127 - 40}{40} = 2,2 q$$

Для  $E_o = 110$  V (трехпроводная система  $2 \times 110$  V):

$$q_o = q \cdot \frac{110 - 40}{40} = 1,75 q$$

Таким образом получаются громадные сечения нулевого провода, в несколько раз превосходящие сечения рабочих линейных проводов. Подобные сечения совершенно не нужны для работы самих установок, ибо нулевые провода нагружены обыкновенно незначительными уравнительными токами, для которых вполне достаточно сечение, равное половине или одной трети сечения рабочего провода. Применение нулевых проводов указанных сечений настолько повысило бы стоимость электрических установок, что развитие электроснабжения и электрификации было бы в сильной степени затруднено. В виду этого приходится отказаться от указанного выше требования о поддержании напряжения прикосновения на уровне не выше 40 V во время короткого замыкания, и ограничиться тем условием, чтобы напряжение прикосновения не превышало указанной величины при длительном токе. В качестве тока, могущего существовать в нулевом проводе длительно, принимается в случае плавких предохранителей номинальный ток  $I$ , а в случае применения максимального автомата — ток, равный  $0,75 I$ .

Само собой разумеется, что указанные величины тока сами по себе не могут вызвать отключения от сети данного приемника, а тем более быстрого отключения. Однако, поскольку в нормальных условиях работы, при равномерно распределенной между фазами нагрузке, в нулевом проводе циркулируют лишь незначительные уравнивательные токи, появление токов указанной силы (однократной или 0,75-кратной от номинальной) возможно только при замыкании на корпус где-либо в сети. Если по условиям создавшегося контакта в месте замыкания ток начнет расти, то это возрастание как правило не может остановиться на указанных величинах; ток будет возрастать и дальше, и быстро достигнет величины, достаточной для приведения в действие плавких предохранителей или максимального выключателя, если еще до того цепь не прервется вследствие перегоя провода или другой токоведущей части в месте неполного контакта с корпусом. В этом отношении условия при занулении более благоприятны, чем при простом защитном заземлении, ибо ток короткого замыкания проходит только через провода вполне определенного сопротивления, а потому этот ток должен достигнуть величины  $I_k$ , определяемой уравнением 56. При заземлении же ток короткого замыкания проходит через два заземлителя, сопротивление которых может, особенно при недостаточном контроле, значительно отличаться от предусмотренных в расчете величин; при увеличении сопротивления заземлителей (вследствие, например, высыхания окружающей почвы) сила тока короткого замыкания вместо необходимой величины (2,5-кратной и 1,2-кратной от номинальной) может установиться значительно меньшая, что практически исключено при занулении.

Кроме указанного соображения, возможность понижения требований в отношении сечения нулевого провода оправдывается применением в большинстве случаев многократного заземления нулевого провода, т. е. сложной системы защитного заземления, описанной в следующем разделе настоящей главы. Подобное заземление приводит к понижению напряжения прикосновения и к улучшению условий безопасности, как об этом будет изложено дальше.

Таким образом, относя требование о предельной величине напряжения прикосновения  $E'$  к силе тока  $I' = I$  при плавких предохранителях и  $I' = 0,75 I$  при максимальных автоматах, получаем расчетную величину сопротивления  $r'_0$  нулевого провода от начала линии до места замыкания на корпус:

$$r'_0 = \frac{E'}{I'}, \dots \dots \dots (58)$$

а принимая попрежнему  $E' \leq 40 \text{ V}$ :

$$r'_0 \leq \frac{40}{I'},$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{т. е.} \quad r'_0 \leq \frac{40}{I} \text{ — при плавких предохранителях} \\ \text{и} \quad r'_0 \leq \frac{40}{0,75 I} \text{ — при максимальных автоматах.} \end{array} \right\} \dots (59)$$

Вследствие отделения этого условия от условия минимальной величины тока короткого замыкания  $I_k$  становится возможным применение нулевых проводов обычного сечения.

Обозначим через  $a$  отношение сечения нулевого провода к сечению рабочего провода; в условиях обычной практики  $a$  равно от 0,25 до 0,5, изредка больше, до 1. Соответственно этому мы получим следующее соотношение сопротивлений рабочего и нулевого проводов  $r'$  и  $r'_0$ :

$$r' = a r'_0 \dots \dots \dots (60)$$

Подставляя это значение в выражение для тока короткого замыкания  $I_k$  (формула 56), получим:

$$I_k = \frac{E_0}{r'_0 (a + 1)} \dots \dots \dots (61)$$

Для того, чтобы выполнить поставленное выше условие, чтобы  $r'_0 = \frac{40}{I'}$ , мы должны иметь силу тока замыкания  $I_k$ , равную:

$$I_k = \frac{E_0 I'}{40 (a + 1)} \dots \dots \dots (62)$$

Для случая применения плавких предохранителей, как уже сказано, можно принять  $I' = I$  и

$$I_k = \frac{E_0 I}{40 (a + 1)}, \dots \dots \dots (63)$$

а обозначая  $\frac{I_k}{I}$  через  $b$ , получаем:

$$b = \frac{E_0}{40(a+1)} \dots \dots \dots (64)$$

По уравнению (63) следует вычислить  $I_k$ , с тем, однако, поверочным условием, чтобы  $I_k$  было не менее  $2,5 I$ , т. е.  $b \geq 2,5$ .

Для случая применения максимальных автоматов можно принять  $I = 0,75 I_k$ , а потому:

$$I_k = \frac{E_0 \cdot 0,75 I}{40(a+1)} = \frac{E_0 I}{53,3(a+1)} \dots \dots \dots (65)$$

и

$$b = \frac{I_k}{I} = \frac{E_0}{53,3(a+1)} \dots \dots \dots (66)$$

Результат вычисления по этой формуле должен быть проверен на выполнение условия  $b \geq 1,2$ .

Прилагая полученные уравнения к сетям трехфазным 380/220 В и трехпроводным постоянного тока  $2 \times 220$  В, т. е. полагая  $E_0 = 220$  В, мы получаем для случая плавких предохранителей:

$$b = \frac{220}{40(a+1)} = \frac{5,5}{a+1}$$

Эта формула дает следующие величины  $b$ , в зависимости от тех или иных значений  $a$ .

$$a = 0,25 \dots b = 4,4 \dots p = 4,55\%$$

$$a = 0,33 \dots b = 4,15 \dots p = 6,1\%$$

$$a = 0,5 \dots b = 3,67 \dots p = 9,1\%$$

$$a = 1 \dots b = 2,75 \dots p = 18,2\%$$

Все величины  $b$  получаются больше 2,5, т. е. эти решения годятся.

Относительно величин  $p$ , приведенных в последней графе этой и следующих табличек, будет сказано ниже.

Для случая максимальных автоматов имеем:

$$b = \frac{220}{53,3(a+1)} = \frac{4,12}{a+1}$$

По этой формуле получаем:

$$a = 0,25 \dots b = 3,3 \dots p = 6,05\%$$

$$a = 0,33 \dots b = 3,1 \dots p = 8,1\%$$

$$a = 0,5 \dots b = 2,75 \dots p = 12,1\%$$

$$a = 1 \dots b = 2,07 \dots p = 24,2\%$$

Проверка на условие  $b > 1,2$  дает также положительные результаты.

Другие результаты получаются для установок более низкого напряжения, напр., для трехфазных установок 220/127 В (с заземленной нейтралью). В этом случае  $E_0 = 127$  В, и подставляя это значение в общие формулы 65 и 66, мы получим при плавких предохранителях следующие значения  $b$  и  $p$ :

$$a = 0,25 \dots b = 2,53 \dots p = 8,4\%$$

$$a = 0,33 \dots b = 2,38 \text{ Берем } b = 2,5 \dots p = 9,7\%$$

$$a = 0,5 \dots b = 2,11 \quad \cdot \quad b = 2,5 \dots p = 13,3\%$$

$$a = 1 \dots b = 1,59 \quad \cdot \quad b = 2,5 \dots p = 20\%$$

Мы видим, что кроме случая  $a = 0,25$ , когда  $b$  почти равно 2,5, вообще  $b$  получается меньше 2,5, поэтому полученные решения не годятся, и вместо этих значений мы прямо должны взять минимально допустимые, т. е.  $b = \frac{I_k}{I} = 2,5$ . Напряжения прикосновения при номинальном токе получатся при этом не 40 В, а меньше.

При максимальных автоматах получаем:

$$a = 0,25 \dots b = 1,91 \dots p = 10,5\%$$

$$a = 0,33 \dots b = 1,79 \dots p = 14\%$$

$$a = 0,5 \dots b = 1,59 \dots p = 21\%$$

$$a = 1 \dots b = 1,2 \dots p = 42\%$$

Решения годятся, ибо всюду  $b > 1,2$ .

Приблизительно такие же результаты получаются и для трехфазной сети 210/120 В ( $E_0 = 120$  В), а также для трехпроводной сети постоянного тока  $2 \times 110$  В ( $E_0 = 110$  В).

Весьма важным является вопрос, достаточны ли обычные сечения проводов, применяемые в электрических установках, для того, чтобы удовлетворить изложенным выше условиям безопасности. Как известно, провода рассчитываются обыкновенно на известное падение напряжения в линии, выражаемое в процентах от рабочего напряжения. Если  $p$  есть указанное процентное отношение, то

падение напряжения равно  $\frac{pE}{100}$ , а соответствующее сопротивление линейного провода  $r'$  равно:

$$r' = \frac{pE}{100 \cdot 2I} \text{ для линии постоянного тока}$$

и

$$r' = \frac{pE}{100 \cdot \sqrt{3} I} \text{ для линии трехфазного тока,}$$

С другой стороны, так как  $E = 2E_0$  для трехпроводной сети постоянного тока и  $E = \sqrt{3} E_0$  для трехфазной сети, мы получаем для обоих случаев:

$$r' = \frac{pE_0}{100I} \dots \dots \dots (67)$$

Из основного уравнения (56) для тока короткого замыкания мы имеем:

$$I_k = \frac{E_0}{r_0' + r'} = \frac{aE_0}{r'(a+1)},$$

а подставляя в это уравнение полученное значение  $r'$ , получаем:

$$I_k = \frac{100aI}{p(a+1)}$$

Вводя по прежнему обозначение  $\frac{I_k}{I} = b$ , и решая уравнение относительно  $p$ , получаем:

$$p = \frac{100 a}{b(a+1)} \dots \dots \dots (68)$$

Подставляя в эту формулу разные значения  $a$  и соответствующие им (по формулам 64 и 66) значения  $b$ , мы получим ряд значений  $p$ , которые и приведены выше, в соответствующих табличках. Как показывают эти данные, сечения проводов, выбранные с точки зрения безопасности, обыкновенно получаются не больше тех, которые требуются по экономическим и техническим соображениям. В самом деле, для заводских распределительных сетей допускается обыкновенно не более, чем 5%-ное падение напряжения; при больших значениях получаются помимо больших потерь в сети слишком большие колебания напряжения на зажи-



мах двигателей. Как видно из приведенных выше табличек, во всех случаях (кроме одного, а именно для  $E_o = 220 \text{ V}$  и  $a = 0,25$ , при плавких предохранителях) получаются значения  $p$  выше 5%, т. е. провода могут быть применены меньшего сечения, чем те, которые обычно употребляются. Таким образом существующие провода, рассчитанные на падение напряжения в 5% и меньше, вполне удовлетворяют приведенным выше условиям безопасности. Токи короткого замыкания  $I_k$ , а, следовательно, коэффициенты  $b$ , в этих случаях будут, как правило, больше указанных в табличке величин, а напряжения прикосновения при длительном токе  $I'$  меньше 40 V.

Исключение представляют сравнительно длинные линии передачи низкого, напряжения, к отдельно стоящим приемникам, расположенным далеко от питательного пункта; подобные условия могут иметь место в сельском хозяйстве и в некоторых отраслях промышленности, именно на торфяных и лесных работах. Если, например, линия напряжением 380/220 V рассчитана на 10%-ое падение напряжения, то эта линия будет удовлетворять требованиям безопасности, в случае применения максимальных автоматов, при  $a = 0,5$ , т. е. при сечении нулевого провода равным половине сечения рабочего провода, ибо, как показывает вторая табличка (на стр. 317 и 318), в этом случае хранителей, т. е.  $p > 10\%$ . В случае же применения плавких предохранителей, т. е.  $p = 12,1\%$ , при  $a = 0,5$  получаем  $p = 9,1\%$ , т. е. сечение нулевого провода должно быть несколько увеличено.

Нетрудно определить, чему должны быть равны  $a$  и  $b$  при определенном принятом значении  $p$ . Действительно, подставляя в уравнение (68) значение  $b = \frac{E_o}{40(a+1)}$  (формула 64, для плавких предохранителей), получаем:

$$p = \frac{100a}{E_o(a+1)} = \frac{4000a}{E_o}$$

т. е.

$$a = \frac{pE_o}{4000} \dots \dots \dots (69)$$

Таким же образом для случая максимальных автоматов получаем:

$$a = \frac{pE_0}{3330} \dots \dots \dots (70)$$

Полагая из данного выше примера  $E_0 = 220 \text{ V}$  и  $p = 10\%$ , мы найдем:

$$a = \frac{10 \cdot 220}{4000} = 0,55$$

$$b = \frac{220}{40(0,55 + 1)} = 3,55$$

Таковы минимальное значение  $a$  и соответствующее значение  $b$ , при  $E_0 = 220 \text{ V}$  и при  $10\%$ -ной потере напряжения в линии.

Само собой разумеется, что нулевые провода, как и рабочие, должны также удовлетворять существующим у нас нормам в отношении нагревания. Для коротких линий (порядка 100 м и ниже) выбор сечения по допустимой нагрузке током выступает обыкновенно на первый план. За расчетный длительный ток для нулевого провода следует при этом принимать номинальный ток плавкого предохранителя или 0,75-кратный (от номинального) ток максимального выключателя. Допустимые сечения определяются по соответствующим нормам, в зависимости от типа нулевого провода и способа его прокладки (изолированный провод, голый провод, одножильный кабель, многожильный кабель и т. д.).

Наконец, в отношении механической прочности нулевых и зануляющих проводов, необходимо соблюдать правила о минимальных сечениях, изложенные дальше, в разделе I настоящей главы.

2. Примеры расчета сечений проводов при занулениях. Предположим, что трехпроводная линия постоянного тока  $2 \times 220 \text{ V}$  должна передать мощность  $P = 10 \text{ kW}$  на расстояние  $l = 800 \text{ м}$ , при  $10\%$ -ной потере напряжения. Так как  $E = 440 \text{ V}$ , то мы имеем:

$$I = \frac{1000 P}{E} = \frac{1000 \cdot 10}{440} = 22,7 \text{ A}$$

$$r' = \frac{pE_0}{100I} = \frac{10 \cdot 220}{100 \cdot 22,7} = 0,97 \, \Omega$$

$$q = \frac{0,0175I}{r'} = \frac{0,0175 \cdot 800}{0,97} = 14,5 \, \text{мм}^2$$

Берем ближайшее большее сечение, именно  $q = 16 \, \text{мм}^2$ , при чем  $r' = \frac{0,0175 \cdot 800}{16} = 0,875 \, \Omega$ . Если провода защищены плавкими предохранителями, то сечение  $q_0$  нулевого провода должно быть при  $p = 10\%$  не менее  $0,55 q$  (см. первую табличку на стр. 317), т. е. не менее  $8,8 \, \text{мм}^2$ . Таким образом,  $q_0$  нужно взять равным  $10 \, \text{мм}^2$ , при этом  $a = \frac{10}{16} = 0,625$  и

$$I_k = \frac{aE_0}{r'(a+1)} = \frac{0,625 \cdot 220}{0,875 \cdot 1,625} = 97 \, \text{А}$$

$$b = \frac{I_k}{I} = \frac{97}{22,7} = 4,3$$

Фактически предохранители поставлены не на силу тока  $I = 22,7 \, \text{А}$ , а на ближайшую силу тока по таблице предохранителей, т. е. на 20 или 25 А, причем

$$b = \frac{97}{20} = 4,85 \text{ или } b = \frac{97}{25} = 3,9.$$

В обоих случаях мы получаем  $b > 2,5$ .

Напряжение прикосновения при силе тока  $I = 20 \, \text{А}$  равно:

$$E' = \frac{Ir'}{a} = \frac{20 \cdot 0,875}{0,625} = 28 \, \text{В},$$

а при силе тока  $I = 25 \, \text{А}$ :

$$E' = \frac{25 \cdot 0,875}{0,625} = 35 \, \text{В}$$

Как видим, вполне возможно поставить предохранители на 25 А, ибо и во втором случае получается  $E' < 40 \, \text{В}$ .

Возьмем другой пример для трехфазной линии 380/220 В, для  $P = 20 \, \text{kW}$ ,  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $l = 2000 \, \text{м}$  и  $p = 12\%$ .

Для такой линии имеем:

$$I = \frac{1000 P}{\sqrt{3} E \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 20}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,8} = 38 \, \text{А}$$

$$r' = \frac{pE_0}{100I} = \frac{10 \cdot 220}{100 \cdot 38} = 0,7 \, \Omega$$

$$q = \frac{0,0175 \cdot 2000}{0,7} = 50 \text{ мм}^2$$

Предположим, что установка снабжена максимальным автоматом. Тогда, для того, чтобы удовлетворить условиям безопасности, необходимо при  $p = 120\%$  и  $E_0 = 220 \text{ В}$  иметь  $a \geq 0,5$  (см. выше табличка 2-ая, на стр. 317—318).

При  $a = 0,5$ ,  $q_0 = q \cdot 0,5 = 25 \text{ мм}^2$ .

$$I_k = \frac{aE_0}{r'(a+1)} = \frac{0,5 \cdot 220}{0,7 \cdot 1,5} = 105 \text{ А}$$

$$b = \frac{I_k}{I} = \frac{105}{38} = 2,75$$

Номинальную силу тока автомата примем равную  $I$ , т. е. 38 А. Расчет напряжения прикосновения можно вести на силу тока  $I' = 0,75 I = 28,5 \text{ А}$ .

Тогда

$$E = \frac{I' \cdot r'}{a} = \frac{28,5 \cdot 0,7}{0,5} = 40 \text{ В}$$

Результат удовлетворительный, ибо  $b$  более 2,5, а  $E$  не более 40 В.

На основании полученных выше формул нетрудно также произвести проверку сечений существующей проводки в отношении безопасности при занулении. Если даны сечения рабочего и нулевого провода  $q$  и  $q_0$  и длина  $l$  линии, то:

$$r' = 0,0175 \frac{l}{q}$$

и

$$a = \frac{q_0}{q}$$

Зная напряжение установки относительно земли  $E_0$ , можно сделать проверку на силу тока короткого замыкания  $I_k$  и на напряжение прикосновения  $E'$ .

Предположим, что у нас имеется проводка 380/220 В, в которой  $q = 10 \text{ мм}^2$ ,  $q_0 = 4 \text{ мм}^2$ ,  $l = 200 \text{ м}$ .

Тогда

$$E_0 = 220 \text{ В}$$

$$r' = 0,0175 \cdot \frac{200}{10} = 0,35 \, \Omega$$

$$a = \frac{4}{10} = 0,4$$

$$I_k = \frac{a E_0}{r' (a + 1)} = \frac{220 \cdot 0,4}{0,35 \cdot 1,4} = 180 \, \text{A}$$

Если на рабочем проводе стоят плавкие предохранители на 35 А (согласно нормам нагрузки), т. е.  $I = 35 \, \text{A}$ , то

$$b = \frac{I_k}{I} = \frac{180}{35} = 5,1 \, (> 2,5)$$

Напряжение прикосновения при токе  $I$  равно:

$$E' = I r_0' = \frac{I r'}{a} = \frac{35 \cdot 0,35}{0,4} = 30,5 \, \text{V} \, (< 40 \, \text{V})$$

Проводка удовлетворяет условиям безопасности.

Разберем другой пример проводки 380/220 В (или  $2 \times 220 \, \text{V}$ ), в которой  $q = 35 \, \text{мм}^2$ ,  $q_0 = 10 \, \text{мм}^2$ ,  $l = 300 \, \text{м}$ .

$$E_0 = 220 \, \text{V}$$

$$r' = 0,0175 \cdot \frac{300}{35} = 0,15 \, \Omega$$

$$a = \frac{10}{35} = 0,285$$

$$I_k = \frac{220 \cdot 0,285}{0,15 \cdot 1,285} = 325 \, \text{A}$$

Если провод сечением  $35 \, \text{мм}^2$  защищен предохранителями с номинальной силой тока  $I = 100 \, \text{A}$ , то:

$$b = \frac{I_k}{I} = \frac{325}{100} = 3,25 \, (> 2,5)$$

Напряжение прикосновения равно

$$E' = \frac{I r'}{a} = \frac{100 \cdot 0,15}{0,285} = 52,5 \, \text{V} \, (> 40 \, \text{V})$$

Таким образом проводка удовлетворяет требованиям безопасности с точки зрения величины тока короткого замыкания, но не удовлетворяет этим требованиям в отношении напряжения прикосновения. При том же сечении рабочего провода  $q$ , нужно

увеличить сечение нулевого провода  $q_0$ . Если возьмем, например, ближайшее большее сечение для  $q_0$ , именно  $q_0 = 16 \text{ мм}^2$ , то  $a = \frac{16}{35} = 0,46$ .

$$I_s = \frac{220 \cdot 0,46}{0,15 \cdot 1,46} = 460 \text{ A};$$

$$b = \frac{460}{100} = 4,6 \quad (> 2,5)$$

$$E = \frac{100 \cdot 0,15}{0,46} = 32,5 \text{ V} \quad (< 40 \text{ V})$$

Таким образом при сечении нулевого провода  $q_0 = 16 \text{ мм}^2$  удовлетворяются оба условия безопасности.

Если бы в данном случае вместо плавких предохранителей был применен максимальный автомат, то указанные выше требования безопасности были удовлетворены и при меньшем сечении нулевого провода, т. е. при  $q_0 = 10 \text{ мм}^2$ , ибо напряжение прикосновения можно при автомате рассчитывать не на полный ток  $I$ , а на  $0,75 I$ . Мы получим таким образом:

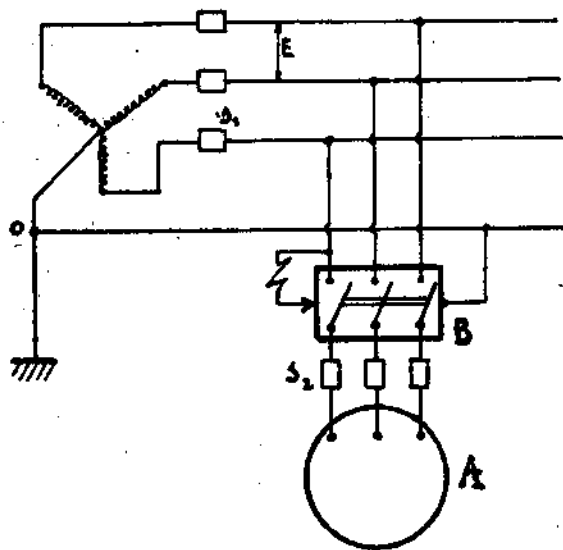
$$E' = \frac{0,75 \cdot 100 \cdot 0,15}{0,285} = 39,5 \text{ V, т. е. } E' < 40 \text{ V.}$$

Условие тока короткого замыкания в этом случае выполняется с большим запасом, ибо требуется лишь 1,2-кратный ток, в данном же случае мы имеем  $b = 3,25 (> 1,2)$ .

Как показывают все приведенные выше примеры, соблюдение правил безопасности при устройстве занулений в существующих или вновь проектируемых сетях не может представить существенных затруднений. В особенности это относится к сильно разветвленным распределительным сетям, напр., заводским, в которых сопротивление цепей для тока короткого замыкания обыкновенно гораздо меньше вычисленных по указанным формулам величин, ибо значительную часть этих цепей составляют магистральные провода сравнительно большого сечения. Нужно только всегда иметь в виду необходимость соблюдения определенного соотношения между сопротивлениями рабочего и нулевого проводов; при переходе от меньшего к большему сечению рабочего провода, соответственно должно быть увеличено и сечение ну-

левого провода, в противном случае напряжение прикосновения может оказаться больше 40 V. Если же неудобно изменять сечение нулевого провода, то его следует выбирать в зависимости от максимального сечения рабочего провода во всей цепи тока короткого замыкания.

Затруднения в отношении соблюдения правил безопасности могут встретиться при занулении только в случае, если замыкание на корпус происходит не у приемника, защищенного соот-



Фиг. 91. Схема зануления при замыкании на корпус до предохранителей на ответвлении.

ветствующим предохранителем или автоматом, а до него, напр., при замыкании на корпус выключателя, если последний расположен до предохранителей (идя от источника тока к приемнику). В этом случае в цепи тока короткого замыкания могут оказаться только предохранители, защищающие всю магистраль или весь участок сети, как это наглядно представлено на фиг. 91. Эти предохранители  $s_1$  могут быть рассчитаны на силу тока, гораздо

большую, нежели номинальная сила тока данного приемника, а потому ток короткого замыкания  $I_k$ , рассчитанный согласно приведенным выше формулам, может и не привести в действие указанные предохранители; вследствие этого может появиться длительное недопустимое повышение напряжения на корпусе и на всем нулевом проводе, со всеми присоединенными к нему частями. Если же рассчитывать на силу тока короткого замыкания, который надежно и быстро привел бы в действие главные предохранители на магистрали, то это могло бы повести к необходимости при-

менения проводов очень больших сечений, гораздо больших, чем это требуется с технической и экономической точки зрения.

Для устранения указанного затруднения рекомендуется для длинных линий с большим числом ответвлений ставить предохранители не только в начале магистральной линии, но и в других ее местах, после разветвлений, соответственно уменьшенной силе линейного тока. При таком устройстве расчет сечения нулевого провода в отношении условий безопасности может производиться по номинальной силе тока наиболее слабых предохранителей, включенных в цепь, образующуюся при замыкании на корпус в данном аппарате, вместо того чтобы рассчитывать по номинальной силе тока предохранителей в начале линии, соответственно ее суммарной нагрузке.

В качестве примера приведем такой случай. В начале магистрали стоят плавкие предохранители, рассчитанные на нагрузку всей линии, именно на 100 А, длина линии  $l = 1500$  м, сечение рабочего провода  $q = 50$  мм<sup>2</sup>, сечение нулевого провода  $q_0 = 25$  мм<sup>2</sup>, напряжение установки 380/220 В. Если вести расчет на силу тока  $I = 100$  А, то мы найдем максимальную длину линии  $l_1$ , на которой можно произвести зануление корпусов приборов, лежащих до предохранителей на ответвлениях. Действительно, так как

$$r'_0 = 0,0175 \frac{l_1}{q_0} \quad \text{и} \quad Ir'_0 \leq 40,$$

то

$$\frac{0,0175 I l_1}{q_0} = 40,$$

откуда:

$$l_1 = \frac{40 q_0}{0,0175 I} = \frac{40 \cdot 25}{0,0175 \cdot 100} = 560 \text{ м}$$

Дальше этого расстояния от начала линии зануление указанных частей нельзя производить, ибо напряжение прикосновения превысит 40 В. Если в указанном месте поставить другие предохранители, положим на 60 А, то мы найдем длину второго участка  $l_2$ , именно:

$$l_1 + l_2 = \frac{40 \cdot 25}{0,0175 \cdot 60} = 995 \text{ м},$$



откуда:

$$l_2 = (l_1 + l_2) - l_1 = 995 - 560 = 395 \text{ м.}$$

В конце 2-го участка ставим предохранители на 35 А, тогда

$$l_1 + l_2 + l_3 = \frac{40 \cdot 25}{0,0175 \cdot 35} = 1630 \text{ м.}$$

Так как вся длина линии  $l = 1500$  м., то дальнейшего деления на участки не требуется, и длина последнего участка:

$$l_3 = 1500 - 955 = 545 \text{ м.}$$

Итак мы имеем три участка:

$$l_1 = 560 \text{ м., } l_2 = 395 \text{ м и } l_3 = 545 \text{ м.}$$

Само собой разумеется, указанное деление можно выполнить только в том случае, если фактическое понижение нагрузки в магистрали соответствует указанному понижению номинальной силы тока предохранителей.

3. Расчет сопротивления заземления нулевой точки. Что касается величины  $R_0$  сопротивления заземления нулевой точки сети, то, как видим, при занулении оно не входит в расчеты для тока короткого замыкания и напряжения прикосновения. Величина  $R_0$  определяется поэтому на основании других соображений, не имеющих отношения к вопросам защитного заземления в сети низкого напряжения. Если данная сеть низкого напряжения питается от трансформатора, то заземление нулевой точки является в то же время защитным заземлением по отношению к сети высокого напряжения. Величина  $R_0$  поэтому и определяется чаще всего на основании правил и условий, существующих для установок высокого напряжения, исходя из возможности случайного соединения между собой обмоток высокого и низкого напряжения в трансформаторе. Расчет ведется на силу тока однополюсного замыкания на землю, при чем напряжение прикосновения допускается в 150 В для сухих закрытых помещений и в 60 В для помещений сырых и с едкими парами и жидкостями <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> См. „Руководящие указания расчета и устройства заземления установок высокого напряжения“, помещенные в сборнике „Электротехнические правила и нормы“.

В частности, если сеть высокого напряжения не имеет заземленной нейтрали, расчет ведется на емкостный ток всей сети высокого напряжения. Приблизленно этот ток  $I_c$  определяется по следующим формулам:

$$I_c = \frac{L_h E_h}{300}$$

в случае воздушных сетей, и

$$I_c = \frac{L_h E_h}{15}$$

в случае кабельных (подземных) сетей. Здесь  $L_h$  — длина всей соединенной в одно целое сети высокого напряжения в километрах и  $E_h$  — напряжение сети в киловольтах.

Например, если для кабельной сети  $E_h = 6 \text{ kV}$  (6000 V) и  $L_h = 100 \text{ км}$ , то:

$$I_c = \frac{6 \cdot 100}{15} = 40 \text{ А.}$$

Допуская напряжение прикосновения  $E' = 150 \text{ V}$ , получаем искомое сопротивление  $R_0$ :

$$R_0 = \frac{E'}{I_c} = \frac{150}{40} = 3,75 \text{ }\Omega.$$

4. Расчет напряжения прикосновения во время короткого замыкания. Переходим теперь к определению напряжения прикосновения  $E'_k$ , возникающего в момент прохождения тока короткого замыкания  $I_k$ .

Так как

$$I_k = \frac{E_0}{r' + r'_0}$$

и с другой стороны

$$I_k = \frac{E'_k}{r'_0},$$

то очевидно:

$$E'_k = E_0 \frac{r'_0}{r' + r'_0}$$

или подставляя значение  $r' = ar'_0$ , получаем:

$$E'_k = E_0 \frac{r'_0}{ar'_0 + r'_0} = \frac{E_0}{a + 1} \dots \dots \dots (71)$$

Таким образом мы получаем:

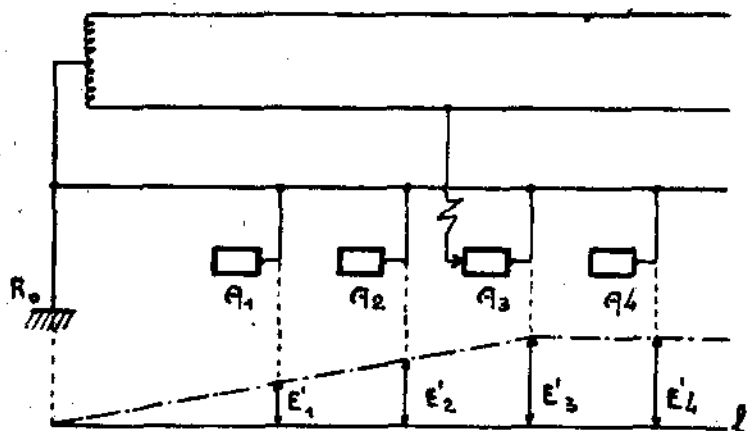
$$\begin{aligned} \text{При } a &= 0,25 \dots\dots\dots E'_k = 0,8 E_0, \\ \text{„ } a &= 0,33 \dots\dots\dots E'_k = 0,75 E_0, \\ \text{„ } a &= 0,5 \dots\dots\dots E'_k = 0,67 E_0, \\ \text{„ } a &= 1 \dots\dots\dots E'_k = 0,5 E_0. \end{aligned}$$

В нижеследующей таблице даны величины  $E'_k$  для разных сетей, в зависимости от значений  $a$ .

|                                                                                                                     | $a = 0,25$ | $a = 0,33$ | $a = 0,5$ | $a = 1$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|-----------|---------|
| $E_0 = 220 \text{ V}$ (трехпроводная система $2 \times 220 \text{ V}$<br>и трехфазная система $380/220 \text{ V}$ ) | 176        | 165        | 147       | 110     |
| $E_0 = 127 \text{ V}$ (трехфазная система $220/127 \text{ V}$ )                                                     | 108        | 95         | 85        | 64      |
| $E_0 = 120 \text{ V}$ (трехфазная система $210/120 \text{ V}$ )                                                     | 96         | 90         | 80        | 60      |
| $E_0 = 110 \text{ V}$ (трехпроводная система $2 \times 110 \text{ V}$ )                                             | 88         | 82,5       | 73        | 55      |

Хотя указанные напряжения возникают только во время прохождения тока короткого замыкания, т. е. в продолжение очень короткого времени, порядка 1 секунды и менее, однако же с этим фактором приходится серьезно считаться. Опасность подобного кратковременного повышения напряжения в случае зануления гораздо выше, чем при простом заземлении, ибо это напряжение появляется не только на том корпусе, где произошло замыкание, но и на всех зануленных частях электрической установки, лежащих за данным приемником, если идти от начала сети, т. е. от трансформатора или генератора. Сказанное наглядно иллюстрируется фигурой 92, на которой пунктирная линия изображает напряжение  $E'$  относительно земли любой зануленной части, расстояние которой  $l$  от начала сети изображается абсциссой данного графика. Напряжение повышается прямолинейно до того места, где произошло замыкание на корпус, и затем сохраняет свою величину, независимо от расстояния  $l$ . Ординаты  $E'_1$ ,  $E'_2$  и т. д. изображают напряжения прикосновения к зануленным корпусам приемников  $A_1$ ,  $A_2$  и т. д. в момент замыкания на корпус у приемника  $A_2$ . Таким образом опасности

поражения электрическим током подвергаются не только лица, которые имеют дело с тем приемником, где произошло повреждение, но и многие другие, соприкасающиеся в данный момент с разными металлическими корпусами, кожухами и т. п. частями установки. Например, при замыкании на корпус на каком-либо электродвигателе или реостате в мастерской, опасности подвергается значительная часть всех рабочих, занятых в данной мастерской. В особенности это относится к тому случаю, когда рабочие находятся в длительном соприкосновении с металлическими

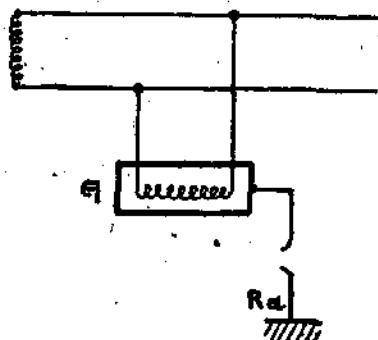


Фиг. 92. Распределение напряжения прикосновения в зануленной системе.

частями, могущими оказаться под напряжением, как это часто имеет место при одиночном приводе. При таких условиях нельзя примириться с возможностью даже кратковременного появления напряжения прикосновения, равного указанным выше величинам, особенно при  $E_0 = 220$  V, и необходимо принять меры для понижения этих величин (см. следующий раздел е).

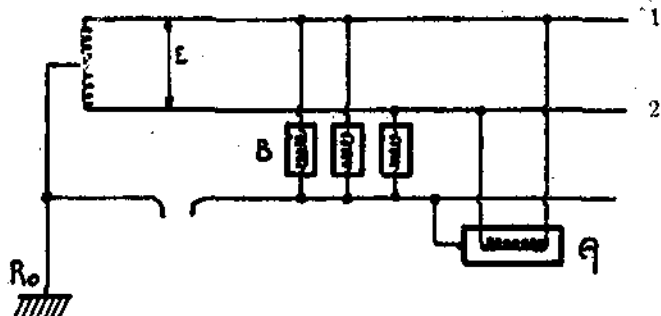
Б. Расчет напряжения прикосновения при обрыве нулевого провода. Недостатком рассматриваемой системы зануления является также большая опасность, возникающая при случайном обрыве или нарушении электрического соединения в нулевом или зануляющем проводе. Для обеспечения механической прочности нулевых и зануляющих проводов необходимо соблюдать правила относительно минимальных се-

чений и способов прокладки этих проводов (см. раздел I настоящей главы). Однако, и при соблюдении этих правил нельзя считать возможность обрыва исключенной, особенно в случае воздушной проводки.



Фиг. 93. Обрыв заземляющего провода при простом заземлении.

Как видно из сравнения фиг. 93 и фиг. 94, при обрыве заземляющего провода в случае простого защитного заземления (фиг. 93), данный корпус *A* только отъединяется от земли, т. е. лишается защитного действия заземления. В случае же зануления (фиг. 94), при обрыве нулевого провода, корпус, вместе с соответствующей точкой нулевого провода, приобретает потенциал, который будет зависеть от распределения нагрузки между частями или фазами сети. Для трехпроводной системы, изображенной на фиг. 94, если обозначить сопротивление приемников *B*, включенных в сеть за местом обрыва, между линейным проводом *I* и нулевым проводом — через  $R_1$ , а сопротивление приемников, включенных



Фиг. 94. Обрыв нулевого провода при занулении.

между линейным проводом 2 и нулевым проводом — через  $R_2$ , мы получим следующее соотношение напряжений  $E_1$  и  $E_2$ , под которыми находятся та и другая группа приемников:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Это отношение обозначим через  $k$ , т. е.

$$\frac{E_1}{E_2} = k.$$

Мы предполагаем, что  $E_1 < E_2$  и  $k < 1$ ; в противном случае мы взяли бы обратное отношение.

Далее, обозначая напряжение каждого из линейных проводов относительно земли через  $E_0$ , а напряжение нулевого провода в месте зануления данного приемника через  $E'$ , имеем еще следующие соотношения:

$$E_1 + E_2 = E = 2E_0$$

и

$$E' = \frac{E_2 - E_1}{2}.$$

Рассматривая эти уравнения совместно, мы находим следующее выражение для  $E'$ :

$$E' = E_2 - E_0.$$

Далее мы можем написать:

$$E_2(1 + k) = 2E_0,$$

откуда:

$$E_2 = \frac{2E_0}{1+k}$$

и

$$E' = \frac{2E_0}{1+k} - E_0 = E_0 \frac{1-k}{1+k} \dots \dots \dots (72)$$

При вполне симметричной нагрузке, т. е. при  $k = 1$ , получаем  $E' = 0$ ; при односторонней нагрузке, т. е. при  $k = 0$ , получаем  $E' = E_0$ . Вообще же, при некоторой неравномерности нагрузки между двумя половинами сети, на ограждаемом корпусе, при обрыве нулевого провода, появляется напряжение прикосновения  $E'$ , величина которого определяется уравнением (72). Следует подчеркнуть, что это напряжение появляется без замыкания на корпус или другого какого либо повреждения на ограждаемом приемнике. В виду отсутствия тока короткого замыкания, плавкие предохранители или автоматы при этих условиях не приходят в действие, вследствие чего указанное опасное состояние может продолжаться сравнительно долго, пока не будет обнаружен обрыв нулевого провода.

Подобные же условия имеют место и для трехфазной сети с заземленной нейтралью. При обрыве нулевого провода, на зануленном корпусе появляется напряжение  $E'$ , значение которого колеблется от нуля до величины  $E_0$  фазного напряжения, в зависимости от соотношения нагрузок отдельных фаз.

В сетях кольцевой системы, в которых каждая точка нулевого провода соединена с заземленной начальной точкой его по крайней мере двумя путями, получаются гораздо лучшие условия в отношении безопасности, ибо однократный обрыв нулевого провода еще не может вызвать опасного повышения напряжения на зануленных частях.

Самым опасным является тот случай, когда обрывается зануляющий провод, служащий в то же время нулевым рабочим проводом данного приемника; корпус приемника оказывается в этом случае под полным напряжением  $E_0$ . Так как подобный случай может произойти главным образом у переносных приемников, он описан в следующей главе (глава VIII, раздел d).

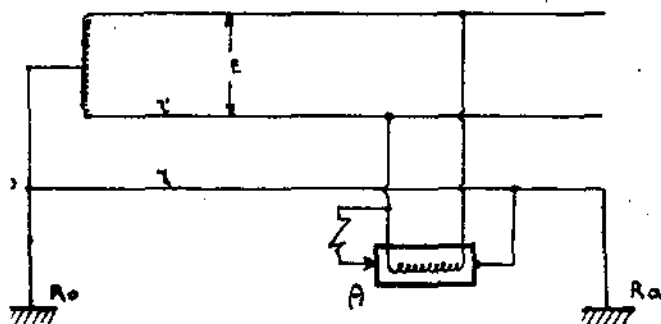
Столь же опасным является случай, когда оборвавшийся конец нулевого провода соприкасается с одним из рабочих (линейных) проводов; нулевой провод со всеми присоединенными к нему зануленными частями оказывается при этом всегда под полным напряжением  $E_0$  относительно земли. Подобный случай может иметь место главным образом в воздушных сетях, и для уменьшения этой опасности нулевой провод обычно прокладывается на опорах ниже проводов.

### е. Сложное заземление.

1. Расчет напряжения прикосновения при двукратном заземлении нулевого провода. Указанные в предыдущем разделе недостатки простого зануления в значительной мере устраняются в случае применения сложной или комбинированной системы защитного заземления, заключающейся в занулении и многократном заземлении нулевого провода. Преимущества подобного способа легче всего проследить в случае двукратного заземления нулевого провода, именно в начале линии (у трансформатора или генератора) и в конце ее, в том

месте, где находится приемник с зануленным корпусом. Схема такой сети изображена на фиг. 95.

Ток  $I_k$ , возникающий при замыкании на корпус, проходит в этом случае по двум параллельным ветвям, именно по нулевому проводу и по земле, через оба заземлителя. Обозначим сопротивление линейного провода до данного приемника через  $r'$ , сопротивление нулевого провода на том же участке — через  $r'_0$ , сопротивление заземления нулевой точки системы в начале линии — через  $R_0$  и сопротивление заземления в конце линии, у данного приемника, — через  $R_a$ . Сопротивление  $R$  двух парал-



Фиг. 95. Схема зануления при двукратном заземлении нулевого провода.

лельных ветвей, одна из которых имеет сопротивление  $r'_0$ , а другая (через заземлители)  $R_0 + R_a$ , вычисляется по следующей формуле:

$$R = \frac{r'_0(R_0 + R_a)}{r'_0 + R_0 + R_a}$$

Так как полное сопротивление пути тока короткого замыкания равно  $R + r'$ , то:

$$I_k = \frac{E_0}{R + r'}$$

Падение напряжения  $e_0$  в нулевом проводе вычисляется по формуле:

$$e_0 = I_k R = \frac{E_0 R}{R + r'}$$



а подставляя значение  $R$ :

$$e_o = E_o \cdot \frac{r'_o(R_o + R_a)}{r'_o(R_o + R_a) + r'(r'_o + R_o + R_a)} \dots \dots \dots (73)$$

В данном случае напряжение прикосновения  $E'_k$  к корпусу рассматриваемого приемника  $A$  уже не равно падению напряжения  $e_o$  в нулевом проводе, как это имело место в случае однократного заземления нулевого провода. Действительно, обозначая часть всего тока  $I_k$ , идущую через землю, буквой  $I_o$ , мы найдем:

$$I_o = \frac{e_o}{R_o + R_a}$$

Потенциал корпуса  $A$  относительно земли, или напряжение прикосновения  $E'_k$ , равно:

$$E'_k = I_o R_a = \frac{e_o R_a}{R_o + R_a}$$

Подставляя в эту формулу значение  $e_o$  из формулы 73), и преобразуя знаменатель последней формулы, получаем:

$$E'_k = \frac{E_o r'_o R_a}{(r' + r'_o)(R_o + R_a) + r' r'_o} \dots \dots \dots (74)$$

Поскольку сопротивления заземлений  $R_o$  и  $R_a$ , даже при их тщательном выполнении, обыкновенно во много раз больше сопротивлений проводов  $r'$  и  $r'_o$ , произведение  $r' r'_o$  мало по сравнению с произведением  $(r' + r'_o) \cdot (R_o + R_a)$ , и им можно пренебречь, т. е. написать:

$$E'_k = E_o \cdot \frac{r'_o}{r' + r'_o} \cdot \frac{R_a}{R_o + R_a}$$

Обозначая по-прежнему  $\frac{r'}{r'_o} = a$  и вводя новое обозначение  $\frac{R_o}{R_a} = c$ , получаем:

$$\frac{r'_o}{r' + r'_o} = \frac{1}{a + 1} \quad \text{и} \quad \frac{R_a}{R_o + R_a} = \frac{1}{c + 1}$$

и, наконец:

$$E'_k = \frac{E_o}{(a + 1) \cdot (c + 1)} \dots \dots \dots (75)$$

Сопротивления отдельных заземлений стремятся делать по возможности одинаковыми, с тем, чтобы получить наилучшее, с точки зрения безопасности, распределение потенциала на нулевом проводе. Полагая  $R_0 = R_a$  и  $c = 1$ , получаем:

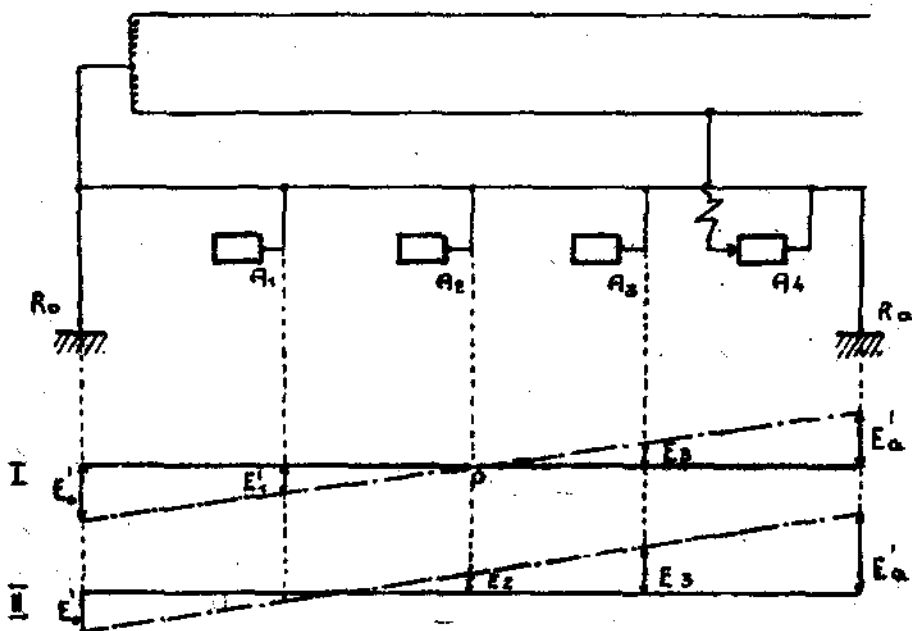
$$E_k = \frac{E_a}{2(a+1)} \cdot \dots \cdot \dots \cdot \quad (76)$$

Сравнивая эту формулу с формулой (71) в предыдущем разделе, находим, что напряжение прикосновения, возникающее при прохождении тока короткого замыкания, в 2 раза меньше, чем в случае однократного заземления нулевого провода. Все значения таблицы на стр. 330 должны быть уменьшены вдвое. В частности при  $E_a = 220$  V (трехпроводная система  $2 \times 220$  V и трехфазная система 380/220 V) получаем значения  $E'_k$  от 55 V до 88 V, в зависимости от значений коэффициента  $a$ . Принимая во внимание кратковременность подобного повышения напряжения прикосновения, такие величины можно считать допустимыми. В других системах, с более низким рабочим напряжением, напряжения прикосновения  $E'_k$  при двукратном заземлении получаются уже вполне безопасными.

Распределение потенциала нулевого провода по его длине показано на фиг. 96. Диаграмма I соответствует тому случаю, когда  $R_0 = R_a$ , т.е.  $c = 1$ ; в середине нулевого провода, на равном расстоянии от обоих заземленных концов, потенциал равен нулю, на концах он равен вычисленному значению  $E_k$  ( $E'_0 = E'_a = E'_k$ ). Соответственно этому распределяются и напряжения прикосновения зануленных частей, присоединенных к нулевому проводу; таким образом при замыкании на корпусе  $A_k$  в конце линии, на этом корпусе возникает напряжение  $E'_0$ , на корпусе приемника  $A_a$ , расположенного в середине линии, напряжение прикосновения равно нулю и, наконец, на корпусе приемника, присоединенного в начале линии, недалеко от трансформатора, получается отрицательное напряжение прикосновения  $E_a$ , по абсолютной величине равное  $E'_k$ .

Если сопротивление заземления нулевой точки  $R_0$  и конца нулевого провода  $R_a$  не равны друг другу, то потенциал

равный нулю, окажется не на середине линии, а ближе к тому концу ее, сопротивление которого меньше. На фиг. 96, диаграмма II, дано распределение потенциала, соответствующее тому случаю, когда сопротивление нулевой точки  $R_0$  в 2 раза меньше сопротивления  $R_a$ , т. е.  $c = 0,5$ . Нетрудно видеть, что если мы обозначим напряжение прикосновения в конце линии, у данного



Фиг. 96. Распределение напряжения прикосновения при двукратном заземлении нулевого провода.

приемника, через  $E'_a$ , а напряжение прикосновения у нулевой точки, в начале линии, — через  $E_a$ , то:

$$\frac{E'_a}{E_a} = \frac{R_0}{R_a} = c \dots \dots \dots (77)$$

и:

$$E_a + E'_a = e_0 \dots \dots \dots (78)$$

т. е. сумма напряжений прикосновений (абсолютных величин),

в начале и в конце линии, равна падению напряжения в нулевом проводе.

Как легко видеть, наименьшее повышение потенциала нулевого провода по всей его длине получается при  $E'_0 = E''_0$ , т. е. при  $c = 1$ . Вот почему стремятся обыкновенно делать сопротивления заземлений примерно равными друг другу.

Что касается силы тока  $I_k$  короткого замыкания, то она мало изменяется от добавочного заземления на конце нулевого провода. Действительно, так как сопротивление каждого заземления обыкновенно во много раз больше сопротивления нулевого провода, наличие цепи сопротивлением  $R_0 + R_n$ , приключенной параллельно к нулевому проводу, несмотря на полное перераспределение потенциала вдоль нулевого провода, мало отражается на величине сопротивления всей цепи короткого замыкания, а вместе с тем и силы тока  $I_k$ .

2. Многократное заземление нулевого провода. При увеличении числа повторных заземлений нулевого провода меняется распределение потенциала вдоль провода, но формула (76) остается в силе, т. е. сумма напряжений прикосновений в начале и конце провода остается равной падению напряжения в нулевом проводе. Выбор пунктов на нулевом проводе для установки заземлений, а также выбор отношения величин сопротивлений различных заземлений, производится таким образом, чтобы получить наиболее выгодное распределение потенциала на нулевом проводе, т. е. наименьшее напряжение прикосновения на большей части зануленных корпусов. Если, например, большая часть приемников сосредоточена на конце линии, в начале же линии приемников нет, или их очень мало, целесообразно отнести повторные зануления преимущественно на конец линии. В этом случае суммарное действие повторных заземлений, отнесенных на конец линии, будет приблизительно эквивалентно действию одного заземления, величина которого  $R_0$  определяется из уравнения:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_{a1}} + \frac{1}{R_{a2}} + \frac{1}{R_{a3}} + \dots \quad (79)$$

где  $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$ ,  $R_{a3}$  и т. д. суть сопротивления отдельных заземле-

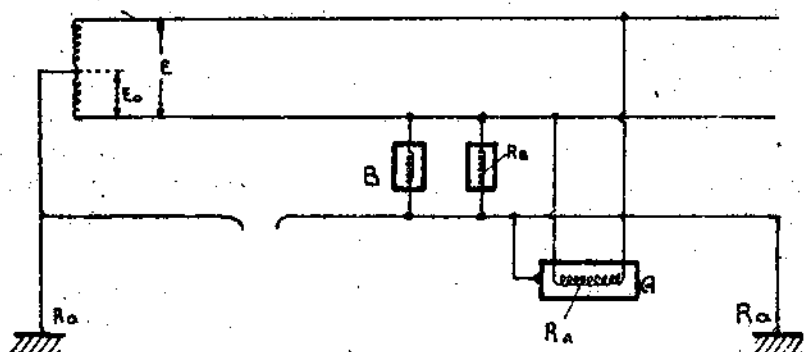
ний. Таким образом эквивалентное сопротивление  $R_z$  может оказаться значительно меньше сопротивления  $R_0$  заземления нулевой точки, соответственно чему напряжение прикосновения на заземленных корпусах приемников, присоединенных в конце линии, сильно уменьшится, а напряжение прикосновения нулевого провода в начале линии  $E_0$  возрастет, причем опять таки останется в силе формула 78. Для усиления указанного эффекта в некоторых случаях даже может оказаться целесообразным вовсе не делать заземления в начале линии, у нулевой точки трансформатора, ограничиваясь заземлениями на концах разветвленной сети.

В общем же, более частом случае, когда приемники распределены в данной сети более или менее равномерно, рациональнее всего и повторные заземления распределять равномерно, на равных расстояниях друг от друга, причем, сопротивления отдельных заземлений делать по возможности равными друг другу. Минимальное число заземлений должно быть равно двум, в начале линии (т. е. у трансформатора или генератора) и на противоположном конце линии. Помимо этих концевых заземлений рекомендуется устраивать и промежуточные, не реже, чем на расстоянии 1 километра друг от друга.

Следует, однако, указать, что очень большое число повторных заземлений нельзя считать рациональным. Если таким образом стремятся, путем увеличения числа параллельных путей для тока короткого замыкания, уменьшить общее сопротивление для этого тока, то, казалось бы, эта цель может быть достигнута более простым и дешевым путем, именно применением нулевого провода большего сечения. Что же касается наивыгоднейшего распределения потенциала на нулевом проводе, достигаемого определенным соотношением между сопротивлениями отдельных заземлений, то указанное распределение на практике может быть легко нарушено, ибо контроль за заземлениями и поддержание их сопротивлений на определенном уровне является при большом числе заземлений делом весьма нелегким. Вот почему при расчете токов короткого замыкания и напряжений прикосновений, повторные заземления нулевого провода часто вообще не принимают во внимание, т. е. ведут указанные расчеты, как при

однократном заземлении нулевого провода. Повторные же заземления являются как бы запасной мерой безопасности, служащей главным образом для уменьшения напряжения прикосновения при прохождении тока короткого замыкания. Поскольку в расчеты при однократном заземлении величина сопротивления заземления, зависящая от состояния заземлителей, свойства грунта, степени его влажности, уровня грунтовых вод и других трудно определяемых факторов, вообще не входит (см. выше, раздел д), эти расчеты могут быть произведены довольно точно.

Помимо уменьшения напряжения прикосновения повторные заземления нулевого провода имеют также значение и в смысле



Фиг. 97. Обрыв нулевого провода при его двукратном заземлении.

уменьшения опасности при обрыве нулевого провода. Это легко можно усмотреть из фиг. 97, на которой показан случай нагрузки только одной половины сети, в части, лежащей за местом обрыва нулевого провода. Если бы не было повторного заземления  $R_A$ , то в виду отсутствия тока через приемники  $B$ , на зануленном корпусе  $A$  установилось бы полное напряжение  $E_0$  сети относительно земли. При наличии же повторного заземления ток через приемники  $B$  пойдет даже и после обрыва нулевого провода, именно через заземления  $R_A$  и  $R_0$  обратно в нулевую точку сети. Напряжение  $E_0$  разделится при этом на 3 части, пропорционально сопротивлениям приемников  $B$  и обоих заземлений. Обозначая общее сопротивление приемников

через  $R_B$  <sup>1)</sup>, сопротивление заземления нулевой точки через  $R_0$  и сопротивление заземления в конце линии через  $R_a$ , мы получим следующую величину напряжения прикосновения  $E'$  на зануленном корпусе  $A$ :

$$E' = E_0 \cdot \frac{R_a}{R_B + R_0 + R_a} \dots \dots \dots (80)$$

В случае нескольких повторных заземлений нулевого провода в приведенную формулу необходимо вставить величину  $R_a$  из формулы 79. Ясно, что чем больше повторных заземлений, тем меньше окажется величина  $R_a$ , а следовательно и напряжение прикосновения  $E'$ .

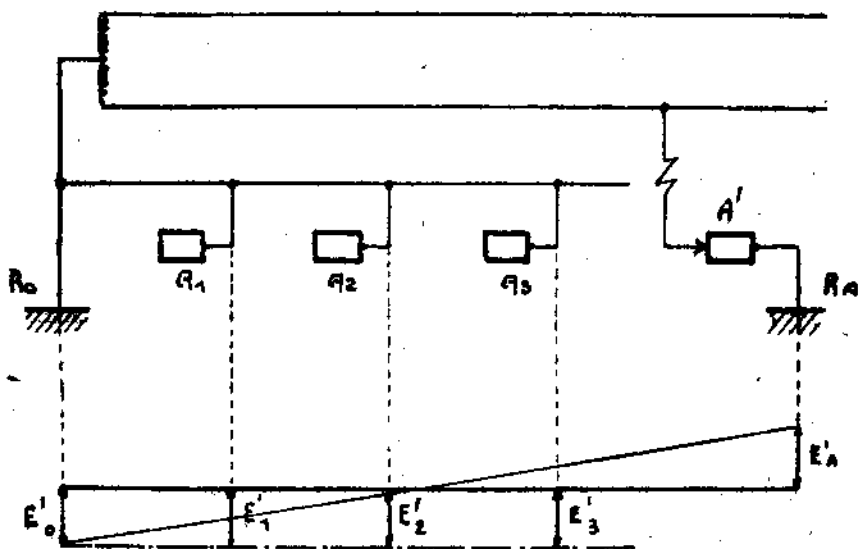
Указанный на фиг. 97 случай наиболее несимметричной, одно-сторонней нагрузки сети может быть, конечно, лишь исключением. Нетрудно видеть, что и в общем случае неравномерной нагрузки разных частей или фаз сети (см. напр. фиг. 94), повторные заземления нулевого провода приводят к уменьшению опасности прикосновения к зануленным частям при обрыве нулевого провода, вследствие понижения потенциала нулевого провода за местом обрыва.

3. Смешанное заземление (зануление и простое заземление). Если повторные заземления нулевого провода следует признать желательными и ведущими к улучшению условий безопасности, то того же нельзя сказать о смешанном заземлении, т. е. о применении простого заземления металлических частей в системе, где вообще применено зануление. Такой случай может встретиться в сетях, где наряду с главной массой приемников в центральной части сети, имеются отдельные, удаленные от центра приемники, не нуждающиеся для своей работы в нулевом проводе (например, двигатели). В этих случаях иногда применяют смешанную систему, заключающуюся в занулении корпусов главной массы приемников в центральной части и в простом заземлении корпу-

<sup>1)</sup> Мы имеем в виду трехпроводную систему постоянного тока. В случае установки переменного тока следовало бы принять во внимание также бездействующее сопротивление приемников  $B$ .

сов некоторых, отдельно расположенных приемников; при этом получается значительная экономия в проводах, ибо отпадает необходимость устройства длинных линий нулевого провода.

Однако, указанная система смешанного заземления связана с опасностью повышения напряжения на нулевом проводе и на всех связанных с ним частях в случае повреждения изоляции и перехода напряжения на корпус того приемника, где применено простое заземление. Сказанное иллюстрируется фигурой 98.



Фиг. 98. Распределение напряжения прикосновения при смешанном заземлении.

изображающей трехфазную сеть с нулевым проводом, к которому присоединены корпуса приемников  $A_1$ ,  $A_2$  и т. д. Один из приемников  $A'$ , находящийся в удаленной от источника тока части сети, имеет не зануленный, а заземленный корпус, ибо в этой части сети нулевого провода нет. При переходе напряжения в приемнике  $A'$  от токоведущей части на корпус, возникает ток короткого замыкания через поврежденное место и заземления приемника и нулевой точки системы. Вследствие этого нулевая точка, нулевой провод и все присоединенные к нему кр-



пуса приемников  $A_1, A_2$  и т. д. оказываются под напряжением  $E'_o$ , величина которого определяется следующей формулой:

$$E'_o = E_o \frac{R_o}{R_o + R_A} \quad (81)$$

где  $E_o$  — напряжение линейных проводов относительно земли,  $R_o$  — сопротивление заземления нулевой точки, и  $R_A$  — сопротивление „простого“ заземления приемника  $A'$ . Так как в нулевом проводе в рассматриваемом случае тока нет, то его потенциал одинаков по всей длине и равен  $E'_o$ , т. е.  $E'_1 = E'_2 = E'_3 = E'_o$ ; соответствующая диаграмма распределения напряжения представлена на той же фиг. 98, которую следует сравнить с приведенными выше фиг. 92 и 96. Поскольку в соприкосновении с зануленными частями могут всегда находиться люди, подобное повышение напряжения во всей сети, даже кратковременное, может легко привести к несчастному случаю, если напряжение  $E'_o$  превосходит известный предел.

Поэтому применение описанной системы смешанного заземления нельзя рекомендовать, если же эта система применяется, то необходимо, чтобы нулевой провод не мог оказаться под напряжением свыше 40 V, т. е. чтобы  $E'_o$  было не более 40 V. Это может быть достигнуто только выбором соответствующего отношения между величинами  $R_o$  и  $R_A$ , на основании уравнения (81). Так, например, при  $E_o = 220$  V, указанное условие осуществляется в случае, если сопротивление  $R_A$  превышает сопротивление  $R_o$  не менее, как в 4,5 раза. При  $\frac{R_A}{R_o} = 4,5$ , в момент повреждения изоляции в приемнике  $A'$  нулевой провод оказывается под напряжением 40 V относительно земли, а самый корпус приемника  $A'$  — под напряжением  $220 - 40 = 180$  V. Таким образом защита корпуса приемника  $A'$  оказывается недостаточной и неудовлетворяющей правилам безопасности, но все же такое положение является, вообще говоря, более приемлемым, чем слишком большое повышение напряжения нулевого провода, ибо вероятность прикосновения ко многим зануленным корпусам во всей сети больше, чем к отдельным заземленным

корпусам, вроде корпуса приемника  $A'$ . Поскольку, однако, нельзя одновременно достичь достаточной степени безопасности как для зануленных, так и заземленных корпусов, указанного устройства следует избегать, как и вообще применения простого заземления в сетях с заземленными нейтральными (см. выше, раздел с).

### f. Защитные выключатели.

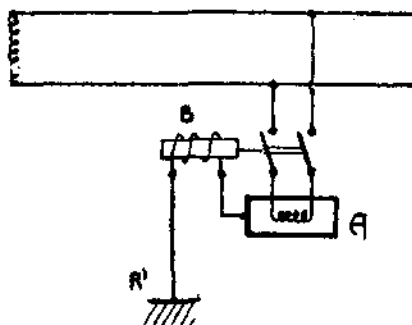
Защита от опасности прикосновения к металлическим частям, могущим случайно оказаться под напряжением, может быть разрешена, помимо защитного заземления и зануления, также и другими средствами. В проекте Руководящих Указаний по устройству и расчету заземлений и занулений в установках низкого напряжения предусматриваются следующие защитные мероприятия, которые могут быть применены вместо защитного заземления или зануления, в случае если выполнение последних встречает затруднения <sup>1)</sup>.

1) Применение очень низкого, безопасного напряжения, не свыше 40 В. Эти напряжения, действительно, применяются при особо неблагоприятных условиях в отношении опасности поражения электрическим током, напр., для ручных ламп при чистке котлов, цистерн и т. п. (см. подробнее об этом главу VIII, разд. f). Вообще же применение столь низких напряжений недопустимо по технико-экономическим условиям, а потому указанная мера практического значения не имеет.

2) Устройство изолирующих площадок, подставок или настилов, которые должны иметь такие размеры и быть так расположены, чтобы человек мог коснуться ограждаемых металлических частей, лишь стоя на изолирующей площадке, а также, чтобы была исключена возможность одновременного прикосновения к ограждаемым частям и к заземленным или неизолированным от земли предметам (машинам, балкам, колоннам и пр.). В некоторых случаях применение изолирующего пола или на-

<sup>1)</sup> О применении изолирующих оболочек для электрических приборов здесь не говорится, ибо в случае отсутствия внешних металлических частей, само собой разумеется, отпадает необходимость защиты от прикосновения к ним.

стиля является весьма рациональной мерой защиты; это относится к установкам, в которых внешние металлические части или корпуса приборов всегда находятся под напряжением, по условиям их работы. Это относится к установкам с металлическими ртутными выпрямителями, к аккумуляторным установкам (см. главу VI, раздел б), а также ко многим электролитическим установкам с металлическими ваннами, напр., в алюминиевом производстве. Кроме того, изолирующие подставки или площадки применяются для обслуживания распределительных устройств высокого напряжения, на станциях, подстанциях, в трансформаторных будках



Фиг. 99. Основная схема действия защитного выключателя.

и пр. В промышленных же установках и для распределительных сетей низкого напряжения изолирующие площадки, настилы и полы не могут иметь сколько-нибудь значительного применения, как в виду своей дороговизны, так и потому, что в обычных производственных условиях поддержание их изолирующих свойств на должной высоте представляло бы большие затруднения.

Поэтому указанная мера защиты вряд ли может служить действительной заменой защитного заземления и зануления.

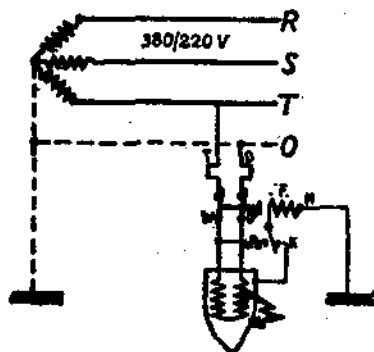
3) Применение защитных выключателей, автоматически отключающих данную часть установки, при опасном повышении напряжения на защищаемом корпусе.

Эта защитная мера, получившая в Германии довольно значительное распространение, обладает, с точки зрения безопасности, большими достоинствами, а потому заслуживает более подробного рассмотрения. Основная схема защитного выключателя, показанная на фиг. 99, очень проста. Обмотка защитного электромагнитного выключателя В включается между защищаемым корпусом А и заземлителем Р'. Выключатель отрегулирован таким образом, что он приходит в действие, как только напряжение на корпусе А относительно земли превзойдет определенную величину.

Таким образом защитный выключатель выполняет ту же функцию, что и защитное заземление или зануление в сетях с заземленной нейтралью, т. е. приводит к отключению той части установки, где произошло повреждение изоляции. Однако же, имеется и существенное различие между устройством защитного выключателя с одной стороны и защитным заземлением или занулением — с другой стороны. При защитном заземлении или занулении отключение производится током короткого замыкания, т. е. когда уже произошло более или менее полное замыкание на корпус. При этом, пока плавкий предохранитель или автомат не пришли в действие, напряжение на защищаемом корпусе повышается значительно выше допустимого, безопасного предела. Правда, это повышение обыкновенно очень кратковременно, однако и оно может представить опасность, как это было подробно изложено в предыдущих разделах настоящей главы. В описываемом же устройстве выключение приемника, а вместе с тем и его корпуса, происходит еще до полного короткого замыкания на корпус, когда потенциал корпуса, вследствие *плохого состояния изоляции и наличия значительных токов утечки*, несколько повысился, но еще не достиг опасной в отношении поражения электрическим током величины. Предельная величина напряжения на корпусе, может быть, как уже упомянуто выше, установлена по желанию, причем она не должна превосходить принятого предела безопасных напряжений, именно 40 V. Таким образом, с точки зрения безопасности устройство защитного выключателя имеет большое преимущество перед защитным заземлением и занулением. Что касается сетей, изолированных от земли, то там нет столь ясно выраженного преимущества защитных выключателей, ибо и защитное заземление, как правило, не допускает повышения напряжения на защищаемом корпусе выше определенной, безопасной величины.

Описываемая система защиты была предложена германскими техниками Heinisch и Riedl, именем которых она и называется. Защитные выключатели по системе Хейниш-Ридль изготавливаются некоторыми германскими фирмами, главным образом Schiele und Bruchsalser—Industriewerke A. G., Baden-Baden („Sbik“); приведенные ниже конструкции и устройства принадлежат именно этой фирме.

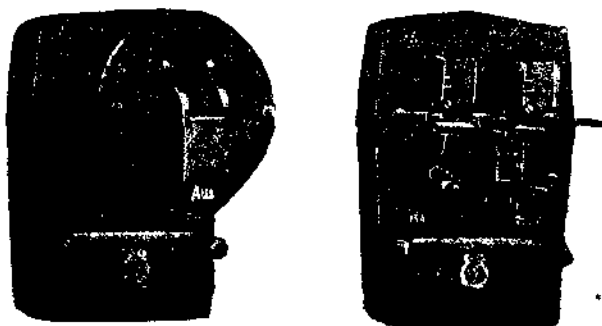
На фиг. 100 изображена схема двухполюсного защитного выключателя для однофазного приемника, включаемого между одним из рабочих и нулевым проводом; внешний вид выключателя с крышкой и без нее, изображен на фиг. 101. В данном случае защитный выключатель соединен с максимальным, т. е. на один и тот же выключатель действует как



Фиг. 100. Схема двухполюсного защитного выключателя для однофазного приемника.

или менее крупных приемников, для которых вообще в настоящее время применяются преимущественно автоматы, а не плавкие предохранители. Благодаря такому соединению, вместо применения

защитного выключателя с максимальной, т. е. на один и тот же выключатель действует как защитное реле, реагирующее на ток утечки, так и максимальное тепловое реле; две катушки теплового реле, включенные последовательно с приемником, изображены на фиг. 100 буквами *t* и *o*. Соединение защитного выключателя с максимальным (а также с нулевым) весьма целесообразно, особенно для более



Фиг. 101. Внешний вид двухполюсного защитного выключателя.

двух отдельных выключателей, можно ограничиться одним, и таким образом достичь значительного удешевления установки; защита от прикосновения может быть получена при этом от добавочного приспособления к автомату, и без того необходимому для установки. Для приемников с номинальной силой тока выше

25. А указанная комбинация является безусловно более целесообразной, нежели установка отдельного, самостоятельного защитного выключателя. Однако, и для более мелких приемников можно рекомендовать применение комбинированного выключателя; так, например, на схеме фиг. 100 изображен мелкий приемник тока, именно электрический утюг. Выключатель, показанный на фиг. 100 и 101, рассчитан на силу тока до 25 А и на напряжение до 380 В.

Обмотка защитного реле  $F$  на фиг. 100 с одной стороны присоединена к заземлителю, а с другой стороны, через переключатель  $K$  в виде кнопки, к защищаемому корпусу. Кнопка  $K$  является контрольным приспособлением, при помощи которого можно в любое время проверить исправное состояние прибора. Действительно, нажав кнопку  $K$ , т. е. соединяя рычажек с левым контактом, а не с правым, мы отсоединяем катушку  $F$  от корпуса приемника, но зато приключаем ее, через сопротивление, к рабочему проводу  $W$ . Если прибор исправен, то ток, который должен при этом пройти через катушку, должен привести в действие прибор и отключить приемник от сети. В виду крайней легкости и удобства этой операции, кнопка  $K$  может служить не только для контроля, но и вообще для приведения в действие выключателя, в порядке нормальной эксплуатации. С точки зрения безопасности, это является весьма желательным, ибо таким образом будет гарантирована частая проверка исправного состояния защитного реле, а также заземлителя и всей заземляющей цепи. Обратное включение прибора может быть произведено от руки, посредством рычага; для возможности такого включения выключатель действует по принципу свободного расцепления.

Сама катушка защитного реле должна иметь очень большое кажущееся сопротивление, не менее 1000  $\Omega$ , с тем, чтобы величина сопротивления заземлителя ( $R'$  на фиг. 99) не имела существенного влияния на силу тока в катушке, а следовательно на действие всего прибора. Прибор регулируется таким образом, что он приходит в действие при величине напряжения прикосновения на защищаемом корпусе в 40 В, если сопротивление заземления имеет наибольшую возможную величину, напр., если  $R = 500 \Omega$ . Если же величина  $R'$  будет меньше,

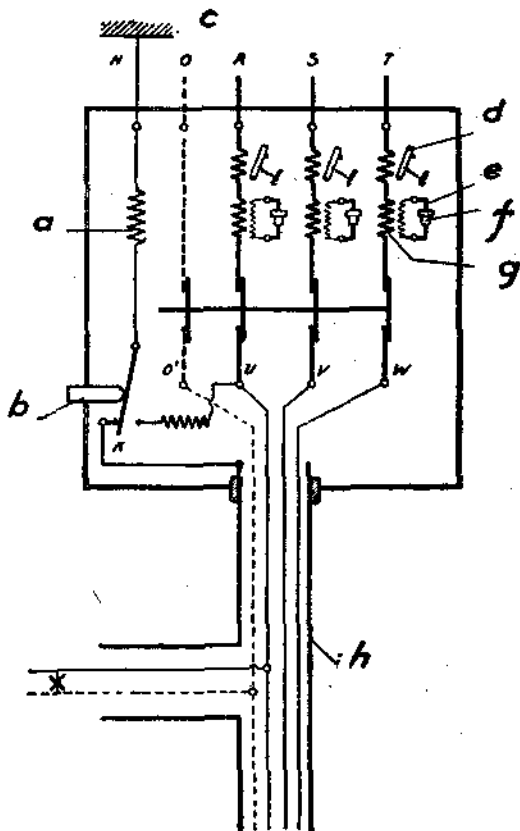
то прибор будет действовать при меньшей величине напряжения прикосновения, напр., при 30—35 V; таким образом степень безопасности может только увеличиться, а не уменьшиться. Защитные выключатели типа „Sbik“ строятся таким образом, что при изменении сопротивления  $R'$  от 1,2 до 400—500  $\Omega$ , величина предельного, допускаемого прибором, напряжения прикосновения изменяется сравнительно мало. Указанное обстоятельство имеет очень большое значение, ибо позволяет применять любой способ заземления, не заботясь о величине сопротивления заземления, о степени тщательности его выполнения, о качестве заземлителя и т. д. Поэтому вспомогательные заземления, применяемые для действия защитных выключателей, не могут идти в сравнение по своей стоимости с рабочими и защитными заземлениями обычного типа, применяемыми в сетях с заземленными нейтралями. Однако, и в рассматриваемом случае удобнее вместо отдельных заземлителей для каждого приемника, устроить общую заземляющую проводку, с одним или несколькими общими заземлителями.

Весьма большое значение имеет также быстрота действия защитного выключателя, ибо во многих случаях аварийного характера, при замыкании на корпус, скорость возрастания потенциала на защищаемом корпусе может быть очень велика. Необходимо, чтобы опасное напряжение прикосновения, выше допускаемого предела (40 V), могло существовать лишь в течение ничтожно малого времени, в противном случае возможность поражения током нельзя считать исключенной, особенно в условиях длительного прикосновения рабочих к защищаемым корпусам или к частям, металлически связанным с этими корпусами. Защитный выключатель типа „Sbik“ является весьма быстро действующим; от момента появления опасного напряжения на защищаемой части до момента отключения данного приемника проходит всего около 0,02—0,04 секунды (продолжительность  $t$ —2 периодов переменного тока).

На фиг. 102 показана схема четырехполюсного защитного и максимального выключателя, предназначенного для группы приемников. Три полюса выключателя служат для размыкания трех фазных проводов, а четвертый — для нулевого провода.

Обмотка *a* защитного релэ приключена через контакт *к* контрольной кнопки *b* к металлической оболочке или трубке *h*, в которую заключены провода, отходящие к данной группе приемников. С этой же оболочкой соединены все металлические корпуса и кожухи приемников рассматриваемой группы. Таким образом все металлические оболочки составляют одну общую систему, и где бы на данном ответвлении ни произошло повреждение изоляции, защитное релэ приходит в действие и отключает группу от сети. Нужно, однако, сказать, что устройство одного общего выключателя для целой группы приемников, хотя и оказывается более дешевым, не является вполне рациональным с эксплуатационной точки зрения, ибо повреждение изоляции в одном из приемников, влечет за собой выключение всей группы, со всеми вытекающими отсюда нежелательными последствиями. Подобное устройство можно, поэтому, допускать

лишь для мелких приемников, а для более или менее крупных, напр., для электродвигателей, желательно применение отдельного защитного выключателя для каждого приемника. На фиг. 102 показано устройство трех максимальных релэ, по одному для каждого фазного провода. Каждое релэ ком-



Фиг. 102. Схема четырехполюсного защитного и максимального выключателя.



бинированное, служащее как для мгновенного выключения при большой перегрузке, так и для выключения с выдержкой времени при меньших перегрузках. Мгновенное выключение производится электромагнитным прибором  $d$ , а медленное — тепловым элементом  $f$ , время действия которого можно отрегулировать. Проволока  $e$  теплового элемента  $f$  питается от трансформатора тока  $g$ .

В последнее время фирма „Sbik“ выпустила защитные выключатели очень небольших размеров, предназначенные для переносных приемников тока; эти выключатели целиком помещаются внутри штепселя специального устройства, описанного в главе VIII, стр. 412.

Описанные устройства и конструкции имеют серьезное значение в смысле защиты от поражения электрическим током, особенно для установок 380/220 В с заземленной нейтралью, которые должны получить у нас большое распространение в промышленности. В настоящее время описанные приборы у нас совсем не применяются, и потому необходимо теперь же поставить вопрос об изготовлении их на наших заводах и о возможно большем их распространении. К этой задаче нужно, однако, подойти с большой осторожностью, ибо целесообразными могут оказаться в данном случае лишь приборы, отвечающие весьма высоким требованиям в отношении надежности действия, конструктивного выполнения, прочности и компактности, и в то же время приборы сравнительно дешевые. Дело касается приборов (или частей приборов, в случае комбинированных защитных и максимальных выключателей), специфически защитных, которые для работы самой электрической установки не имеют значения; поэтому, несомненно, будет существовать тенденция избавиться от этих приборов, если только возникнут сомнения в их надежности и целесообразности, или если они вызовут какие либо затруднения для нормальной эксплуатации установки. Не менее важным является и вопрос о стоимости защитных приборов. Так как подобными приборами должны быть защищены все металлические части (корпуса, кожухи), могущие оказаться случайно под напряжением, их число должно быть очень велико, а цена каждого, для возможности широкого распространения,

должна быть сравнительно мала, что, конечно, возможно лишь при массовом производстве этих приборов. Следует высказать пожелание, чтобы наши электроаппаратные заводы как можно скорее занялись этим делом.

### г. Устройство заземлений.

Общие замечания. Для того, чтобы защитные заземления и зануления могли действительно выполнять свои защитные функции, их выполнение должно отвечать целому ряду условий и требований.

Прежде всего следует указать на необходимость отдельного устройства заземлений для сетей низкого и высокого напряжения. Те и другие заземления не должны иметь электрического соединения между собой, причем заземлители обеих систем должны быть расположены на расстоянии не менее 10 м друг от друга. При замыканиях на корпус и других повреждениях в сетях высокого напряжения возможны очень большие повышения напряжения в заземляющих проводах и заземлителях, которые, при общем устройстве заземлений, могут перейти в сеть низкого напряжения и вызвать тяжелые несчастные случаи. Самая величина допустимого напряжения прикосновения различна для сетей высокого и низкого напряжения, и уже по тому одному заземления, устроенные для установок высокого напряжения, не могут быть допущены в качестве защитных заземлений для установок низкого напряжения. В некоторых случаях, однако, может оказаться целесообразным устройство общей системы заземлений, напр., если „высокое“ и „низкое“ напряжение не много отличаются друг от друга. Так, система в 500 В, изолированная от земли, широко применяющаяся для распределения электрической энергии в промышленных предприятиях, должна быть отнесена, в отношении устройства заземлений, к установкам низкого напряжения, и присоединена к низковольтной заземлительной сети. С другой стороны, необходимо отделение заземлений системы 500 В от заземлений высоковольтной сети, порядка 3000—6000 В и выше.

Что касается заземлений в сети низкого напряжения, то все они, как рабочие, так и защитные, расположенные в одном

здании или в смежных зданиях, следует электрически соединять между собой. Исключения представляют только заземления громоотводов, которые не рекомендуется присоединять к общим заземлителям, опять таки в виду возможности сильного повышения напряжения в заземляющей сети во время грозových разрядов. Устройство общих заземлителей для всей низковольтной установки желательно потому, что таким образом гораздо легче обеспечить надежное выполнение заземлителей и достаточно низкие величины сопротивления заземления, нежели при раздельном устройстве заземлителей. Кроме того, поддержание заземлительной системы в исправном состоянии, уход и контроль за нею, значительно облегчаются и упрощаются в случае общего устройства заземлителей.

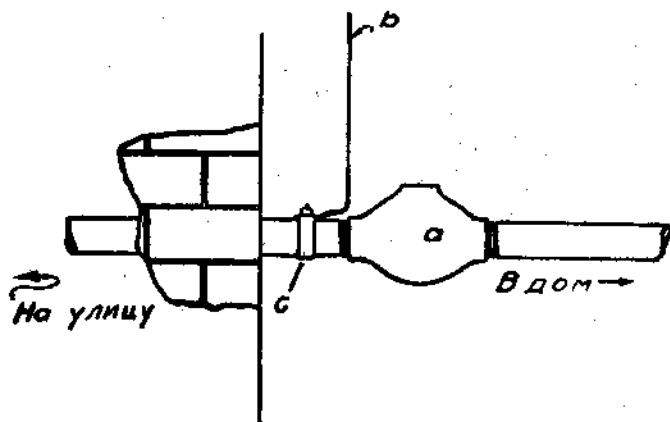
2. Использование водопровода и других сооружений для заземлений. Заземления устраиваются двумя способами: 1) в качестве заземлителей используются имеющиеся сооружения, главным образом водопроводы, и 2) устраиваются специальные, так называемые „искусственные“ заземлители. Нередко применяется и смешанная система, т. е. помимо заземления при помощи водопроводов устраиваются и специальные заземлители.

С точки зрения достижения возможно малых величин сопротивлений водопроводы имеют большое преимущество перед искусственными заземлителями. В Америке, где заземление при помощи водопроводов имеет повсеместное распространение, считается, что сопротивление водопроводного заземления обыкновенно не более  $0,25 \Omega$ , чаще же еще меньше, порядка  $0,1 \Omega$ <sup>1)</sup>. Максимальное же допустимое сопротивление водопроводного заземления Американскими правилами безопасности (National Electrical Safety Code) установлено в  $3 \Omega$  (вместе с заземляющими проводами). Подобные низкие величины сопротивления в случае искусственных заземлителей могут быть достигнуты лишь с трудом и требуют больших затрат. Сопротивления искусственных заземлителей измеряются обыкновенно целыми омами или даже десятками омов. В качестве предельного сопро-

<sup>1)</sup> Discussion of the National Electrical Safety Code. Washington, 1928.

тивления для искусственных заземлителей Американские правила устанавливают величину в 25  $\Omega$ .

В виду указанных условий следует рекомендовать использование водопроводной сети для защитного заземления. При этом, однако следует позаботиться о том, чтобы не могла быть нарушена связь между заземляющими проводами и подземной системой водопроводных труб. Электрическое соединение с землей может быть прервано с одной стороны вследствие применения во фланцевых и других стыковых соединениях водопроводных труб прокладок из изолирующих материалов. С другой стороны

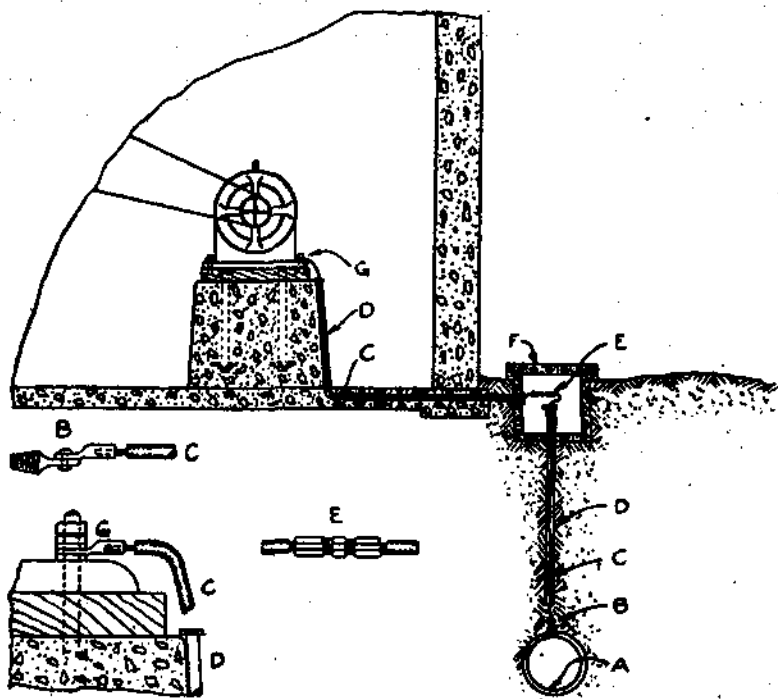


Фиг. 103. Присоединение заземляющего провода к водопроводной трубе внутри здания.

связь может быть нарушена при ремонте водопроводной сети, когда отдельные участки отсоединяются друг от друга, а иногда и совсем удаляются. Необходимо поэтому устраивать надежные обходные соединения, при помощи достаточно толстых проводов, у всех фланцев и стыков, снабженных изолирующими прокладками, а также для тех частей водопроводной сети, которые чаще других подвергаются ремонтам, замене и т. д.; последнее относится в особенности к водомерам.

Присоединение заземляющих проводов к водопроводу следует делать по возможности ближе к выходу водопроводных труб из здания, желательно за водомером, как это показано на фиг. 103; на этой фигуре буквой *a* обозначен водомер, *b* — заземляющий

провод, с — хомут для присоединения провода к водопроводной трубе. При таком устройстве ремонт водопроводной системы внутри здания, в том числе и водомера, не вызовет нарушения связи с землей. Еще лучше непосредственное присоединение защищаемого корпуса к подземной водопроводной трубе, окруженной со всех сторон землей. На фиг. 104, изображающей



Фиг. 104. Устройство заземления при помощи водопровода.

подобное устройство для заземления корпуса электродвигателя, показан заземляющий проводник *C*, проложенный в защитной трубке *D*; буквой *F* обозначена бетонная камера с крышкой, служащая для осмотра и ремонта заземляющего проводника. Буквами *B*, *E* и *G* обозначены соединительные части для заземляющей проводки, о которых подробнее будет сказано дальше.

Обеспечение надлежащей связи с землей путем устройства и поддержания в порядке обходных соединений, а также устрой-

ства временных соединительных проводов при ремонте или замене какого либо участка водопроводной сети, возможно лишь в случае, если водопроводная сеть, или ее часть, находится в ведении того промышленного предприятия, которому принадлежит и данная электрическая установка. В противном случае нельзя быть уверенным в сохранении в целости заземляющей системы, ибо трудно осуществить надзор за состоянием водопровода. Вот почему следует делать различие, в отношении заземления, между местным водопроводом промышленного предприятия и водопроводом общественного пользования. Как правило, водопровод общественного пользования, в отличие от местного водопровода, может быть использован лишь в качестве дополнительного заземления, но не может заменить искусственного заземлителя. При расчете сопротивления заземления водопровод общественного пользования не должен учитываться.

Трубопроводные системы другого назначения, помимо водопроводов, не могут быть использованы для целей заземления. Это относится прежде всего к газопроводам и к трубопроводам с горючими жидкостями; в случае повреждения труб такое заземление может легко быть причиной пожара или взрыва, вследствие появления искры при размыкании заземляющей цепи или при плохом контакте. Поэтому, присоединение заземляющих проводов к подобным трубопроводам или аппаратуре должно быть запрещено. Равным образом не следует пользоваться для заземлений паропроводами и трубопроводами сжатого воздуха, вследствие наличия в таких трубопроводах изолирующих фланцевых соединений и, вообще, недостаточной связи с землей.

Что касается железных конструктивных частей зданий, колонн, балок, железо-бетонной арматуры и т. д., то вообще говоря, нельзя рекомендовать пользование ими для заземлений. Степень электрической связи таких частей с „землей“ (нулевым потенциалом) зависит от многих обстоятельств, от качества почвы, устройства фундамента, конструкции здания и пр. Нередко бывает, что конструктивные части, оказавшиеся, вследствие устройства заземлений или же от случайных причин, присоединенными к электрической сети, получают значительный потенциал относительно земли. Поэтому, при использовании железных конструк-

ий для заземлений, необходимо принимать меры для обеспечения хорошего соединения с землей, т. е. необходимо их специально заземлять; при таких условиях не имеет смысла пользоваться железными конструкциями для заземлений, а следует непосредственно соединять искусственные заземлители с защищаемыми частями. Поскольку, далее, электрическая проводимость конструктивных частей может сильно изменяться вследствие атмосферных влияний, осадки здания и пр., эти части не должны быть также использованы в качестве участков заземляющей цепи. Следует также упомянуть о том, что при постоянном токе включение железных конструкций в заземляющую сеть недопустимо также и в виду вредного влияния электролиза.

3. Искусственные заземлители. При применении искусственных заземлителей они должны быть рассчитаны не только на известную величину сопротивления, как указано в предыдущих разделах настоящей главы, но и на определенную нагрузку током. В случае систем, изолированных от земли, расчет следует вести на допустимые токи утечки, а в случае систем с заземленными нейтральными — на токи замыкания на землю, могущие существовать длительно; в качестве таких токов принимается в случае плавких предохранителей — их номинальный ток, а в случае максимальных автоматов — 0,75-кратный ток от номинального (см. разделы с, d и e настоящей главы). Если заземлители не будут надлежащим образом рассчитаны, и удельная плотность тока в слоях земли, прилегающих к заземлителям, будет слишком велика, эти слои могут подвергаться перегреванию, высушиванию, а иногда даже и спеканию, в результате чего сопротивление заземления может возрасти во много раз, т. е. заземление придет в негодность. Нужно сказать, что для установок низкого напряжения, если пользоваться приведенными выше расчетами, основанными на том, что падение напряжения в заземлении, при длительном токе, не может превысить 40 В, мы большей частью получим одновременно с нужной величиной сопротивления заземления, также и достаточно малую плотность тока в прилегающих к заземлителю слоях земли. Однако, при недостаточно тщательном вы-

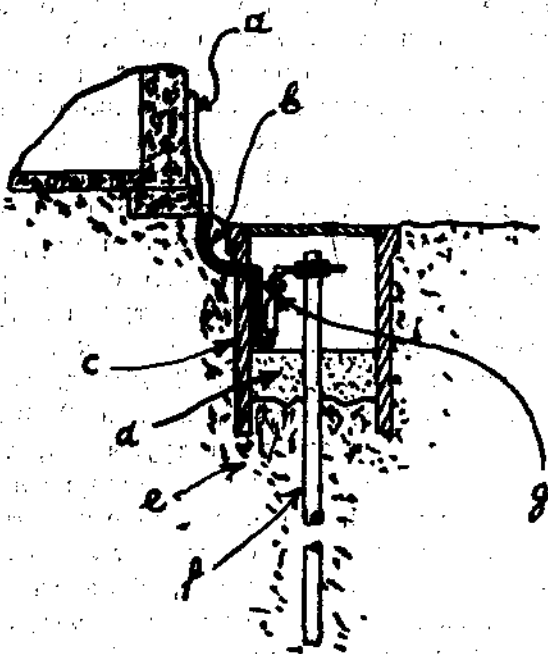
полнении заземлений, в частности при неплотном прилегании земли к поверхности заземлителей, все же возможны указанные выше явления перегрева, со всеми вытекающими отсюда вредными последствиями. Вообще, необходимо заметить, что надлежащее устройство заземлителей представляет далеко не простую задачу, и на это следует обращать самое серьезное внимание. Подробные сведения о величине сопротивления заземлений, о проводимости грунтов, о распределении электрического потенциала вокруг заземлителей и т. д. можно найти в книге проф. А. А. Смурова: „Токи высокого напряжения“ (Выпуск седьмой настоящей серии). Здесь же мы ограничимся лишь краткими данными об устройстве искусственных заземлителей.

В качестве искусственных заземлителей применяются главным образом следующие части: железные трубы, железные и медные пластины и ленты. Чаще всего применяются железные трубы, которые являются более дешевыми по сравнению с другими типами заземлений, главным образом потому, что трубы могут забиваться в грунт на нужную глубину, в то время как заземлители других типов должны закапываться. Трубы должны быть оцинкованные, диаметром не менее 1", длиной 2—3 м. С увеличением площади внешней поверхности трубы сопротивление заземления падает, однако же далеко не пропорционально увеличению поверхности. Дело в том, что переходное сопротивление контакта от заземлителя к земле составляет лишь небольшую часть всего сопротивления заземления, большая же часть сопротивления падает на прилегающие к заземлителю слои земли. Опыты показывают, что увеличение контактной площади трубы свыше 0,2—0,4 м<sup>2</sup> уже не сопровождается сколько-нибудь существенным понижением сопротивления заземления. С другой стороны применение труб длиной менее 2 м не рекомендуется, ибо трубы должны быть опущены достаточно глубоко, с тем, чтобы они в значительной части оказались ниже уровня грунтовых вод. А так как поверхность 1-дюймовой трубы длиной 2 м составляет около 0,15 м<sup>2</sup>, то нет смысла применять трубы диаметром более 2" — 2 1/2". Указанный нижний предел диаметра в 1" устанавливается главным образом с точки зрения механической прочности трубы, забиваемой в



грунт. Оцинковка труб значительно увеличивает их стойкость в отношении химических воздействий, т. е. их долговечность, и кроме того облегчает присоединение к трубам заземляющих проводов. Вообще же, обычные газовые трубы вполне пригодны для устройства заземлений.

Устройство заземления посредством трубы показано на фиг. 105. Для соединения заземляющего провода *a* с верхней



частью трубы *f* устроен особый колодец при помощи одного звена керамиковой трубы с большого диаметра; колодец закрывается крышкой. В этот же колодец закладывается слой поваренной соли *d* для уменьшения сопротивления (см. ниже).

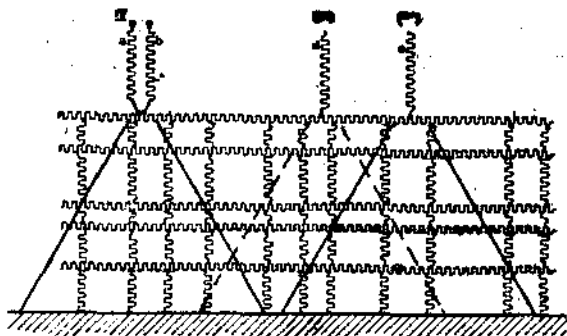
Сопротивление заземления при одной трубе (во влажной, глинистой, болотистой или черноземной почве) составляет в среднем от 30 до 50  $\Omega$ . Для уменьшения сопро-

Фиг. 105. Устройство заземления при помощи трубы.

тивления заземления необходимо применять несколько труб, соединяемых параллельно. Однако, трубы должны быть расположены на довольно значительном расстоянии, в противном случае увеличение числа труб лишь незначительно уменьшит сопротивление заземления. Это явление можно уяснить из рассмотрения фигуры 106, на которой схематически изображены сопротивления различных путей токов при заземлении. Буквами *a*, *b*, *c*, *d* обозначены переходные или контактные

сопротивления от труб к земле, в местах расположения этих труб. Далее, в близлежащих слоях земли токи разветвляются во все стороны, причем сопротивления разных путей изображены в виде сетки, оканчивающейся на уровне „электрической земли“, т. е. на уровне нулевого потенциала. Можно приблизительно допустить, что от каждого места заложения заземляющих труб токи расходятся в виде пучка и захватывают конический объем земли, обозначенный на фиг. 106 прямыми линиями. Ясно, что устройство второй трубы в точке *b*, рядом с трубой *a*, может только уменьшить переходное или контактное сопротивление

(благодаря параллельному включению двух сопротивлений *a* и *b*), но не сопротивление прилегающих слоев земли, ибо токоведущий конус земли остается прежний. Совершенно другой эффект получится, если вторая труба будет помещена в точке *c*, в этом слу-



Фиг. 106. Схема распространения токов около заземлителей.

чае окажется параллельно включенным новый участок земли, в виде второго конуса. Промежуточное действие получится, если поместить вторую трубу в точке *d*; конуса, соответствующие трубам *a* и *d*, отчасти перекрещиваются между собою. Опытом установлено, что расстояние между соседними трубами, необходимое для максимального использования каждой трубы, т. е. расстояние между *a* и *c* на фиг. 106, равно от 2 до 3 м, т. е. примерно равно длине трубы. В этом случае сопротивление заземления уменьшается приблизительно пропорционально увеличению числа труб.

Пластины являются весьма пригодными в качестве заземлителей в случае, если уровень грунтовых вод не особенно низок (не ниже 2—2,5 м), и кроме того не подвержен значительным

колебаниям. В противном случае закапывание пластин на значительную глубину может представить серьезные затруднения. Пластины чаще всего делаются железные оцинкованные, хотя более подходящими следует признать медные пластины, меньше подверженные разъеданию; для пластин это имеет большее значение, чем для труб, в виду того, что обнаружить повреждение в данном случае гораздо труднее, так как необходимо для осмотра пластины ее откапывать, в то время, как о состоянии трубы можно судить по верхнему ее концу, в особенности если этот конец открыт и помещен в колодце (фиг. 105).

Площадь одной пластины должна быть не менее  $0,5 \text{ м}^2$ , считая с одной стороны, а толщина пластины — не менее 3 мм. Сильно увеличивать площадь пластины против указаний нормы не имеет смысла, так как при увеличении площади сверх  $1 \text{ м}^2$  уже не получается сколько-нибудь существенного уменьшения сопротивления. Сопротивление заземления одной пластины, площадью  $1 \text{ м}^2$  (с одной стороны) во влажном глинистом или полевом грунте равно примерно от 20 до 30  $\Omega$ ; для уменьшения сопротивления заземления необходимо, так же как и при трубах, увеличивать число параллельно соединенных пластин, соблюдая между ними указанные выше расстояния. Пластины рекомендуются закапывать в вертикальном положении для избежания последствий осадки почвы; при горизонтальном положении пластины осадка легко могла бы повлечь за собой нарушение контакта и даже обрыв заземляющего провода. Глубина заложения пластин должна быть такова, чтобы нижняя кромка была по крайней мере на 1 м ниже уровня грунтовых вод.

Что касается железных и медных лент или проволоки, то они могут представить очень хорошее заземление, но только в особых случаях, при наличии на небольшой глубине хорошего, токопроводящего грунта. Иногда, впрочем, ленты помещаются на большой глубине, но в таком случае уже устраиваются для них специальные траншеи. Чаще же всего ленты применяются в качестве дополнительного заземления, в расчет сопротивления заземления не вводятся и служат в качестве выравнивающего заземляющего контура. Минимальная толщина лент устанавливается в 3 мм, минимальная длина — 10 м, минимальная площадь

поперечного сечения — 50 мм<sup>2</sup>; минимальный диаметр проволоки — 8 мм. Минимальная глубина закапывания лент и проволоки в грунт определяется в 30 см. Примерные величины сопротивления ленты, поперечного сечения 50 мм<sup>2</sup>, в зависимости от ее длины, в хорошем грунте, приведены в следующей таблице:

|                                           |    |    |    |    |     |
|-------------------------------------------|----|----|----|----|-----|
| Длина ленты в метрах . . . . .            | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 |
| Сопротивление заземления в омах . . . . . | 25 | 10 | 7  | 5  | 3   |

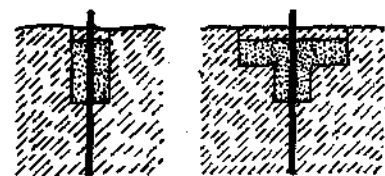
Кроме указанных заземлителей иногда применяются и старые железные части и лом, в виде котельных листов, рельсов, железных балок и т. д. Однако, применение этих частей можно допустить лишь при отсутствии более подходящих заземлителей (труб, пластин, лент), которые всегда следует предпочесть железному лому.

4. Способы понижения сопротивления искусственных заземлителей. Указанные величины сопротивления разных заземлителей относятся, как уже было сказано, к „хорошему“, с точки зрения заземления, грунту, т. е. к влажному глинистому, влажному черноземному или болотистому грунту. Как видно, для получения низких величин сопротивлений (порядка нескольких омов и ниже) приходится и в хороших грунтах прибегать к параллельному соединению нескольких труб и пластин. При плохих же грунтах — песчаных и кремнистых, сопротивления возрастают во много раз по сравнению с указанными величинами. Интересно отметить, что и чистая вода, особенно проточная, дает плохое заземление, вследствие чего не следует помещать заземлители (электроды) непосредственно в водоемы. Значение почвенной влаги в смысле увеличения проводимости состоит главным образом в том, что она растворяет частицы почвы, а полученный раствор является хорошим проводником. Если же частицы нерастворимы или плохо растворимы, как это имеет место для многих песчаных и особенно кремнистых грунтов, то и присутствие влаги не может дать высокой проводимости. Таким образом, при плохих грунтах, хотя бы и влажных, получаются для одного заземлителя очень высокие сопротивле-

ния; так например, одна труба указанных выше размеров в песчаной почве дает примерно 200  $\Omega$  и выше. Понятно, что для получения приемлемых значений сопротивлений приходится ставить очень большое число, целую сеть, заземлителей, при том расположенных друг от друга на большом расстоянии (не менее 2—3 м). Не говоря уже о большой стоимости такого устройства, далеко не всегда можно иметь достаточную свободную площадь для установки подобного заземления.

Сопротивление заземления может быть значительно уменьшено путем искусственного повышения проводимости слоев земли, прилегающих к заземлителю. Чаше всего для этого применяется обработка почвы вокруг заземлителя поваренной солью, либо путем поливки места заземления двух-процентным раствором

соли, либо путем заложения около заземлителя (трубы или пластины) слоя поваренной соли, весом от 20 до 40 кг. Под влиянием почвенной влаги соль будет постепенно растворяться и пропитывать окружающие слои почвы, которая окажется таким образом наполненной раствором соли, хорошо проводящим ток.



Фиг. 107. Применение соли для понижения сопротивления заземлений.

Для ускорения этого процесса можно прибегнуть к поливанию почвы водой около места заземления. Способ заземления, применяемый в Америке, при помощи трубы, верхняя часть которой находится в слое соли, изображен на фиг. 107: роется яма глубиной около 1 м и заполняется на  $\frac{3}{4}$  своей высоты солью; труба, служащая заземлителем, забивается сквозь слой соли в землю. Для увеличения количества соли верхняя часть ямы может быть сделана уширенной, как показано на фиг. 107. справа; при этом вес соли увеличивается до 30—40 кг против 15—20 кг на фиг. 107. слева. Другой способ заложения слоя соли в колодец, образованный керамиковой трубой, был изображен на фиг. 105. Слой соли должен быть не настолько высок, чтобы доходить до заземляющего провода, а в особенности до места соединения между проводом и трубой; в противном случае это место будет подвергаться разъеданию и порче. В случае при-

менения пластин, слой соли закапывается в землю одновременно с пластиной.

Кроме соли в Америке применяются для обработки почвы вокруг заземлителей и иные вещества, из которых чаще других встречается сульфат меди, закладываемый в землю таким же образом, как и соль. Сульфат меди имеет перед солью то преимущество, что он не оказывает никакого разъедающего действия; наоборот, в присутствии раствора сульфата меди заземлители покрываются тонким слоем меди, благодаря чему увеличивается их долговечность. С другой стороны, соль лучше притягивает и сохраняет влагу, а кроме того понижает температуру замерзания грунта. Мерзлый грунт обладает очень высоким сопротивлением; а потому необходимо, чтобы заземлители всегда находились в значительной своей части ниже глубины промерзания грунта. Для облегчения выполнения последнего требования, в северных областях, может оказать немалую услугу закладка соли. В присутствии последней заземление получается гораздо более стойким, как при сильных морозах, так и при засухе <sup>1)</sup>.

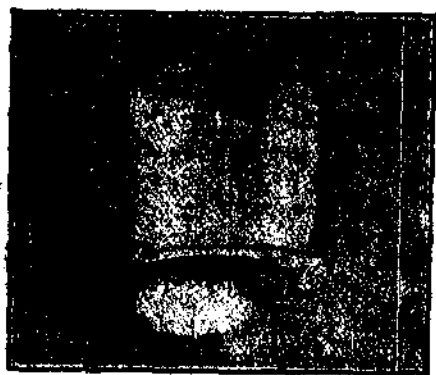
Слой соли или другого вещества, растворяясь в почвенной влаге и проникая в окружающие слои почвы, мало по малу расходуется, вследствие чего действие соли со временем уменьшается. Поэтому от времени до времени, в зависимости от показаний при измерении сопротивления, слой соли должен быть возобновлен, что при устройствах, показанных на фиг. 107, не представляет особых затруднений. В отношении продолжительности действия способ закладки твердой соли имеет большое преимущество перед способом поливания соляным раствором.

Для уменьшения сопротивления заземления применяется иногда также обкладка заземлителей слоем почвы, проводящей ток лучше, чем естественный грунт; в качестве такого слоя приме-

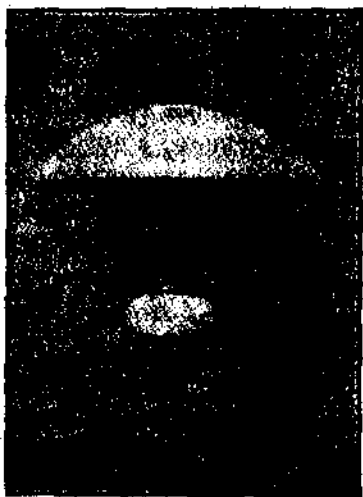
<sup>1)</sup> Об устройстве заземлений в промерзающем грунте имеются сведения в докладе проф. Сиротинского и инж. Телешова и Экле: „Защитные и рабочие заземления“; см. Сборник „Доклады СССР на второй мировой энергетической конференции в Берлине в июле 1930 года“. В этом докладе приведены данные из практики устройства заземлений для новейших высоковольтных установок в СССР.

няется перегной, кокс и др. Эти средства, однако, сильно уступают по своему действию пропитке солью или другими веществами. В частности, применение кокса допустимо лишь в случае медных заземлителей, ибо железо, хотя бы и оцинкованное, довольно быстро разрушается под действием кокса.

В особо неблагоприятных случаях, например, при каменном, скалистом грунте, устройство хорошего заземления сопряжено с очень большими затруднениями. Иногда приходится вести заземляющие кабели на большое расстояние, ибо по близости нет подходящего грунта для устрой-



Фиг. 108. Пробивной предохранитель для установки в закрытом помещении.



Фиг. 109. Пробивной предохранитель для установки на открытом воздухе.

ства заземления. На электрических станциях, расположенных в гористых и скалистых местностях в Америке, специально устраивают для заземлений глубокие скважины, глубиной в десятки метров.

5. Заземление при помощи пробивного предохранителя. Говоря о заземлителях, необходимо также коснуться устройства заземления при помощи специального разрядника или пробивного предохранителя. Из разных типов подобных приборов мы остановимся на разряднике, состоящем из тонкого слоя изолятора между двумя проводниками. Построенный на этом принципе предохранитель изображен на фиг. 108 и 109. Внутри

металлического корпуса расположена тонкая слюдяная пластинка; пластинка перфорированная, с мелкими и частыми отверстиями. С обеих сторон к слюдяной пластинке плотно прилегают металлические диски, диаметром несколько меньшим, чем диаметр слюдяной пластины; один из дисков электрически соединен с заземлителем, а другой — с подлежащей заземлению частью. В нормальных условиях работы установки цепь заземления разомкнута, ибо контакта между обоими медными дисками нет. Если же, вследствие аварии, на защищаемой части появляется высокий потенциал, тонкий слой воздуха между дисками пробивается и устанавливается электрическое соединение с землей. Когда же ток замыкания на землю, благодаря действию предохранителя или автомата, прервется, восстанавливается нормальное состояние прибора, если только сила тока не была для прибора чрезмерно велика. В противном случае, а также при частом действии прибора, изоляция между дисками уже не может быть восстановлена, и прибор подлежит исправлению и новой зарядке. При осмотре и ремонте прибора отвинчивается гайка, снабженная изолирующей ободочкой. Прибор, изображенный на фиг. 108, предназначен для установки в закрытом помещении, а прибор на фиг. 109 — на открытом воздухе; в последнем случае прибор снабжен специальным покрытием, защищающем его от дождя и снега.

Как уже было сказано в разделе „а“ настоящей главы, пробивной предохранитель может быть с успехом применен для заземления нулевой точки сети низкого напряжения, питаемой через трансформатор от источника высокого напряжения. Прибор рассчитывается на напряжение, равное двойному или тройному фазному напряжению низковольтной установки; при более высоких напряжениях происходит указанное выше явление пробоя. Таким образом в нормальных условиях низковольтная система остается изолированной от земли; и только когда вследствие какого либо повреждения в трансформаторе или в сети, напряжение с высоковольтной сети переходит на низковольтную, наступает действие прибора, который устанавливает заземление нулевой точки. При надлежащей конструкции прибора и хорошем надзоре за ним, описанную систему следует признать, по-



жалуй, наилучшей в отношении безопасности от поражений электрическим током, ибо такая система соединяет в себе преимущества обеих групп электрических сетей — заземленных и изолированных от земли.

6. Заземляющие и зануляющие провода. Переходя к устройству заземляющей и зануляющей проводки, нужно прежде всего отметить недопустимость последовательного включения защищаемых корпусов, вследствие чего в заземляющей цепи могут создаться опасные разности потенциалов. Все защищаемые корпуса должны быть включены параллельно; от каждого корпуса должен отходить специальный заземляющий провод, присоединенный либо прямо к заземлителю, либо, что встречается гораздо чаще, к сборному заземляющему проводу или шине которая, в свою очередь соединена непосредственно с заземлителями. В зависимости от числа и расположения приемников может быть не одна сборная заземляющая шина, а несколько. При занулении, корпуса присоединяются к нулевым проводам, которые проводятся вместе с фазными проводами, и разветвляются так же, как и фазные провода. Однако, при однофазном питании приемника, когда последний включен между одним из фазных и нулевым проводом, следует, вообще, избегать присоединения корпуса к рабочему нулевому проводу, в виду опасности, возникающей при обрыве нулевого провода; для переносных же приемников такой способ зануления прямо запрещается (см. главу VIII). В рассматриваемых случаях следует вести специальный зануляющий провод от корпуса до магистрального нулевого провода.

Основным требованием по отношению к заземляющей проводке является неразрывность заземляющей цепи, и на это должно быть обращено особенное внимание при устройстве заземлений. Для устранения возможности случайного отключения заземляющих проводов, в последних вообще говоря следует избегать устройства выключателей и разъединителей. В заземляющих проводах могут быть допущены лишь такие разъединяющие приспособления, в виде многополюсных выключателей, которые размыкают заземляющую цепь одновременно с отключением данного приемника или установки от сети на всех полю-

сах или фазах; таким образом отъединение корпуса от заземляющей системы возможно только вместе с отключением тоководущих частей приемника, вследствие чего отпадает возможность случайного появления на корпусе напряжения. Вообще же все соединения в заземляющей проводке должны быть таковы, чтобы отключение проводов могло быть произведено лишь обслуживающим персоналом при помощи специальных инструментов.

При выборе сечения и способа прокладки заземляющих проводов серьезное внимание должно быть обращено на прочность проводов в отношении механических и химических воздействий, в целях обеспечения неразрывности заземляющей цепи. Далее, при выборе сечения проводов необходимо принимать во внимание условия нагревания током, как об этом уже говорилось выше (раздел 4 настоящей главы). Американскими правилами безопасности предлагаются следующие сечения для медных заземляющих проводов защитных заземлений, в зависимости от расчетной силы тока плавкого предохранителя или максимального автомата, ближайшего к данному приемнику, корпус которого заземляется.

| Сила тока предохранителя или автомата, в амперах.                                                                  | до 100 | от 100 до 200 | от 200 до 500 | Свыше 500 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------|---------------|-----------|
| Сечение медного заземляющего провода (по американскому стандарту B. & S. Gauge) в квадратных миллиметрах . . . . . | 5,26   | 13,3          | 21,15         | 33,6      |

Для переносных приемников, защищенных предохранителями не более как на 15 А, допускается американскими нормами применение заземляющих проводов сечением меньше 5,26 мм<sup>2</sup>, но не менее 0,82 мм<sup>2</sup>.

В проекте руководящих указаний для расчета и устройства заземлений и занулений в установках низкого напряжения, разработанном в ЦЭС'е, устанавливается лишь нижний предел заземляющих проводов, по условиям механической прочности. Для медных проводов этот предел установлен в 4 мм<sup>2</sup>, с изъятием для переносных проводов, которые могут применяться

того же сечения, что и соответствующие рабочие провода, но при условии, что в этом случае заземляющий провод должен иметь изоляцию, равноценную изоляции токоведущих проводов. Вообще же сечение провода должно быть установлено расчетом, однако предполагается, что можно ограничиться во всех случаях сечением не свыше  $50 \text{ мм}^2$ . Как видим, эти данные довольно хорошо согласуются с приведенными выше американскими нормами.

В случае применения железных проводов они должны быть обязательно защищены от химических воздействий путем покрытия цинком, свинцом или медью (оцинкование, освинцование или омеднение). В качестве нижнего предела сечения железных заземляющих проводов устанавливается  $12 \text{ мм}^2$  (диаметр около  $4 \text{ мм}$ ). В качестве наибольшего сечения для железных проводов можно указать на сечение  $100 \text{ мм}^2$ , достаточное для устройства заземления во всех случаях.

Для облегчения надзора за заземляющей сетью и ее обслуживания, заземляющие провода, как идущие к отдельным приемникам, так и сборные, следует прокладывать по возможности так, чтобы они были доступны для наблюдения, т. е. либо над землей, либо же в каналах и траншеях. Для облегчения распознавания заземляющих проводов, в отличие от рабочих, следует снабжать их отличительными признаками (окраска, крапленая или меченная изоляция и пр.). О цветах для закраски голых заземляющих проводов было сказано в главе V (стр. 173). Для крапления изолированных заземляющих проводов следует, по возможности, применять зеленый цвет.

Иногда, однако, при недостатке места, приходится прибегать к устройству заземляющих проводов, проложенных в земле и вообще недоступных наблюдению. Сечение проводов в этом случае должно быть не менее  $25 \text{ мм}^2$  для медных проводов и не менее  $50 \text{ мм}^2$  для железных проводов. Далее, подземные заземляющие провода, если они проложены не в трубках, следует прокладывать свободно, без всякого натяга, с тем чтобы избежать обрыва при оседании почвы или от других причин. Голые заземляющие провода и шины, проложенные непосредственно в земле, могут рассматриваться как часть зазем-

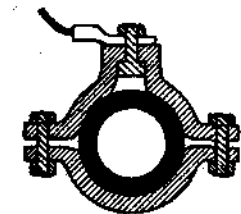
лительного устройства, ибо через них также происходит переход тока в землю.

Вообще, где бы заземляющие провода ни были проложены, необходимо позаботиться о защите их от механических и химических воздействий, которые могут иметь место при данных условиях. Так, в помещениях сырых, особо сырых и с едкими парами заземляющие провода, во избежание окисления и разъедания, следует окрашивать и кроме того прокладывать на изолирующих опорах. Прокладка на изолирующих опорах желательна и в помещениях опасных в пожарном отношении и в отношении взрывов. Для защиты от механических повреждений чаще всего применяется прокладка заземляющих проводов в трубках. Наилучшим материалам для трубок служит оцинкованное железо, особенно для укладки на открытом воздухе и под землей. Устройство заземляющих проводов в трубках показано на фиг. 104 и 105. Прокладка заземляющего провода в общей трубке с рабочими проводами допускается лишь в том случае, если заземляющий провод имеет изоляцию, равноценную с изоляцией рабочих проводов.

Особенное внимание должно быть обращено на устройство соединений заземляющих проводов между собой, с защищаемыми корпусами и с заземлителями. Неисправное состояние заземления и повышение его сопротивления очень часто стоит в связи с обрывом или плохим контактом в соединениях. Хороший, надежный контакт получается при склепывании и сваривании соединяемых частей. При свинчивании должны быть приняты меры против самопроизвольного ослабления гаек. Применение пайки, как единственного способа соединения, не допускается. Однако пропаивание свинченных частей является весьма полезным и широко применяется, напр, в Америке. Так именно устроены соединения *B*, *G* и *E*, изображенные на фиг. 104. Кабельные наконечники соединяемых вместе проводов свинчиваются между собой, а помимо этого, наконечники, болты и гайки лудятся, и винтовые соединения пропаиваются. Кроме того, наконечники припаиваются к проводам. На фиг. 105 показано еще присоединение заземляющего провода к трубе, служащей заземлителем; на трубу сверху надевается под давлением железное

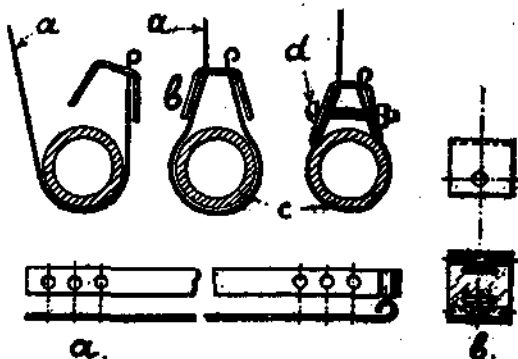
кольцо с отростком, который свинчивается и спаивается с кабельным наконечником заземляющего провода.

Из других способов соединения с заземлительными трубами, как специальными, так и водопроводными, следует указать на соединения при помощи пробок и при помощи хомутов. Первое устройство показано на фиг. 104 и обозначено буквой В. Железная или медная луженая пробка, снабженная нарезкой, ввертывается в трубу, а проушина или наконечник пробки соединяется указанным выше способом с кабельным наконечником провода. Подобное соединение очень надежно, но возможно лишь при достаточной толщине трубы и далеко не всегда выполнимо. Более простым является соедине-



Фиг. 110. Хомут для присоединения заземляющего провода к заземлителю.

ние посредством зажимов типа хомутов. Материалом для хомутов служит обыкновенно луженая медь, иногда оцинкованное железо; толщина полосы, из которой делается хомут, должна быть не менее 2 мм, ширина — не менее 25 мм. Хорошая конструкция показана на фиг. 110; благодаря тому, что хомут состоит из 2 частей, он может быть приспособлен к трубам разных диаметров. Очень плотное присоединение к трубам любого типа и размера может быть достигнуто при помощи приспособления, показанного на фиг. 111. Луженая медная полоса *a* обертывается вокруг трубы *c*, пропускается в отверстие прочной скобы *b* и затягивается при помощи болта *d* из желтой меди; для пропуска болта в полосе и скобе имеются специальные отверстия. Заземляющий провод зажимается между болтом и скобой, и место



Фиг. 111. Устройство для присоединения заземляющего провода к заземлителю.

показанного на фиг. 111. Луженая медная полоса *a* обертывается вокруг трубы *c*, пропускается в отверстие прочной скобы *b* и затягивается при помощи болта *d* из желтой меди; для пропуска болта в полосе и скобе имеются специальные отверстия. Заземляющий провод зажимается между болтом и скобой, и место

зажима пропаивается. Подобный же способ может быть применен и для соединения заземляющего провода с металлической трубкой или оболочкой кабеля, подлежащей защитному заземлению. Следует еще упомянуть о присоединении заземляющих проводов к водопроводной сети при помощи болтов в корпусах водопроводных кранов, гидрантов и других частей арматуры.

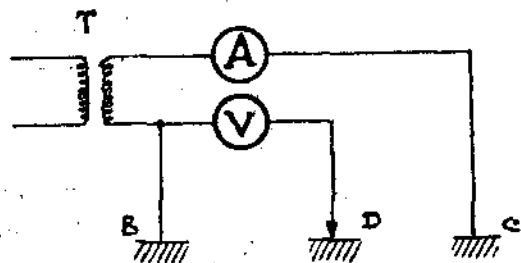
Для обеспечения надлежащего контакта соприкасающиеся металлические поверхности (труб, хомутов, наконечников, болтов) должны быть тщательно очищены от краски, ржавчины и пр. Далее, следует позаботиться о защите мест соединения от химических воздействий, окисления и разъедания. В сырых помещениях, а особенно на открытом воздухе и под землей, следует принимать для этого специальные меры, чаще всего в виде покрытия соединительных частей асфальтовой краской. Подобные меры являются обязательными для всех соединений, если данные заземления рассчитаны на силу тока более 10 А.

#### h. Испытание заземлений.

Защитное действие заземления всецело связано с величиной его сопротивления, а последнее зависит от многих факторов, метеорологических и гидрологических, не говоря уже о состоянии самих заземлителей и заземляющих проводов. Поскольку величина сопротивления заземления подвержена большим колебаниям, становится ясным то громадное значение с точки зрения безопасности, которое приобретает испытание заземлений, выражающееся главным образом в измерении сопротивления заземления. При этом важно не только начальное испытание перед сдачей в эксплуатацию, но и периодические испытания, через определенные промежутки времени. В качестве минимального периода для испытаний заземлений устанавливается 1 год, но вообще желательно этот срок уменьшить. Результаты испытаний должны тщательно регистрироваться и заноситься в особый журнал.

Для измерения сопротивления заземления существуют несколько методов, из которых мы опишем только те, которые чаще всего применяются. Наиболее надежный способ измерения состоит в пропускании тока через испытываемое и вспомогатель-

ное заземление и в измерении силы этого тока, а также напряжения между испытуемым заземлением и особым заземлением — зондом, потенциал которого можно принять равным нулю. Схема измерения показана на фиг. 112. Испытание следует производить на переменном токе, ибо при постоянном токе дает себя сильно чувствовать явление поляризации, затрудняющее испытание; поэтому на фиг. 112 в качестве источника тока показан трансформатор *T*. Если сеть имеет заземленную точку, то трансформатор необходим и в случае низкого напряжения сети, ибо источник тока в измерительной цепи должен быть изолирован от земли. Вообще же напряжения порядка 110 и 220 В являются вполне подходящими для описываемых измерений. Буквой *B* на фиг. 112



Фиг. 112. Схема для измерения сопротивления заземления при помощи амперметра и вольтметра.

обозначено испытуемое заземление, буквой *C* — вспомогательное заземление и буквой *D* — зонд. Если искомое сопротивление —  $R$ , сила тока в цепи равна  $I$  (по амперметру *A*), а напряжение, отсчитываемое по вольтметру *V*, равно  $E$ , то мы имеем:

$$R = \frac{E}{I}$$

Результаты получаются тем более точными, чем дальше отстоят друг от друга заземления. Для практических испытаний расстояние между зондом и обоими заземлениями, испытуемым и вспомогательным, достаточно принять равным 10 м. В Америке часто ограничиваются меньшими расстояниями, в 7 и даже 5 м. Вольтметр, применяемый для испытания, должен иметь как можно большее сопротивление с тем, чтобы сила тока и падение напряжения в зонде *D* были как можно меньше; только при этом условии искомое сопротивление может быть определено по приведенной простой формуле. В качестве вспомогательного заземления *C* следует пользоваться имеющимся по близости постоянным заземлителем, искусственным или в виде во-

допровода; зондом  $D$  служит железная штанга или бурав, вводимый в землю.

Измерения величины сопротивления тем более соответствуют эксплуатационным условиям, чем ближе сила измерительного тока к силе тока, на которую рассчитано заземление. Поэтому вообще говоря, следует применять для измерений токи довольно значительной силы; в качестве средней величины силы тока можно рекомендовать 5—10 А. Ясно, что для получения тока такой силы сопротивление вспомогательного заземления  $C$  не должно быть слишком велико.

Описанный способ, однако, далеко не всегда является удобным, особенно для частых измерений. Затруднения может вызвать прежде всего необходимость приключения к внешней сети для пропускания токов сравнительно большой силы. Далее, требуется применение трансформатора силового типа, т. е. значительных размеров и веса, а также двух измерительных инструментов. Кроме того, необходимо наличие по близости хорошо заземленных частей для вспомогательного заземления ( $C$  на фиг. 112). Наконец, результат измерения получается путем вычисления, хотя бы и несложного, а не в виде простого отсчета.

В виду указанных затруднений чаще прибегают к другим способам измерения сопротивления, основанным на нулевом методе, при помощи мостика с телефоном или нулевым гальванометром. Вместо присоединения к внешней сети измерительный ток получается от зуммера, питаемого сухими элементами, или от индуктора, составляющего одно целое с прибором. Таким образом получается сравнительно легкий переносный прибор, который позволяет быстро и удобно производить измерения. Однако, в смысле надежности результатов подобные способы должны уступать описанному выше, ибо от зуммера или от индуктора нельзя получить токов сколько-нибудь значительной силы.

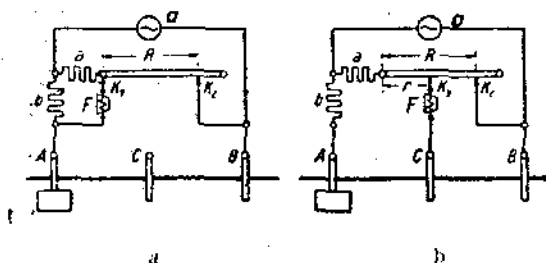
Из многих приборов для измерения сопротивления, действующих по принципу мостика, мы остановимся только на наиболее усовершенствованных, дающих непосредственно искомый отсчет, без предварительного вычисления.

На фиг. 113 показана схема прибора для измерения сопротивления заземления по системе Вихерта (Wiechert), усовершенствов-



ванный проф. Циппом (Zipp). Буквой  $A$  обозначено заземление, сопротивление которого измеряется,  $B$  — вспомогательный заземлитель,  $C$  — зонд; в данном случае сопротивление вспомогательного заземления может быть велико, поэтому в качестве этого заземлителя, так же как и зонда  $C$ , может быть применена железная штанга или бурав, ввинчиваемый в землю. Бурав  $C$  следует поместить на расстоянии около 10 м, и бурав  $B$  — около 20 м от испытуемого заземления. Далее  $D$  представляет источник тока (зуммер или индуктор),  $F$  — нулевой прибор (в данном случае телефон),  $a$  и  $b$  — два постоянных сопротивления и, наконец,  $R$  — переменное эталонное сопротивление

в виде проволоки с двумя скользящими по ней контактами  $K_1$  и  $K_2$ . Для получения величины сопротивления заземления  $A$  требуется произвести два измерения, сначала по схеме фиг. 113а, затем по схеме фиг. 113б. При первом измерении кон-



Фиг. 113. Схема измерения сопротивления заземления по способу Вихерт-Циппа.

такт  $K_1$  отводится на левый конец проволоки, а  $K_2$  устанавливается так, чтобы тока в телефоне  $F$  не было, и его звучание прекратилось. Тогда, обозначая через  $R_a$  — искомое сопротивление заземления  $A$ , и через  $R_b$  — сопротивление заземления  $B$ , получаем по правилу мостика:

$$(R_a + R_b) a = Rb$$

откуда:

$$R_b = \frac{Rb}{a} - R_a$$

При втором измерении контакт  $K_1$  через телефон соединяется с зондом  $C$  и передвигается по проволоке настолько, чтобы звучание в телефоне снова прекратилось (или хотя бы достигло минимума); что касается другого контакта  $K_2$ , то при втором измерении он не передвигается, т. е. величина введенного в цепь

сопротивления  $R$  остается без изменений. Обозначая через  $r$  сопротивление проволоки между левым концом ее и контактом  $K_1$ , имеем для второго измерения, по закону мостика:

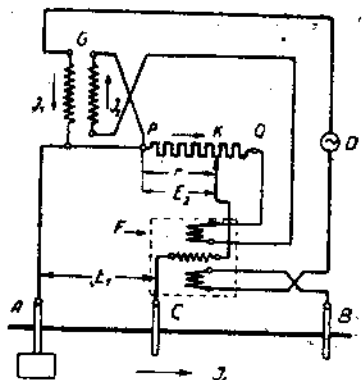
$$R_b(a+r) = (R_a + b)(R-r)$$

Подставляя в это уравнение полученное выше значение  $R_b$ , мы получим после некоторых несложных преобразований следующее простое выражение для искомого сопротивления  $R_a$ :

$$R_a = \frac{b}{a} r$$

Так как величины  $a$  и  $b$  — постоянные, то  $R_a$  пропорционально  $r$ , т. е. сопротивлению проволоки от левого конца до места нахождения контакта  $K_1$  при втором измерении. Повтому, если проволоку (переменное сопротивление) проградуировать, приняв во внимание коэффициент  $\frac{b}{a}$  и снабдить соответствующей шкалой, измерение может быть произведено путем прямого отсчета, без дополнительных вычислений. Некоторым недостатком описанного способа является необходимость производства двух измерений для каждого отсчета.

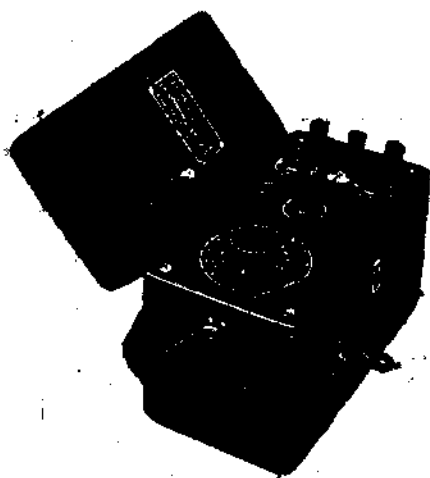
Одним из наиболее усовершенствованных приборов для измерения сопротивления заземления следует признать прибор фирмы Сименс и Гальске (Siemens & Halske), осуществляющий способ измерения, который был предложен Берендом (Behrend). Электрическая схема прибора показана на фиг. 114, а его внешний вид — на фиг. 115. Ток  $I_1$ , генерируемый индуктором  $D$ , пропускается, как и в других способах, через измеряемое заземление  $A$  и вспомогательный заземлитель  $B$ . Переменное же сопротивление  $PQ$ , представляющее собой проволоку со скользящим контактом  $K$ , лежит в цепи другого тока, именно тока  $I_2$ , полу-



Фиг. 114. Схема измерения сопротивления заземления по способу Беренда (прибор Сименс-Гальске).

яющегося как вторичный ток от трансформатора  $G$ , через первичную обмотку которого пропускается ток  $I_1$ . Путем переключения обмоток трансформатора (что достигается поворотом маховичка на приборе) можно изменить коэффициент трансформации и тем значительно расширить пределы измерения; в этом состоит одно из преимуществ прибора.

Первичная и вторичная цепь трансформатора электрически соединены между собой в точке  $P$ . Благодаря этому, как не-



Фиг. 115. Внешний вид прибора фирмы Сименс-Гальске для измерения сопротивления заземлений.

трудно усмотреть из схемы, падение напряжения  $E_1$ , вызываемое прохождением тока  $I_1$  через измеряемое заземление  $A$ , должно, при нулевом показании прибора  $F$ , быть уравновешено падением напряжения  $E_2$  в переменном сопротивлении, между точкой  $P$  и подвижным контактом  $K$ . Поскольку же потенциал зонда  $C$  можно принять равным нулю,  $E_1$  представляет собой напряжение испытываемого заземления относительно земли.

Согласно сказанному, при отсутствии тока в зонде и нулевом приборе, мы должны иметь:  $E_1 + +E_2 = 0$  т. е.  $E_1 = -E_2$ . С другой стороны  $E_1 = I_1 R_a$ , а  $E_2 = I_2 r$ , где  $R_a$  — искомое сопротивление, а  $r$  — сопротивление части проволоки  $PQ$ , включенной в цепь. Поэтому, принимая во внимание только абсолютные величины напряжений и токов, мы получим:

$$R_a = \frac{I_2}{I_1} r$$

Таким образом, градуируя проволоку  $PQ$  в зависимости от коэффициента трансформации  $\frac{I_2}{I_1}$ , можно получить искомую величину посредством простого отсчета. Передвижение контакта  $K$  достигается вращением маховичка со стрелкой, укрепленной над

шкалом с соответствующими делениями (в передней части прибора, фиг. 115).

Особенностью устройства является также нулевой прибор  $F$ , выполненный в виде гальванометра с нулевой точкой по середине его шкалы. Прибор построен по принципу электродинамометра, с двумя неподвижными катушками, обтекаемыми токами  $I_1$  и  $I_2$ , и с подвижной катушкой, включенной между контактом  $K$  и зондом  $C$ . Благодаря такому устройству, напоминающему устройство ваттметра, стрелка прибора отклоняется вправо или влево от нулевой точки, в зависимости от того, включается ли слишком большое или слишком малое сопротивление во вторичную цепь при передвижении контакта  $K$ . Таким образом, можно получить резко выраженное нулевое положение инструмента, как при измерениях постоянного тока, что чрезвычайно повышает чувствительность прибора, а вместе с тем и точность измерений, по сравнению с обычными гальванометрами, отклоняющимися при измерении переменного тока только в одну сторону.

Нормальное число оборотов рукоятки индуктора — около 2 в секунду, что дает ток частотой в 35. Однако и при других скоростях вращения рукоятки и других частотах (начиная примерно от 10) степень точности измерений не изменяется.

Кроме указанных способов измерения сопротивления заземления иногда пользуются так называемым способом трех точек или трех земель. Для применения этого способа необходимо иметь кроме испытуемого заземления еще два заземления, причем все три заземления располагаются на одинаковом расстоянии друг от друга (от 5 до 10 м), образуя три вершины равностороннего треугольника. Испытание состоит из трех измерений, причем ток пропускается от источника через каждую пару заземлений. Измеряя каждый раз приложенное напряжение  $E$  и силу тока в цепи  $I$ , мы находим полное сопротивление  $R = \frac{E}{I}$ , равное сумме сопротивлений обоих включенных заземлений. Таким образом, обозначая сопротивление первого заземления через  $R_1$ , второго —  $R_2$ , третьего —  $R_3$ , суммы первого и второго —  $R_{1-2}$ , второго и третьего —  $R_{2-3}$ , и первого и третьего —  $R_{1-3}$ , мы получаем три уравнения с тремя известными величинами  $R_{1-2}$ ,

$R_{2-3}$  и  $R_{1-3}$  (определяемыми посредством измерений) и с тремя искомыми величинами  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ :

$$R_{1-2} = R_1 + R_2; \quad R_{2-3} = R_2 + R_3; \quad R_{1-3} = R_1 + R_3$$

Решая эти уравнения, мы находим:

$$R_1 = \frac{R_{1-2} + R_{1-3} - R_{2-3}}{2}$$

$$R_2 = \frac{R_{1-2} + R_{2-3} - R_{1-3}}{2}$$

$$R_3 = \frac{R_{1-3} + R_{2-3} - R_{1-2}}{2}$$

Как видим, применение этого метода связано с более или менее сложными вычислениями, а потому он является гораздо менее удобным, чем описанные выше. Кроме того, для получения надежных результатов все три заземления, испытываемое и оба вспомогательных, должны иметь сопротивления, сравнительно мало отличающиеся друг от друга. Этот метод применяется главным образом для испытания заземления, состоящего из нескольких заземлителей (труб или пластин). При каждом измерении сопротивления одного из заземлителей, другие могут служить в качестве вспомогательных заземлений, а затем путем вычислений находят все сопротивления отдельных заземлителей  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и т. д. Общее сопротивление всего заземления  $R$  определяется из формулы:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$$

При таком испытании расстояние между заземлениями будет меньше указанных выше величин, ибо заземлители, составляющие часть одного общего заземления, располагаются на расстоянии 2—3 м друг от друга. Однако, на общий результат испытания это обстоятельство в данном случае не может иметь большого влияния.

Помимо указанных периодических измерений необходимо установить регулярный контроль над защитными заземлениями и занулениями, осуществляемый посредством простых испытаний качественного порядка, которые можно проделывать весьма часто.

Для указанной цели может служить, напр., электрическая лампа, включаемая между рабочим проводом и заземленным или зануленным корпусом. При более или менее исправном состоянии заземления лампа должна гореть полным накалом, в противном случае, напр. при каком либо расстройстве в заземляющей или зануляющей проводке, лампа будет гореть тускло и, в крайнем случае, даже совсем погаснет. Этот способ применим лишь для сетей с заземленными нейтральными. Для сетей, изолированных от земли, следует применять особые указатели заземлений, о которых упоминалось выше (раздел „с“ настоящей главы).

## ГЛАВА VIII.

### ПЕРЕНОСНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА.

#### а. Опасности, связанные с применением переносных устройств.

Рассмотрение переносных электрических устройств выделено нами в особую главу в связи с тем весьма большим значением, которое эти устройства имеют, как источник электротравматизма. Одни только переносные ручные лампы дают большое число несчастных случаев, и притом очень тяжелых. Так, по данным приведенным в главе II, таблица XVI, около 10% всех несчастных случаев от электричества в РСФСР за 1923-1925 годы падает на переносные лампы. В последние годы зарегистрирован целый ряд смертных несчастных случаев, связанных с применением ручных ламп, обративших всеобщее внимание на ту большую опасность, которую представляют лампы распространенных у нас типов и конструкций.

Однако, имеются и многие другие переносные электрические устройства, представляющие при обращении с ними опасности того же рода, как и ручные лампы. К таким устройствам относятся прежде всего промышленные электрические приборы и инструменты, как-то: ручные электрические сверлилки, ручные шлифовальные и полировальные машинки, ручные пилы и фрезы, электрические отвертки, электрические молотки, буры, метчики и пр. Далее имеется много мелких электромоторных переносных устройств, применяющихся и в промышленности и в домашнем быту, например, пылесосы, переносные вентиляторы, приводы переносных швейных, прачешных и кухонных машин. Большой отдел составляют переносные тепловые приборы, как-то: переносные печи, нагревательные плитки, кипяtilьники, чайники, утюги, электрические подушки и грелки, паяльники

и др. Наконец, следует упомянуть и о таких устройствах, как зубоврачебные бормашины, машинки для стрижки и сушки волос, электрические зажигалки, ловушки (для уничтожения насекомых), игрушки.

В настоящее время все перечисленные приборы и устройства значительно уступают ручным лампам, по количеству вызываемых ими несчастных случаев, что объясняется главным образом их сравнительно небольшим распространением у нас. Из электрических инструментов имеет значение в нашей промышленности пока лишь одна сверлилка; что касается бытовых приборов, как моторных, так и тепловых, то они сейчас только начинают распространяться. Нет сомнения, однако, что по мере развития электрификации промышленности и домашнего хозяйства, разного рода электрические переносные приборы приобретут громадное значение, что мы и видим на примере Западной Европы, и в особенности Америки. В связи с этим развитием придется считаться со значительным увеличением электротравматизма при обращении с приборами, как это имеет место в Америке, где наряду с исключительным распространением электроприборов широкого пользования мы наблюдаем также и сравнительно высокие цифры несчастных случаев от электричества. Для ослабления этой опасности необходимо принять с самого начала все меры к тому, чтобы выпускаемые в обращение приборы вполне удовлетворяли требованиям надежности и безопасности. Это является необходимым условием для широкого развития так называемой „бытовой нагрузки“, запроектированного нашими электроснабжающими организациями.

Помимо опасностей, свойственных всем электрическим приборам и установкам, переносные устройства имеют и свои специфические опасности, отличающие их от прочих устройств. Сюда относится гораздо большая вероятность, по сравнению с неподвижно установленными приборами, всякого рода повреждений, сильных сотрясений и толчков, имеющих последствием нарушение изоляции, замыкание на корпус и т. д. В особенности страдают гибкие провода переносных приборов, изолирующая оболочка которых подвержена перетиранию и другим механическим повреждениям в гораздо большей степени, нежели изоляция



неподвижных проводов. Вторым, не менее важным условием работы переносных устройств, увеличивающим их опасность, является необходимость тесного соприкосновения с ними со стороны пользующихся ими людей. Действительно, самые условия работы ручных ламп, ручных инструментов, пылесосов и др., требуют длительного и плотного обхвата их корпуса руками, в отличие от более или менее редких и легких прикосновений, которые имеют место при обслуживании стационарных электрических устройств. Другие переносные устройства, напр., домашние нагревательные приборы, стоячие лампы, переносные вентиляторы и т. д. требуют хотя и не длительных, но также частых прикосновений, необходимых при каждом перемещении прибора. Указанных двух условий вполне достаточно, чтобы значительно повысить степень опасности переносных устройств по сравнению со стационарными, при прочих равных условиях.

Из изложенного ясно, насколько важно для переносных устройств строгое выполнение правил и мер безопасности, изложенных в предыдущих главах. В особенности это относится к мерам защиты от прикосновения к токоведущим частям. В применении к переносным устройствам не приходится, конечно, говорить о „случайных прикосновениях“; по существу дела здесь требуется полная защита от каких бы то ни было прикосновений к токоведущим частям, независимо от величины напряжения и рода помещения (сухое, сырое, электромашинное и т. д.). Исключение может быть допущено лишь для устройств, работающих на очень низком, „безопасном“ напряжении; эти установки будут рассмотрены в конце настоящей главы.

Меры защиты от прикосновения к токоведущим частям будут рассмотрены нами сначала для ручных переносных ламп, а затем, вкратце, для других переносных устройств. Затем будет рассмотрен вопрос о заземлении переносных устройств, а также о проводах для переносных приборов.

## б. Ручные и переносные лампы.

1. Правила безопасности для ручных ламп. Ручные лампы могут применяться только на низком напряжении. Исключения возможны лишь для электромашинных помещений, в

которых допускаются лампы для постоянного тока до 1000 V. При переменном токе ручные лампы высокого напряжения вообще не допускаются, ввиду легкой возможности трансформирования напряжения.

В помещениях, особо опасных с точки зрения поражения электрическим током, напр., в помещениях особо сырых и в помещениях с едкими парами, для ручных ламп не может быть допущено также напряжение 380/220 V с заземленной нейтралью. В подобных помещениях вообще рекомендуется применять для ручных ламп пониженное напряжение, не выше 24 V см. раздел f настоящей главы).

Имея в виду легкую возможность повреждения изоляции в ручной лампе, необходимо, чтобы была устранена опасность прикосновения к частям, находящимся под напряжением, даже в случае порчи изоляции токоведущих частей патрона и проводников и замыкания их на корпус. Эта основная задача может быть выполнена только при условии соблюдения следующих правил:

1) Корпус и рукоятка ручной лампы должны состоять сплошь из прочного изолирующего материала (пропитанное дерево, бакелит, эбонит и пр.), хорошо сопротивляющегося разрушительному действию сырости и высокой температуры. Значительная механическая прочность необходима для того, чтобы лампа могла выдерживать без вреда для себя толчки и сотрясения, неизбежные по условиям ее применения; в противном случае, при повреждении корпуса могут обнажиться находящиеся внутри токоведущие части. Такое же значение имеет и стойкость материала в отношении атмосферных воздействий, ибо лампы нередко применяются для работы в сырых и жарких помещениях, в котельных, при обслуживании печей и т. д. Весьма важно также требование о том, чтобы рукоятка состояла целиком из изолирующего материала; рукоятка, насаженная на металлическую ось, недопустима даже в том случае, если ось не проходит насквозь, ибо при поломке рукоятки металлическая ось могла бы быть причиной несчастного случая.

2) Токоведущие части лампы, а равно металлический корпус патрона, должны быть недоступны для прикосновения, для

чего они должны быть защищены достаточно прочным покрытием. В качестве такого покрытия служит обыкновенно металлическая сетка, предназначенная одновременно для защиты самой лампы от механических повреждений, а также стеклянный колпак, необходимый в тех случаях, когда требуется герметическое закрытие внутренних частей ламп (помещения очень сырые, с едкими парами или опасные по отношению к взрывам). В случае, если колпака нет, а сетка недостаточно густая, так что возможно просовывание внутрь пальцев, корпус патрона либо сам должен быть сделан из изолирующего материала, либо же должен быть совершенно покрыт изолирующей оболочкой, с тем, чтобы металлические части не были доступны для прикосновения через сетку. Защитная сетка должна быть так укреплена, чтобы ее снятие было возможно лишь при помощи специальных инструментов или ключей. Таким образом должна быть устранена возможность доступа внутрь сетки, напр. для смены перегоревшей лампы или ремонта, со стороны лиц, пользующихся лампой; неисправная или перегоревшая лампа должна быть немедленно изъята из обращения и возвращена в склад для последующего ремонта.

3) Металлическая защитная сетка, а также крючок или дужка для подвешивания лампы должны укрепляться на изолирующих частях лампы, именно на ее корпусе или рукоятке. Сетка должна быть хорошо изолирована от корпуса патрона, ибо при частом соприкосновении потребителя с сеткой, электрическое соединение последней с корпусом представило бы большую опасность в случае замыкания токоведущих частей патрона на корпус. Так как однополюсное замыкание на корпус не влияет на работу лампы, подобное повреждение внутри патрона обыкновенно остается долгое время незамеченным, вплоть до возникновения несчастного случая. При таких именно обстоятельствах произошло большое число несчастных случаев со смертельным исходом.

4) Места присоединения проводов не должны испытывать натяжения. Это правило, общее для всех переносных электрических устройств, а также для штепсельных вилок, блочных подвесов и т. д., необходимо для предотвращения возможности

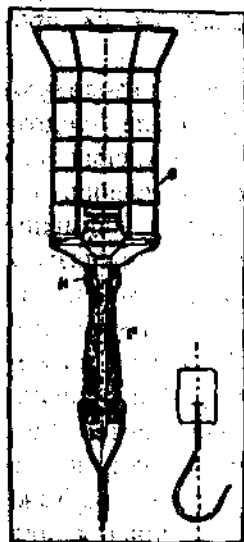
ослабления контактов внутри патрона и сопряженной с этим опасности коротких замыканий и замыканий на корпус. Для разгрузки мест присоединения проводов от механических напряжений применяются обыкновенно упорные утолщения на проводах.

5) Место ввода проводов в лампу, обычно через изолирующую рукоятку, должно быть так устроено, чтобы была предотвращена возможность излома провода или повреждения его изоляции даже при недостаточно осторожном обращении. На это обстоятельство должно быть обращено большое внимание потому, что в месте ввода провода легче всего повреждаются вследствие многократных изгибов, а с другой стороны именно здесь, около рукоятки, провода подвержены в наибольшей степени прикосновениям. Для предотвращения указанных повреждений должны применяться гибкие провода с особенно прочной изоляцией, а кроме того применяются и специальные меры в виде закруглений большого радиуса, гибких манжет и пр.

6) Патроны с ключом в ручных лампах не допускаются. Каждая лампа должна иметь отдельный выключатель, причем при низком напряжении допускается устройство выключателя на самом корпусе или рукоятке лампы. В этом случае выключатель должен быть вделан в корпус или рукоятку лампы таким образом, чтобы его части (головка, ключ), во избежание механического повреждения при неосторожном обращении с лампой, не выступали наружу. Однако, в случае применения ламп в помещениях, представляющих особую опасность с точки зрения поражения электрическим током, например в особо сырых помещениях и в помещениях с едкими парами, необходимо избегать устройства выключателя на корпусе или рукоятке, ибо это нарушает полное, герметическое закрытие всех внутренних частей лампы.

7) Конструкция патрона ручной лампы должна быть такова, чтобы при замене лампы исключалась возможность прикосновения к токоведущим частям. Как было изложено в главе VI, раздел е, в Германии указанному требованию в настоящее время удовлетворяют патроны всех вообще ламп, а не только ручных. Безопасные патроны, к сожалению, у нас пока не изго-

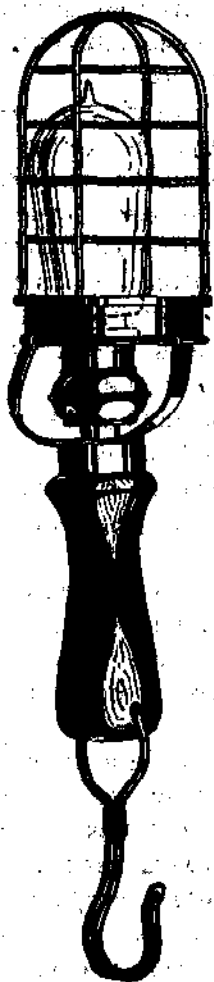
овляются, а потому приходится применять и для ручных ламп патроны обычного типа. Для этих патронов необходимо, однако, строго соблюдать правило, относящееся ко всем лампам, о применении защитных изолирующих колец достаточной высоты.



Фиг. 116. Ручная лампа, не удовлетворяющая правилам безопасности.

2. Конструкции ручных ламп. Нужно сказать, что применяемые у нас в настоящее время ручные переносные лампы в громадном большинстве случаев совершенно не удовлетворяют приведенным выше требованиям. Лампа обычной, широко распространенной конструкции изображена на фиг. 116; на фиг. 117 показан внешний вид другой лампы подобного же устройства. В рукоятку из простого дерева (обычно береза или клен) ввертывается медный ниппель, к которому прикрепляется основание защитной сетки в виде железной тарелки; на ниппель навинчивается электрический патрон лампы. В других конструкциях тарелка с сеткой и патрон насаживаются на общую железную трубку, проходящую сквозь рукоятку. В обеих конструкциях имеется постоянное электрическое соединение сетки и корпуса патрона, вопреки основному правилу безопасности, изложенному выше.

Далее, железная проволочная сетка укрепляется на винтах и легко снимается со своего места. Кроме того, часть сетки нередко делается откидывающейся, что позволяет ввести внутрь лампы и вернуть ее в патрон. Таким образом для рабочего,



Фиг. 117. Внешний вид ручной лампы плохой конструкции.

пользующегося лампой, становится возможной смена перегоревшей или разбитой лампы, а также попытка ремонта поврежденного патрона, что иногда приводит к тяжелым несчастным случаям.

Питающие лампу провода проходят по прямому каналу внутри рукоятки и укрепляются непосредственно в зажимах патрона, так что на места присоединения проводов передаются механические усилия от натяжения проводов, напр. при переноске лампы, при дергании за провод и т. п. Вследствие этого контакты легко ослабевают, и голые концы проводов приходят в соприкосновение с металлическим корпусом патрона, электрически соединенного с защитной сеткой, которая таким образом оказывается под напряжением.

Тот же результат может получиться при перетирании изоляции проводов в месте их прохождения через медный ниппель. Канал ниппеля узок, провода в нем лежат плотно, и вследствие чередующихся натяжения и ослабления шнура при переноске лампы, та часть изоляции проводов, которая приходится против острых краев ниппеля, повреждается, отчего ниппель и металлически соединенная с ним сетка оказываются под напряжением. Еще хуже обстоит дело в случае устройства сквозной железной трубки внутри рукоятки, ибо перетирание и повреждение изоляции в месте входа проводов в трубку происходит обыкновенно довольно быстро; железная же трубка, как уже оказано, электрически соединена с защитной сеткой.

Для подвешивания лампы служит крючок из железной проволоки, укрепленный на рукоятке лампы посредством двух загнутых концов проволоки. При незначительной толщине стенки рукоятки (5—8 мм) концы проволоки доходят до внутреннего канала с электрическими проводами; вследствие этого возможны проколы острыми концами проволоки изоляции проводов и появление напряжения на крючке.

Наконец, защитное фарфоровое кольцо на патроне слишком низко (фиг. 116); вследствие этого цоколь электрической лампы, ввернутой до конца в патрон, выступает за край кольца на высоту 10—13 мм и, следовательно, легко доступен прикосновению, что может вызвать поражение током.

Как видно из предыдущего, описанные лампы обычной конструкции не удовлетворяет ни одному из приведенных выше обязательных правил безопасности (за исключением правила о применении патрона без ключа). Если принять во внимание, что подобные лампы широко применяются в помещениях сырых, наполненных парами, в присутствии больших металлических заземленных предметов (котлы, части машин и т. д.), то станет вполне понятным, почему ручные лампы фигурируют в качестве одной из главных причин тяжелых несчастных случаев от электричества, оканчивающихся нередко смертью.

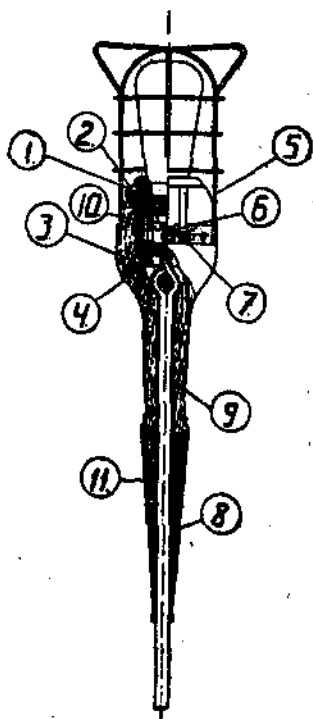
Необходимо выступить со всей решительностью против применения подобных ламп, конструкция которых противоречит основным условиям безопасности. Такие лампы могут быть допущены лишь при очень низком, „безопасном“ напряжении, не выше 40 V, о чем будет подробнее сказано дальше, в конце настоящей главы. Во всех же остальных случаях необходимо немедленное изъятие из обращения ламп, не удовлетворяющих принятым у нас правилам безопасности. Соображение о том, что впредь до появления у нас на рынке безопасных ламп, приходится допускать лампы заведомо негодные, следует решительно отклонить, ибо поскольку ручные лампы до сих пор не являются предметом массового производства, вполне возможно наладить на местах изготовление ламп приемлемой конструкции. Если же это встречает затруднения, то всегда можно перейти на безопасное напряжение, ибо соответствующие трансформаторы у нас изготавливаются (см. ниже).

Ручные переносные лампы, удовлетворяющие всем правилам безопасности, изображены на фиг. 118, 119 и 120. Фиг. 118 изображает лампу, сконструированную в Государственном Научном Институте охраны труда в Москве инженерами С. Я. Белинским и М. М. Томаровым; фиг. 119 и 120 изображают лампы германских заводов.

Корпус лампы инж. С. Я. Белинского и М. М. Томарова сконструирован из дерева и эбонита. Дерево — красный бук, пропитываемый маслом с парафином, для придания влагостойкости и предохранения от растрескивания. В описываемой

ваемой конструкции дерево играет главным образом роль строительного материала, представляя собой футляр 4, окружающий основную изолирующую часть лампы—эбонитовый стакан 1; на деревянной же части корпуса укрепляется защитная сетка 5. Нормальный ламповый патрон вставляется внутрь эбонитового стакана, состоящего из двух частей, свинчиваемых между собой. Линия разъема стакана находится ниже вставляемого патрона, так что последний находится весь внутри верхней, главной части. Верхняя часть стакана 1 снабжена воротником и сделана такой высоты, чтобы при ввертывании лампочки ее цоколь полностью погружался в стакан, оставляя зазор между воротником и колбой не более 2—3 мм. Таким образом, при ввинчивании в патрон лампы все токоведущие части лампы и патрона полностью и плотно закрыты. Эбонитовая опорная шайба, представляющая нижнюю часть стакана, укрепляется на деревянном корпусе шурупами, доступными только из внутренней полости корпуса.

Защитная сетка может быть снята с корпуса лишь при помощи специального ключа, подходящего к скрытому в корпусе замку, который запирает сетку. Ключ от лампы должен храниться на складе ламп или у электромонтера, но ни в коем случае не должен выдаваться на руки рабочему вместе с лампой. Сама сетка устроена так, что дает достаточную опору для лампы, поставленной в вертикальном положении, что особенно удобно при работах по очистке котлов и резервуаров, где нет выступающих частей, на которые можно было бы подвесить лампу за крючок. На сетке укреплен рефлектор для защиты глаз от слепящего действия света.



Фиг. 118. Безопасная ручная лампа конструкции С. Я. Белинского и М. М. Томарова.



Для освобождения мест присоединения проводов к патрону применено обычное устройство в виде утолщения провода, помещенного в расширенной верхней части канала 9, который проходит внутри рукоятки. При входе в это уширение канала двухжильный провод, до тех пор шедший в общей оплетке, раздваивается на две отдельные жилы, между которыми прокладывается свернутая слоями изоляционная лента таким образом, чтобы образовалось утолщение, плотно опирающееся на стенки канала. Сейчас же после утолщения обе жилы провода вновь соединяются и связываются вместе. Все натяжения провода воспринимаются уширением провода — „кулаком“, и не могут передаваться на зажимы патрона.

Для предохранения от излома проводов, а также повреждения и перетирания изоляции, применено особое устройство в виде кожаной манжеты или конуса 8, натягиваемого с одной стороны на провод, а с другой — на рукоятку; конус закрепляется на рукоятке вязкой, для чего на конце рукоятки предусмотрено специальное утолщение закругленной формы. Между кожаным конусом и проводом закладывается листовой асбест 11 таким образом, что образуется плотное тело. Вследствие такого устройства провод у места ввода в рукоятку может изгибаться только по большому радиусу, что устраняет возможность излома и повреждения изоляции. Кроме того, асбестовая прокладка предохраняет руку рабочего от ожога в случае короткого замыкания обеих жил провода около ввода в рукоятку.

Для испытания, согласно „Норм для конструирования и испытания установочного материала“, § 48, лампа была предварительно помещена в закрытый сосуд, на дно которого была налита вода на высоту 25 мм; лампа оставалась в сосуде в течение 22 часов, причем температура внутри сосуда поддерживалась в пределах 25—30° С. Кроме того за час до самого испытания лампа была облита водой. Несмотря на такую подготовку, лампа выдержала успешно испытание на пробой при напряжении до 2500 В<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Дальнейшие сведения о безопасных ручных лампах русских конструкций и об их испытании можно найти в статье инж. С. Я. Белинского „Ручная переносная электрическая лампа“, опубликованной в Сборнике „Промышленный Травматизм и борьба с ним“ (Труды и Материалы Государственного Научного Института Охраны Труда в Москве, 1930).

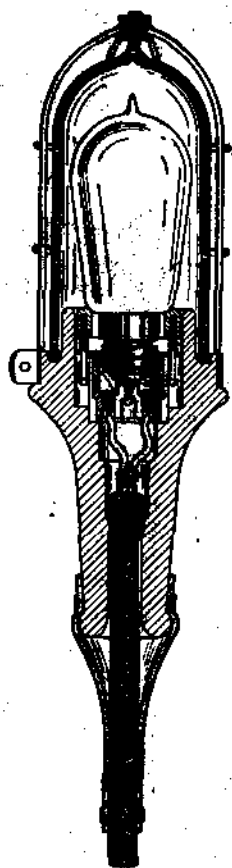
Лампа, изображенная на фиг. 119, отличается от описанной лампы главным образом применением стеклянного колпака, установленного между колбой и защитной сеткой. Колпак герметически закрывает все внутренние части лампы и делает ее вполне пригодной для применения в помещениях сырых, пыльных, насыщенных парами и т. д. Колпак сделан из толстого прочного стекла, что очень важно в виду толчков и сотрясений, которым подвергаются ручные лампы.

Далее, в конструкции фиг. 119 применено пружинное укрепление защитного изолирующего кольца на патроне, в целях полного закрытия цоколя лампы не только в ее ввернутом положении, но и при самом ввинчивании и вывинчивании. Подобные патроны описаны в главе VI, в разделе е.

На фиг. 120 показана ручная лампа с выключателем германской фирмы Ганнеман (Gebr. Hanemann, Düren), в собранном и разобранном виде. Выключатель — двухкнопочный, с кнопками для включения и выключения, расположен на рукоятке лампы таким образом, что управление им вполне удобно производить той же рукой, которая держит лампу.

Согласно правилам безопасности, выключатель 4 утоплен целиком в специальной выемке изолирующей рукоятки или корпуса 1, и таким образом надежно предохранен от повреждений. Патрон 6 окружен изолирующим стаканом 2 с высоким воротником. Сетка 8 навинчивается на рукоятку и закрепляется кольцом 9, действующим в качестве контр-гайки. Лампа снабжена стеклянным колпаком 11, причем для уплотнения под колпак подкладываются резиновые кольца 10 и 12.

3. Применение ручных ламп для освещения станков. Лампы вышеописанного типа очень часто применяются для



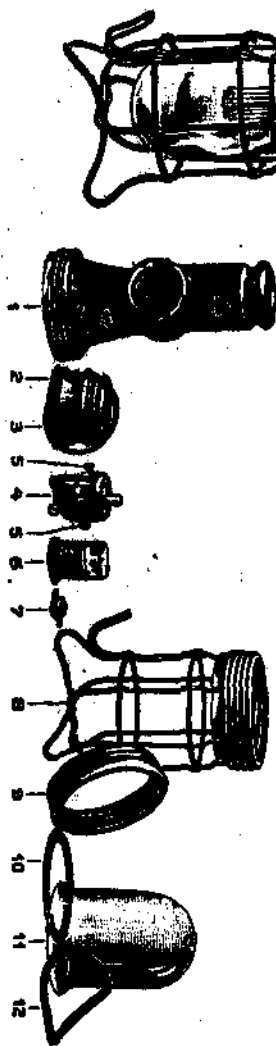
Фиг. 119. Безопасная ручная лампа.

освещения рабочих мест у станков и машин, в особенности металлообрабатывающих, причем лампы обыкновенно устанавливаются

при помощи особых подставок или путем подвешивания за крючек на выступающие части машин. В зависимости

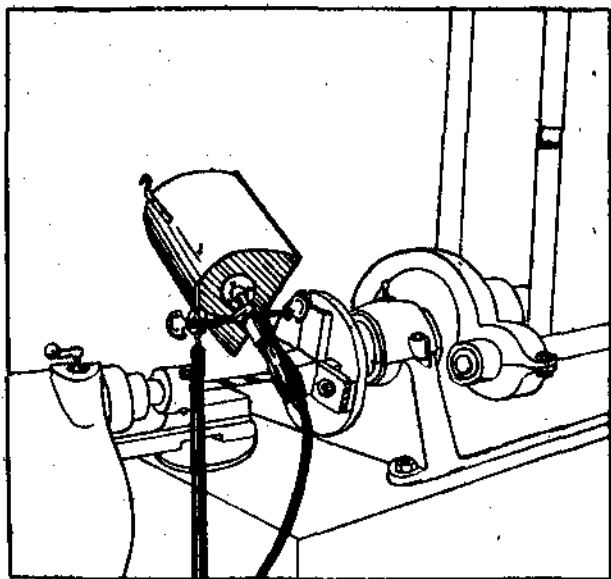
от хода работы приходится часто менять место установки лампы, а иногда и пользоваться ими вручную, напр., при осмотре и смазке нижних, мало доступных частей машин и станков. Все такие лампы, хотя бы и они и не имели ясно выраженной рукоятки и не могли потому называться „ручными“, должны полностью удовлетворять всем приведенным выше правилам и требованиям безопасности в отношении защитной сетки, устройства корпуса, патрона, укрепления и ввода проводов и т. д. Необходимо, кроме того, озаботиться о надлежащем устройстве подставок для ламп, с тем, чтобы лампы были прочно и надежно укреплены, чтобы внутренние металлические части лампы (патроны) были хорошо изолированы от подставки и чтобы при установке лампы подводящие провода не испытывали натяжения.

Фиг. 120. Безопасная ручная лампа с выключателем, в собранном и разобранном виде.



На фиг. 121 показано недопустимое устройство лампы для освещения станка, с укреплением патрона непосредственно на металлических частях подставки, с прямым соединением металлического рефлектора и патрона, и т. д. С другой стороны, на фиг. 122 показано применение для освещения станка лампы, удовлетворяющей правилам безопасности. С поперечной подставки

соприкасается лишь изолирующий корпус лампы, все же металлические части лампы находятся на значительном расстоянии от места ее укрепления. Подставка сконструирована так, чтобы можно было быстро и легко менять положение лампы в вертикальном и горизонтальном положении, а также угол ее наклона. Это имеет немалое значение с точки зрения безопасности, ибо устраняет необходимость частого снятия лампы со своего места



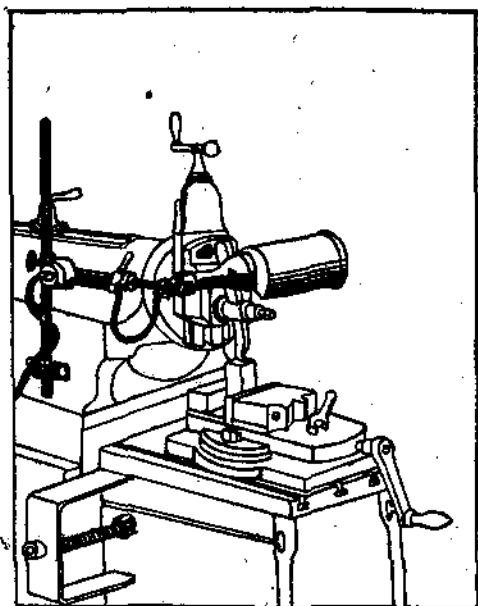
Фиг. 121. Лампа для освещения станка, не удовлетворяющая правилам безопасности.

и пользования ею вручную. В любом положении лампа может быть прочно укреплена, причем подводящий провод освобожден от натяжения посредством системы зажимов.

Следует подчеркнуть, что даже при устройстве ручных переносных ламп, удовлетворяющих всем указанным выше правилам, они все же значительно уступают в отношении безопасности неподвижно установленным лампам. Поэтому следует всячески бороться с применением ручных ламп там, где можно без осо-

бых затруднений обойтись неподвижными лампами. В особенности это относится к помещениям с повышенной опасностью (сырых, пыльных, с едкими парами и пр.), в которых применение ручных переносных ламп следует допускать лишь в случаях действительной необходимости.

4. Переносные настольные лампы. Кроме ламп рассмотренного типа в мастерских широко распространены также переносные настольные лампы для освещения верстаков и других рабочих столов. Соприкосновение с такой лампой происходит обыкновенно только при ее перемещении, а не при ее использовании во время работы.



Фиг. 122. Безопасная лампа для освещения станка.

В связи с этим могут быть несколько понижены требования безопасности, предъявляемые к подобным лампам. В частности допускается применение ламп без защитных сеток и глухих стеклянных колпаков, однако при обязательном условии тщательного закрытия всех токоведущих частей патрона и лампы механически прочными изолирующими оболочками. Закрытие цоколя лампы должно быть предусмотрено не только в рабочем, ввернутом положении лампы, но и в первый момент ее ввинчивания, о чем подробно говорилось в главе VI, разделе е. При отсутствии безопасных патронов (с изолирующими оболочками, с выдвижными защитными кольцами и т. п.), следует рекомендовать применение защитных сеток и для настольных ламп, применяемых в мастерских, в целях затруднения доступа к внутренним токоведущим частям лампы. Необходимо далее соблюдать

руководствуясь этими требованиями, следует рекомендовать применение защитных сеток и для настольных ламп, применяемых в мастерских, в целях затруднения доступа к внутренним токоведущим частям лампы. Необходимо далее соблюдать

правило о разгрузке мест присоединения проводов от механических усилий, а также правило о защите проводов от повреждений в месте ввода проводов внутрь осветительных арматур. Для выполнения последнего правила необходимо применение вводных изолирующих втулок с закругленными кромками; втулки должны быть вполне прочно укреплены в отверстиях арматур, с тем, чтобы они не могли сойти со своего места и обнажить острые края арматуры. Правила о наименьших диаметрах вводных отверстий (см. глава VI, конец раздела е) должны быть строго соблюдаемы.

Помимо промышленных предприятий настольные лампы имеют широкое применение в домашнем быту. Поскольку внешние условия работы (степень влажности, наличие пыли, опасность механических повреждений и т. д.) для домашних настольных ламп обыкновенно гораздо благоприятнее, нежели для ламп, употребляемых в мастерских, возможно применение в домашних лампах патронов обычного типа, без особых защитных покрытий или изолирующих оболочек. В противном случае применение настольных ламп в домашнем быту было бы сильно затруднено. Что же касается защиты проводов от натяжений и механических повреждений (излом провода, перетирание изоляции), то соответствующие меры (разгрузка места присоединения, применение вводной втулки, соблюдение минимального диаметра отверстия) должны быть соблюдаемы полностью, ибо передача напряжения от поврежденного провода на металлический корпус лампы грозит серьезной опасностью для лиц, пользующихся лампой. В случае многоламповых настольных арматур, ответвления и присоединения проводов могут быть допущены внутри арматур <sup>1)</sup> только при помощи особых зажимов, прочно установленных на теплостойких и сыростостойких изолирующих основаниях, и кроме того, надежно защищенных от случайного прикосновения. Расстояние токоведущих частей зажимов от стенок корпуса лампы должно быть не менее 3 мм.

<sup>1)</sup> Это относится только к низкому напряжению, которое единственно и применяется в домашнем быту.

## с. Переносные электрические приборы.

1. Промышленные электрические приборы. Среди многочисленных и разнообразных электрических приборов наибольшее значение имеют в промышленности электрические сверлилки, шлифовальные круги, буры, отвертки, пилы и тому подобные инструменты, приводимые во вращение мелкими электродвигателями. При работе с такими приборами они либо удерживаются в руках, либо же, при больших размерах, подвешиваются или опираются на колонки и подставки. В том и другом случае рабочему приходится быть в длительном и тесном соприкосновении с приборами, будучи при этом в напряженном положении. При сборке машин и металлических конструкций, в котлостроении, судостроении и т. д., подобная работа происходит вблизи металлических, хорошо заземленных предметов, нередко в сырых помещениях, иногда на открытом воздухе. Естественно, что при таких условиях создаются благоприятные условия для поражения электрическим током, если наружные части приборов оказываются под напряжением вследствие неправильной конструкции, повреждения изоляции токоведущих частей и других причин. Основное правило безопасности для ручных ламп, именно применение корпуса из изолирующего материала, в данном случае встречает серьезные затруднения, в виду тех значительных механических усилий, которым подвергаются корпуса и станины электрических инструментов. С другой стороны, применение для приборов очень низкого напряжения, ниже 40 V, также нерационально, ибо при тех сравнительно больших мощностях (до 3 kW и выше), которыми отличаются, например, электрические сверлилки, пришлось бы при очень низком напряжении применять весьма тяжелые провода большого сечения.

При таких условиях все внимание с точки зрения техники безопасности должно быть обращено на полное закрытие токоведущих частей внутри корпуса; части, требующие частого осмотра и ремонта, например, коллектор и щетки в электрических приборах постоянного тока, должны закрываться крышками, составляющими неотъемлемую часть всей конструкции. Не менее,

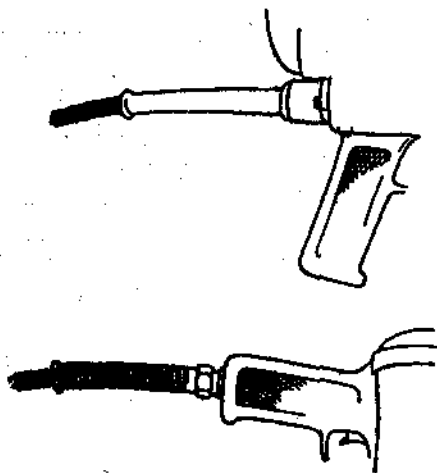
если не более важным требованием является особенно надежная изоляция токоведущих частей, хорошо противостоящая как неблагоприятным атмосферным, так в особенности механическим воздействиям, сильным толчкам и сотрясениям, которыми неизбежно сопровождается работа электрических инструментов. Однако, как бы солидно ни была выполнена изоляция токоведущих частей, нельзя быть гарантированным от электрического замыкания на корпус, имея в виду небольшие размеры и малые расстояния между токоведущими частями и стенками корпуса, которыми по необходимости должны отличаться электрические инструменты. Поэтому, одним из важнейших требований безопасности в отношении электрических инструментов с металлическими корпусами является надежное заземление корпуса, в целях предохранения от появления на корпусе напряжения, опасного для жизни рабочего. Защитному заземлению или занулению подлежат промышленные электрические инструменты с металлическими корпусами для всех напряжений выше 40 V, независимо от рода помещений и внешних условий работы инструментов. Вместо заземления или зануления возможно применение защитного выключателя, отключающего от сети прибор, как только появится на корпусе напряжение относительно земли, превышающее 40 V (см. главу VII). О заземлении переносных приборов будет подробнее сказано дальше, в следующем разделе д настоящей главы.

Из других мер безопасности для электрических инструментов следует упомянуть о приспособлениях для защиты проводов от повреждений и изломов в месте ввода в прибор. Для этого применяются гибкие рукава или манжеты, позволяющие проводам изгибаться лишь по большому радиусу и предохраняющие изоляцию проводов от перетирания или повреждения об острые края станины. Примеры подобных приспособлений изображены на фиг. 123; сверху на этой фигуре показан рукав из толстой резины (формованной), снизу — пружинный стальной рукав; как тот, так и другой рукав снабжены на концах бортиком с закругленными краями. Внешний вид электрического шнура с подобным же рукавом для ввода провода показан на фиг. 124.



В отношении применяемого для электрических инструментов напряжения следует требовать, чтобы при переменном токе высокое напряжение (свыше 250 V относительно земли) для них не применялось. Такое требование содержится в Германских правилах, и оно должно быть введено также и у нас. Что же касается постоянного тока, то Германские правила допускают для электрических инструментов (сверлилок, шлифовальных кругов и др.), при мощности свыше 200 W, напряжение в 440

и 550 V, очевидно в виду меньшей степени опасности постоянного тока, а также в виду затруднительности применения особого напряжения для электрических приборов, более низкого, чем общее напряжение в мастерской. Нужно, кроме того указать, что при напряжениях выше 150 V относительно земли, в частности при напряжении 380/220 V с заземленной нейтралью, следует всячески избегать применения ручных электрических инструментов и переносных электродвигателей в помещениях, представляющих особую



Фиг. 123. Гибкие рукава для ввода проводов.

опасность с точки зрения поражения электрическим током, напр., в помещениях особо сырых и в помещениях с едкими парами. Согласно одобренным ЦЭС'ом Временным Руководящим Указаниям для устройства электротехнических установок трехфазного тока напряжением 380/220 V с заземленной нейтралью, применение ручных электрических инструментов и переносных электродвигателей допускается в указанных условиях лишь в исключительных случаях и под контролем квалифицированного персонала.

2. Электрические приборы широкого пользования. В отличие от рассмотренных электрических приборов

промышленного типа, в переносных приборах широкого потребления (пылесосы, вентиляторы и пр.) вполне возможно применение для корпусов и в особенности для рукояток изолирующих материалов, ибо здесь нет тех значительных усилий, которым подвержены промышленные инструменты, и сами приборы гораздо меньше и легче. Рукоятки ручных приборов домашнего обихода должны быть во всяком случае не из металла. Если же корпус прибора металлический, то следует иметь приспособления в виде защитных шайб, утолщений и пр., затрудняющих прикосновение к металлическим частям руки, держащей прибор за рукоятку. Более безопасными следует признать приборы с корпусами или сплошными защитными покрытиями из изолирующего материала или хоть бы не из металла. Для предметов домашнего обихода это является наиболее надежным средством против опасности прикосновения к частям, случайно оказавшимся под напряжением, ибо далеко не всегда можно рассчитывать для этих приборов на соблюдение правил защитного заземления.

Еще большее внимание с точки зрения безопасности, должно быть уделено переносным нагревательным приборам широкого потребления. Эти приборы, чрезвычайно широко распространенные за границей и начинающие распространяться и у нас, работают в условиях, увеличивающих возможность поражения электрическим током, при недостаточно надежной конструкции. Сюда относится высокая температура, могущая повредить или ослабить изоляцию токоведущих частей, а также являющаяся причиной удлинения металлических частей, расширения и ослабления контактов и пр. Далее, нагревательные приборы, служащие для нагревания воды и изготовления пищи, обыкновенно окружены паром и покрыты влагой, что в значительной степени увеличивает опасность прикосновения к токо-



Фиг. 124. Электрический бур с гибким рукавом.

ведущим частям, а также к частям, случайно оказавшимся под напряжением. В виду этого необходимо предъявлять для нагревательных приборов особенно высокие требования в отношении качества изолирующих материалов и надежности конструкции всех электрических частей, в особенности нагревательных элементов. У нас имеются специальные „Правила устройства и испытания электрических нагревательных приборов“, одобренные ЦЭС'ом; в этих правилах изложены все главнейшие требования, которым должна удовлетворять надежная конструкция нагревательного прибора.

Применение кожухов или корпусов из изолирующих материалов, вообще говоря, мало применимо для нагревательных приборов, по самым условиям их работы. Однако, нагревательные приборы, работа которых связана с длительным прикосновением к ним (напр., электрические утюги), или с частым перемещением с места на место (напр., электрические чайники и кастрюли), должны быть снабжены рукоятками из изолирующего материала и во всяком случае не из металла. Что касается защитного заземления, то требование о повсеместном его применении для нагревательных приборов широкого потребления, несомненно, сильно стеснило бы их широкое распространение, а потому от него приходится отказаться. Однако, эту меру необходимо применять в некоторых случаях, особенно опасных с точки зрения поражения электрическим током. Сюда относятся нагревательные приборы и аппараты, в которых находящиеся под напряжением (токоведущие) части непосредственно соприкасаются с нагреваемой жидкостью; так устроены приборы с нагревательными электродами в виде спиралей или змеевиков. Прикосновение к токоведущим частям, покрытым слоем жидкости, представляет, конечно, чрезвычайную опасность. Кроме того, сама нагреваемая жидкость, вследствие содержания кислот или солей, как это обыкновенно имеет место при кипячении жесткой воды и при варке пищи, может обладать заметной электрической проводимостью, и передавать напряжение от нагревательного элемента металлическим стенкам и кожуху прибора. В виду такой опасности необходимо требовать для нагревательных приборов указанного типа, наряду с защитой токоведущих частей от

прикосновения, также и заземления корпуса или кожуха, в целях устранения возможности появления на них опасного напряжения. Самое применение подобных нагревательных приборов допустимо лишь в тех случаях, когда можно быть уверенным в надежном выполнении защитного заземления, для чего требуются специальные штепсельные устройства (см. ниже, раздел 4 настоящей главы). Далее нагревательные приборы указанного типа (т. е. с непосредственным соприкосновением между токоведущими частями и нагреваемой жидкостью) допустимы лишь в установках переменного тока, ибо при постоянном токе возможны явления электролиза, что связано с появлением газов, могущих представить опасность в отношении взрывов.

В случае применения для приборов частей, допускающих легкую замену, как-то ламп и других сменных нагревательных элементов, необходимо, чтобы токоведущие части были достаточно защищены от прикосновения не только в рабочем положении элементов, но и при их вставке, напр., при ввинчивании ламп.



Фиг. 125. Электрический утюг.

При устройстве всех переносных электрических приборов широкого потребления, как электромоторных, так и нагревательных, необходимо обращать также самое серьезное внимание на защиту от прикосновения к соединительным зажимам и контактам. Эти контакты, как и прочие токоведущие части, должны быть полностью закрыты предохранительными щитками, коробками и втулками. В качестве примера подобного ограждения на фиг. 125 изображен электрический утюг с высоким защитным кольцом или втулкой, полностью закрывающей место ввода контактных штифтов в розетку утюга. На этой же фигуре показана изолирующая рукоятка утюга с утолщением, затрудняющим прикосновение пальцев к металлической скобе.

В целях устранения опасности замыкания на корпус при ослаблении контактов, повреждении изоляции проводов и т. д.,

необходимо требовать для переносных приборов весьма тщательного выполнения присоединительных зажимов и контактов. Все винтовые зажимы должны быть снабжены гайками, надежно удерживающими провода на своем месте. Штепсельные контакты должны быть так выполнены, чтобы штифты и гнезда сидели плотно и не вращались. Места присоединения проводов должны быть разгружены от натяжений, так же как и для ручных ламп, при помощи утолщений или специальных зажимов, воспринимающих механические усилия.

Как температурные, так и механические воздействия (толчки и сотрясения), в пределах, соответствующих условиям работы приборов, не должны вызывать ослабления и расстройства контактов, а также нарушения изоляции токоведущих частей от корпуса.

В целях достижения возможно большей безопасности в отношении замыкания на корпус необходимо установить для всех переносных электрических приборов широкого пользования минимальное расстояние от токоведущих частей до внутренних стенок металлического корпуса в 4 мм. И только в случае, если конструкция или условия работы прибора таковы, что полностью исключена возможность загрязнения или проникновения сырости во внутренние части прибора, можно допустить понижение указанного минимального расстояния до 3 мм. Эти же минимальные расстояния должны быть соблюдаемы и в отношении металлических предохранительных щитков и коробок, закрывающих присоединительные контакты.

Наконец, важнейшим правилом безопасности для всех электрических приборов широкого потребления, как моторных, так и нагревательных, является запрещение применения для них напряжения выше 250 V. Таким образом, в случае установки переменного трехфазного тока в 380/220 V или постоянного тока  $2 \times 220$  V, включение домашних переносных приборов возможно лишь между одним из линейных и нулевым проводом. Так как и лампы, применяемые в домашнем быту, никогда не строятся на напряжение выше 250 V, то это напряжение является вообще максимальным для каких бы то ни было электрических установок домашнего обихода. Недопущение в домаш-

нем быту высокого напряжения является одним из основных принципов техники безопасности.

Для некоторых машинных приборов, представляющих по условиям своего применения и работы особую опасность в отношении поражения электрическим током, напр. для электрических игрушек, электрических дуговых зажигалок, могут применяться лишь очень низкие напряжения, не выше 40 V.

В заключение настоящего раздела следует упомянуть о некоторых приборах, работающих при помощи гибких металлических валов, напр., зубо врачебные бор-машини, машинки для стрижки волос. В виду чрезвычайной опасности для большого числа лиц, возникающей при появлении напряжения на гибком валу и на наконечнике, необходимо требовать, чтобы между валом электродвигателя и гибким валом прибора была включена сцепная муфта из изолирующего материала. Таким образом указанная опасность может быть устранена даже при замыкании на корпус в двигателе.

#### **d. Защитное заземление переносных устройств.**

Из переносных устройств чаще всего заземляются промышленные приборы, имеющие обыкновенно металлические корпуса; как уже было сказано выше, для этих приборов защитное заземление является важнейшей мерой безопасности. Что касается приборов домашнего обихода, то для них заземление требуется обыкновенно лишь в случае особых неблагоприятных условий, например для нагревательных приборов с непосредственным соприкосновением токоведущих частей и нагреваемой жидкости, для приборов, применяемых в ваннах, банях, прачешных и т. п. сырых помещениях, а также для всех нагревательных приборов мощностью выше 2 kW. Наконец, ручные переносные лампы строятся с корпусами из изолирующего материала, а потому защитному заземлению не подлежат. Металлические корпуса стоячих переносных ламп, находящихся в неблагоприятной обстановке, напр. в сырых мастерских и других сырых помещениях, также должны заземляться, согласно общим правилам.

В установках с напряжением выше 150 V относительно земли требуется заземление металлических корпусов переносных при-

боров во всех случаях, независимо от условий работы и места установки (см. глава VII, раздел б).

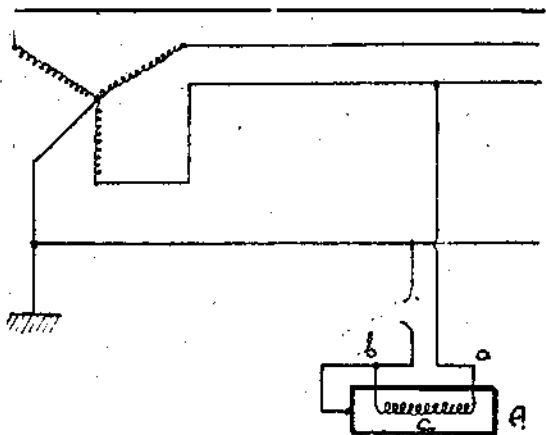
Поскольку общие основы защитного заземления и зануления были подробно изложены в предыдущей главе, мы теперь коснемся лишь особенностей устройства заземляющих соединений для переносных приборов.

Защитное заземление, зануление или защитное выключение переносных приемников осуществляется, так же как и их питание электрической энергией, при помощи штепсельных соединений. Последние должны быть для этого специально сконструированы и должны удовлетворять известным требованиям. Для присоединения заземляющего провода обязательно требуется особый добавочный контакт на штепсельной розетке. Иногда, при включении переносного однофазного прибора между фазным и нулевым проводом, считают возможным этот же нулевой рабочий провод использовать для защитного зануления корпуса прибора. При этом корпус соединяется непосредственно с зажимом прибора, имеющим нулевой потенциал, а штепсельное соединение и проводка остаются обычного типа. Подобное устройство не только не является защитным, но само может быть причиной тяжелых несчастных случаев. Действительно, если по какой-либо причине, например при обрыве нулевого провода, при расстройстве контакта в штепсельном соединении и пр., цепь нулевого провода разомкнется, то корпус прибора, оставаясь присоединенным к токоведущим частям, окажется под полным напряжением сети, ибо при отсутствии тока никакого падения напряжения в рабочей обмотке прибора не будет. Это наглядно изображено на фиг. 126, на которой контакт *a* прибора соединен с фазным проводом сети, а контакт *b* — с нулевым проводом. При соединении корпуса *A* с контактом *b*, корпус, в случае обрыва нулевого провода, приобретает через обмотку с тот же потенциал, что и контакт *a*.

В виду указанной серьезнейшей опасности должно быть строго воспрещено пользование для защитного зануления нулевым проводом, подводящим рабочий ток к приемнику. Для защитного заземления, зануления или присоединения защитного выключателя (см. глава VII, раздел f) должен быть применен специаль-

ный заземляющий провод или заземляющая жила переносного многожильного провода или шнура. Для того, чтобы заземляющий провод или жилу можно было легко отличить от рабочих проводов, необходимо применение особой окраски внешней оболочки заземляющего провода или же вплетения отличительной пряди особого цвета во внешнюю оплетку этого провода. В качестве отличительного цвета для заземляющего провода следует рекомендовать зеленый, применяющийся вообще для заземленных проводов (см. глава V, раздел d).

Для присоединения заземляющих проводов к переносным приемникам применяются либо штепсельные соединения с добавочными контактами (см. дальше). В случае глухого присоединения проводов к приборам, последние, если они подлежат заземлению, должны иметь специальные, соединенные с корпусом зажимы для заземления.



Фиг. 126. Неправильный способ зануления корпуса переносного прибора.

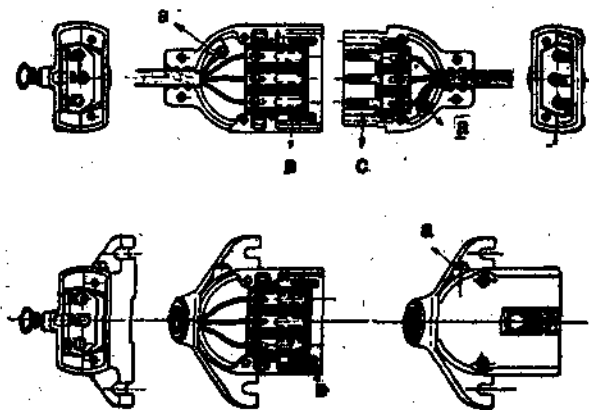
Эти зажимы должны быть достаточно прочными, причем диаметр винтовой нарезки не следует делать менее 6 мм; кроме того зажимы должны быть ясно отмечены посредством окраски или соответствующей надписи („земля“).

Нужно отметить, что в случае защитного зануления, даже при указанном устройстве специального зануляющего проводника, опасность появления напряжения на корпусе не может считаться исключенной, ибо при повреждении главного магистрального нулевого провода, к которому присоединены одновременно как рабочий нулевой, так и зануляющий провод, может произойти то же явление, которое было описано выше (фиг. 126); об этом подробно говорилось в предыдущей главе. Однако, вероятность



повреждения или обрыва неподвижно проложенного магистрального нулевого провода большого сечения, конечно, чрезвычайно мала по сравнению с вероятностью обрыва тонкого переносного провода, подверженного в гораздо большей степени механическим воздействиям.

Переходя к конструкции штепсельных соединений, служащих не только для питания переносных приемников, но и для их защитного заземления или зануления, необходимо указать на основное правило безопасности, заключающееся в том, что



Фиг. 127. Штепсельные устройства для промышленных электрических приборов.

при включении приемника сначала должны придти во взаимное соприкосновение заземляющие контакты, а затем уже рабочие контакты, подводящие ток к прибору. При выключении порядок должен быть обратный, т. е. сначала должны разомкнуться рабочие контакты, а затем уже заземляющие. Это правило важно не только для того, чтобы устранить возможность появления напряжения на корпусе приемника в самый момент включения, пока заземляющие контакты еще не пришли во взаимное соприкосновение, но и потому, что таким образом легче избежать опасности размыкания заземляющей цепи, вследствие расстройств контактов, при включенном, рабочем положении штепселя.

На фиг. 127 показаны целесообразные конструкции штепсельных устройств, служащих для присоединения промышленных

электрических переносных приборов, (сверлилок, шлифовальных кругов, буров, пил, отверток и пр.). В виду широкого применения для этих приборов трехфазных двигателей, штепсельные устройства показаны трехполюсные, с тремя рабочими контактными штифтами и, соответственно, тремя рабочими гнездами. Как и во всех современных электрических распределительных устройствах, применяемых в мастерских, токоведущие части заключены во вполне их закрывающие прочные металлические кожухи. На фиг. 127 сверху показаны штепселя, а на фиг. 127 снизу — неподвижно устанавливаемые розетки. Розетки и штепселя с гнездами снабжены добавочными штифтовыми контактами *В* для защитного заземления, зануления или присоединения защитного выключателя; соответственно, штепселя и розетки с рабочими штифтами снабжены контактными гнездами *с* для заземления. Так как заземляющие контакты и гнезда расположены впереди рабочих, обеспечивается более раннее их соединение и более позднее разъединение, согласно указанному выше правилу. Заземляющие контакты электрически соединены с металлическими корпусами штепселя или розетки; с другой стороны к этим корпусам присоединены при помощи специальных зажимов *а* заземляющие провода. Таким образом, одновременно достигается защитное заземление корпуса штепселя и розетки, что не менее важно, чем заземление корпуса самого переносного прибора.

Другая конструкция штепсельных соединений с заземляющими контактами применяется фирмой AEG. На фиг. 128 показано трехполюсное штепсельное устройство этой фирмы с заземляющим контактом; защитная крышка розетки снята, для того, чтобы показать внутренние токоведущие части. Заземляющий контакт выполнен в виде вертикальной пружинящей медной полосы, укрепленной на розетке; эта полоса скользит с трением по пластинке, укрепленной на боковой стенке корпуса



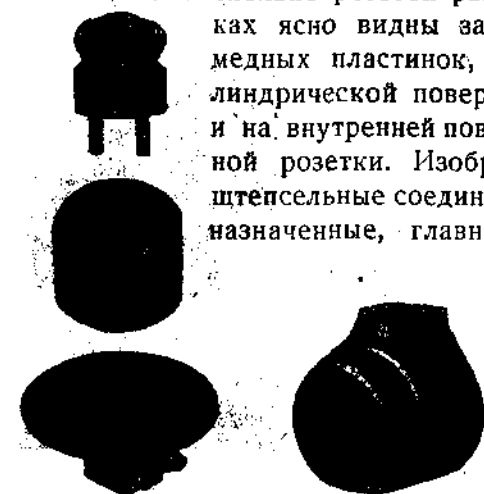
Фиг. 128. Трехполюсное штепсельное устройство с заземляющим контактом.

штепсельной вилки. Корпус сделан из изолирующего материала и достаточно высок, чтобы вполне предохранить пальцы от прикосновения к токоведущим частям при включении и выключении штепселя. Замыкание заземляющих контактов производится до втыкания штифтов в соответствующие гнезда. На фиг. 129 показан внешний вид штепсельных соединений того же типа, но двухполюсных, для приемников однофазных или постоянного тока. На фигуре показана штепсельная вилка и несколько розеток различной формы; на всех рисунках ясно видны заземляющие контакты в виде медных пластинок, укрепленных на внешней цилиндрической поверхности штепсельного корпуса и на внутренней поверхности в выемке штепсельной розетки. Изображенные на фиг. 128 и 129 штепсельные соединения—комнатного типа, предназначенные, главным образом, для включения

переносных приборов домашнего обихода, в отличие от устройств промышленного типа, показанных на фиг. 127.

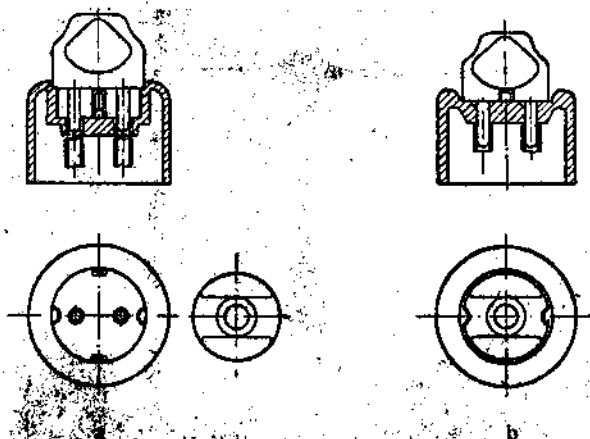
Весьма желательно, чтобы в специальные розетки с заземляющими контактами, установленные в сырых помещениях, напр. в

кухнях, ваннах, прачешных и т. д., не могли быть воткнуты штепсельные вилки обычного типа, без заземляющих контактов. Таким образом, можно вообще устранить возможность применения незаземленных переносных приборов в подобных помещениях. Указанного действия фирма AEG достигает применением на внутренней кольцевой поверхности заземляющей розетки выступающих ребер с закругленными краями, которые входят в соответствующие выемки в корпусе штепсельной вилки. Штепсель же обычного типа, без заземляющего контакта, не имеет подобных выемок и потому не может быть введен в заземляющую розетку, как это показано на фиг. 130 а. С другой



Фиг. 129. Двухполюсные штепсельные устройства с заземляющими контактами.

стороны заземляющий штепсель должен свободно входить в обыкновенную розетку, без заземляющего контакта, с тем, чтобы можно было без затруднения включать переносные приборы, предназначенные для защитного заземления, также и в тех помещениях, где это заземление не требуется (в жилых, сухих помещениях, при напряжениях не свыше 150 V относительно земли). Как показано на фиг. 130-б, заземляющий штепсель свободно входит в розетку обычного типа, ибо последняя,



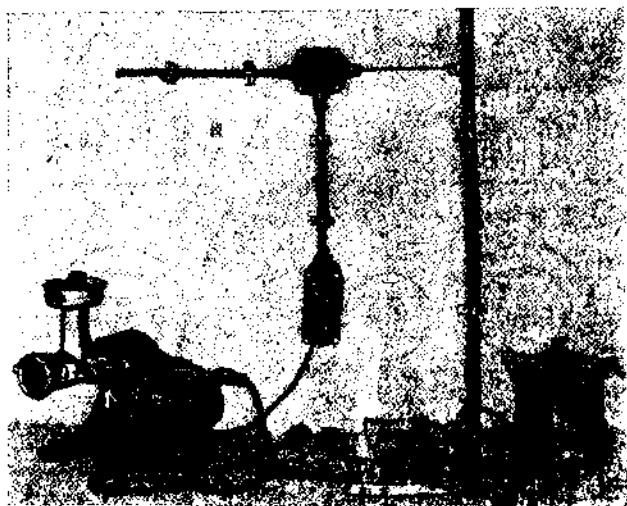
Фиг. 130. Штепсельные устройства для переносных приборов.

- а. Простой штепсель не входит в заземляющую розетку.
- б. Заземляющий штепсель входит в простую розетку.

в отличие от заземляющей розетки, не имеет в передней части глубокой кольцеобразной выемки.

Как было изложено в предыдущей главе, защита от повышения напряжения на корпусе наилучшим образом достигается применением вместо прямого заземления или зануления, защитных выключателей (система Heinisch-Riedl). В применении к переносным приемникам особенно удобными являются специальные штепсельные устройства с защитными выключателями, помещенными внутри штепсельной коробки; подобные приборы вытиснены в последнее время в Германии фирмой Schiele & Bruchsalter Industriewerke A.G. под названием „Steckwart“ — штепсельный

сторож"). Общий вид устройства с несколькими переносными приборами домашнего хозяйства (мясорубка, утюг, кипятильник) изображен на фиг. 131. Штепсельное устройство (на 10 А, 380 В) имеет кроме рабочих контактов специальные заземляющие контакты, для присоединения защищаемого корпуса через обмотку защитного выключателя к заземлителю. В виду того, что сопротивление заземления в данном случае может быть до 500  $\Omega$ , для заземления может быть применена любая труба



Фиг. 131. Штепсельное устройство с защитным выключателем.

водопровода или центрального отопления; на фиг. 131 показан заземляющий провод, идущий от верхней распределительной коробки к трубе.

Защитный выключатель снабжен контрольным прибором для проверки исправного состояния устройства, согласно схемы фиг. 100, помещенной в главе VII. Вместо контрольной кнопки здесь имеется переключатель, ручка которого выведена наружу штепсельной коробки. Так как главный выключатель не имеет рукоятки для управления вручную, контрольный переключатель служит в то же время и для нормального включения и выключе-

чения прибора, что очень важно с точки зрения безопасности, ибо таким образом обеспечивается постоянный контроль за действием защитного релэ. В нерабочем положении переключателя ток в катушку релэ идет от одного из рабочих проводов через особое сопротивление, что приводит в действие расцепляющий механизм главного выключателя. Последний, однако, выключается и в рабочем положении переключателя, как только напряжение на защищаемом корпусе превышает определенную величину (40 V); при этом, благодаря механической связи между выключателем и переключателем, ручка последнего автоматически переходит в нерабочее положение, указывая на опасное повышение напряжения. В случае какой-нибудь неисправности прибора, перевод ручки переключателя в нерабочее положение не вызывает размыкания главного выключателя, а сама ручка, после ее освобождения, сама возвращается в рабочее положение. В этом случае отключение переносного приемника производится посредством вытягивания из гнезд штепсельной вилки, после чего следует устранить обнаруженное повреждение защитного прибора.

В штепсельную коробку, изображенную на фиг. 131, не может быть воткнута штепсельная вилка обычного типа; с другой стороны штепсельная вилка описанного прибора входит в розетку обычного типа. Цель, преследуемая таким устройством, и конструктивные способы для ее осуществления были изложены выше.

### е. Провода для переносных устройств.

Провода для переносных устройств работают в гораздо более неблагоприятных условиях, чем неподвижно проложенные провода. Будучи сами переносными, они нередко попадают в сырые места и даже прямо в воду, что может привести к быстрому разрушению изолирующей оболочки, если последняя не достаточно водонепроницаема. Еще хуже обстоит дело с механическими воздействиями, которым переносные провода подвергаются в максимальной степени. Сильное натяжение провода, дергание за него, волочение по полу, перетирание изоляции об острые края разных предметов — все эти явления весьма обычны для переносных проводов, в отличие от неподвижно проложенных

проводов, вообще говоря, не подвергающихся подобным воздействиям. С другой стороны состояние изоляции переносных проводов в гораздо большей степени влияет на опасность поражения электрическим током, нежели неподвижных проводов, ибо с переносными проводами потребитель гораздо чаще приходит в соприкосновение. Вот почему вопрос о качестве проводов для переносных приемников имеет особое значение с точки зрения техники безопасности.

Обычные шнуры комнатного типа допустимы для переносных приемников лишь в случае применения их во вполне сухих, жилых помещениях и при условии отсутствия сильных механических воздействий. Подобная проводка осуществляется обыкновенно для комнатных настольных ламп, мелких нагревательных приборов и других устройств домашнего обихода, перемещаемых лишь иногда с места на место и сохраняющих в работе неподвижное положение. Применение арматурных проводов для подводки тока к переносным приемникам должно быть категорически воспрещено.

Для переносных устройств домашнего обихода, самая работа которых связана с перемещением (напр. пылесосы, электрические утюги), а также для устройств любого типа, находящихся в сырых помещениях, комнатные шнуры уже нельзя признать достаточно надежными и безопасными. Тем более это относится к промышленным переносным приборам, как ручным лампам, так и инструментам, для которых применение шнуров недопустимо.

Для всех указанных случаев должны применяться специальные провода для переносных приемников с защитой от сырости и от механических повреждений. У нас для переносных приемников чаще всего применяется изготавливаемый ВЭО специальный гибкий провод марки „ПРЛ“. Этот провод состоит из двух медных жил, изготавливаемых из тонких луженых проволок. Жилы покрываются двухслойной оболочкой из вулканизированной резины и обматываются сверху прорезиненной лентой. Изолированные таким образом жилы скручиваются друг с другом, с продольной прокладкой из пеньки, и снабжаются общей оплеткой из пряжи, пропитанной изолирующим составом. По опытам, произведенным в Государственном Научном Институте охраны

труда в Москве, провод марки „ПРЛ“, после пребывания в течение 24 часов во влажном воздухе, выдержал испытание на напряжение в 6000 V без каких либо вредных последствий для изоляции. Таким образом этот провод оказался вполне подходящим для питания ручных переносных ламп, для которых он преимущественно и изготавливается.

Однако, для мастерских и других промышленных заведений, провод марки „ПРЛ“ не всегда оказывается достаточно прочным. В тех случаях, когда переносные провода подвергаются грубым механическим воздействиям, сильному напряжению, постоянному волочению по полу и пр., требуется особая более надежная защита от механических повреждений. Особенно это относится к приемникам сравнительно большой мощности, именно к ручным сверлилкам и другим электрическим инструментам, когда сами провода сравнительно тяжелы и потому подвергаются значительным усилиям даже при отсутствии грубого обращения с ними. В таких случаях необходимо применять провода со специальной защитой от грубых механических повреждений. В каталоге ВЭО имеется предназначенный для этой цели провод марки „ДРСН.“, отличающийся от провода марки „ПРЛ“ лишь наличием поверх оплетки брони, состоящей из спирально навитой оцинкованной проволоки, в целях защиты провода от перетирания при волочении по полу. Практика применения подобных проводов, однако, показала, что проволоочная навивка не является достаточной защитой от грубых механических повреждений. С другой стороны, витая бронировочная проволока часто разрывается, острые концы ее прокалывают изоляцию, следствием чего вся металлическая проволока на значительной длине провода может оказаться под напряжением. Заземление проволоочной брони, как бы оно тщательно ни было проведено, не может в данном случае помочь, ибо при обрыве часть проволоки отъединяется от заземленного конца. Таким образом защитная броня может сама стать источником весьма большой опасности, как это и подтверждает хроника несчастных случаев при обращении с переносными приемниками. В виду этого следует не только избегать применения проводов, обвитых проволокой, но даже воспретить их приме-



нение для переносных приемников, как это сделано в германских правилах безопасности.

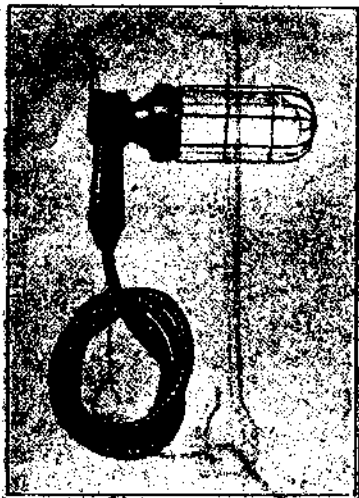
Достаточная защита от механических и химических воздействий, даже при неблагоприятных внешних условиях, напр., в сырых помещениях, может быть достигнута применением прочных защитных оболочек из волокнистых изолирующих веществ — из пеньки, парусины, а также кожаных или резиновых трубок. Нужно только следить за тем, чтобы концы защитных трубок были тщательно заделаны, во избежание проникновения сырости и грязи в пространство между защитной оболочкой и проводом. Подобные провода с прочными защитными оболочками из гибких изолирующих материалов широко применяются для переносных приемников в Германии, где для них выработаны специальные нормы. В нашем новом стандарте для установочных проводов также предусмотрен целый ряд проводов с усиленной защитой от химических и механических воздействий, предназначенных для переносных приемников <sup>1)</sup>. Из 10 новых типов проводов и шнуров, предложенных в стандарте для переносных приемников, вместо старых типов „ПРЛ“, „ДРСН“ и др., наибольшего внимания заслуживают так называемые шланговые провода, легкие, средние и тяжелые (марки „ПРШЛН“, „ПРШСН“, „ПРШТН“). Типичная конструкция для этих проводов следующая: гибкая медная жила, состоящая из луженых проволок, обмотана слоем бумажной пряжи и покрыта оболочкой из вулканизированной резины; свитые вместе жилы вновь опрессованы вулканизированной резиной, с заполнением промежутков между жилами; поверх общей оболочки, имеющей вид резиновой трубки или шланга, провод покрывается оплеткой или обматывается бумажной лентой. Кроме шланговых проводов, в стандарте имеется несколько типов специальных шнуров для переносных приемников, напр. шнуры заводские (марка „ШРЗН“), шнуры специальные (марка „ШРСН“), шнуры для высокого напряжения (марка „ШРВН“) и др. Нужно пожелать, чтобы новый стандарт как можно скорее был проведен в жизнь и чтобы

<sup>1)</sup> См. Проект Стандарта „Провода установочные“, опубликованный в журнале „Электричество“, 1930, № 4.

у нас появились в достаточном количестве провода и шнуры указавных типов.

Что касается металлической защитной оболочки, то она может оказаться целесообразной лишь для самых неблагоприятных условий работы переносных приемников, напр. в кузнечных и металлургических цехах, на химических заводах и т. п. Однако, эта защита отнюдь не должна выполняться в виде проволоочной намотки, на опасность которой было уже указано выше, а в виде сплошной оболочки, состоящей из сравнительно широкой металлической ленты. Подобный бронированный гибкий провод, служащий для питания ручной лампы, показан на фиг. 132. Броня состоит из двух спирально намотанных слегка выпуклых стальных лент, перекрывающих друг друга. Металлическая оболочка должна быть, конечно, тщательно изолирована от находящихся под напряжением частей, а кроме того заземлена посредством штепсельного соединения, подобно тому, как заземляются металлические корпуса переносных приемников.

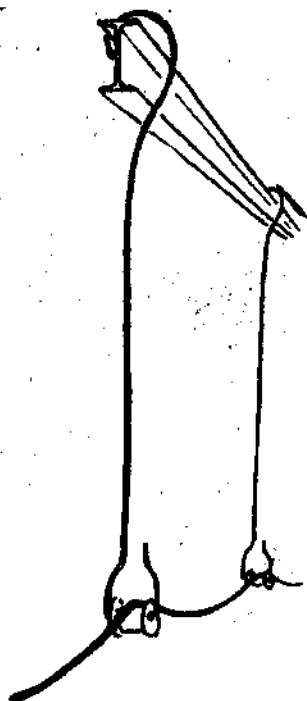
Из правил прокладки проводов, питающих переносные приемники, следует отметить следующие. Переносные провода должны присоединяться к неподвижно проложенным только при помощи штепсельных или иных разъемных соединений. Наличие разъемного соединения обеспечивает возможность быстрого отсоединения переносного провода и изъятие его из эксплуатации самим потребителем, без вмешательства квалифицированного персонала. Таким образом может быть в кратчайший срок устранена опасность несчастного случая, сейчас после обнаружения повреждения в проводе или переносном приемнике. С другой стороны, разъемный характер соединения ограничивает сравнительно небольшой величиной то максимальное натяжение, которым могут быть под-



Фиг. 132. Бронированный провод для ручной лампы.

вергнуты провода при пользовании переносными приемниками. Это, наряду с разгрузкой всех мест присоединения проводов от натяжения, как в штепселях, так и в самих приемниках, предохраняет контакты от повреждения или ослабления, от вырывания присоединенных концов, обнажения токоведущих частей и пр.

Другим правилом безопасности для переносных проводов является недопущение их разветвления как в штепселе, так и на самих проводах.



Фиг. 133. Временное подвесное устройство для переносных проводов.

От одного штепселя может отходить не более одного переносного провода, питающего определенный приемник. Присоединение к одному штепселю нескольких переносных проводов увеличило бы в значительной степени возможность всякого рода повреждений вследствие спутывания между собой проводов, относящихся к разным цепям, а также возможность коротких замыканий и других повреждений в самом штепселе. Разветвления и соединения переносных проводов посредством отпайки и сростки должны быть воспрещены, ибо такие места сильно уступают целому проводу как в отношении надежности изоляции, так и в отношении механической прочности. Равным образом нельзя допускать соединения и сростки переносных проводов, выполненных при помощи патронов и винтовых пробок, так как в них при дергании за провод, ударах и пр. легко возникают замыкания на корпус, а кроме того при вывинчивании пробок обнажаются токоведущие части.

Присоединяемые к зажимам концы жил переносных проводов, состоящих обыкновенно из большого числа тонких проволок, следует пропаивать, в целях устранения возможности отгибания и случайного выхода наружу отдельных проволок.

В случае длинных и тяжелых переносных проводов сравнительно большого сечения, питающих промышленные электрические инструменты (сверлилки, шлифовальные круги и пр.) следует всячески рекомендовать устройство временных опор и подвесов для проводов, разгружающих провода от слишком больших натяжений и уменьшающих возможность повреждений как самих проводов, так и переносных приемников и штепсельных соединений. Временное подвесное устройство, быстро и легко осуществляемое в любой мастерской, показано на фиг. 133. Переносные провода опираются на деревянные ролики или щупальки, подвешенные посредством проволок к потолочным балкам.

### **i. Применение безопасного напряжения.**

В некоторых случаях, особо опасных с точки зрения поражения электрическим током, следует применять для переносных устройств очень низкое напряжение, безопасное для жизни и здоровья человека. Здесь прежде всего имеется в виду работа внутри котлов, резервуаров, баков, цистерн и тому подобных сооружений, имеющих хорошо проводящие металлические стенки и полы. Для осмотра, очистки и ремонта подобных сооружений обыкновенно требуются переносные ручные лампы, ибо их внутренние части не освещаются никаким другим источником света. В виду наличия с одной стороны в чрезвычайно большой степени сырости и влаги, а с другой стороны теснейшего соприкосновения рук, ног и всего тела рабочего с железными, массивными, хорошо заземленными частями, для указанных работ получают наихудшие с точки зрения поражения электрическим током условия, какие только себе можно представить. Поэтому для таких работ должно быть исключено применение ручных ламп напряжением выше 24 V. В правилах НКТ СССР,<sup>1)</sup> эта граница еще понижена до 20 V, так что,

<sup>1)</sup> См. „Правила относительно устройства, установки и освидетельствования пароприемников и других приборов и аппаратов, работающих под давлением выше атмосферного“, § 22, а также „Правила устройства, установки, содержания и освидетельствования постоянных и подвижных паровых котлов“, § 25.

имея в виду наш стандарт напряжений, для подобных работ допускаются лишь лампы напряжением 12 V.

Указанное правило относится к лампам любого устройства, даже вполне удовлетворяющим правилам безопасности, изложенным в разделе B настоящей главы. Действительно, даже при тщательном соблюдении этих правил, опасность поражения может все же представить переносный провод, работающий в данном случае в максимально неблагоприятных условиях.

Однако, указанным случаем работ внутри котлов, цистерн и т. п. далеко не ограничивается область применения очень низкого напряжения для переносных приемников. Во всех других случаях, представляющих особую опасность в отношении поражения электрическим током, именно в помещениях особо сырых и в помещениях с едкими парами, следует пользоваться для ручных ламп пониженным напряжением, не свыше 24 V. В установках с напряжением 380/220 V такой переход на пониженное напряжение является обязательным, ибо включение ручных ламп на рабочее напряжение в подобных помещениях запрещается Временными Руководящими Указаниями для установок 380/220 V.

Далее, применение пониженного напряжения (не выше 40 V) обязательно во всех случаях, когда ручные лампы и другие переносные приемники, а также и провода, не удовлетворяют установленным для них правилам безопасности. Это положение следует строго соблюдать независимо от величины напряжения установки, рода помещения и других внешних условий, в которых работают переносные приемники.

Наконец, применение пониженного напряжения обязательно во всех случаях для электрических игрушек (независимо от их устройства), а также для дуговых электрических зажигалок.

Для получения пониженного безопасного напряжения служат специальные трансформаторы. В установках постоянного тока, а также при отсутствии специальных трансформаторов, можно пользоваться переносными аккумуляторными батареями низкого напряжения. В установках постоянного тока можно кроме того пользоваться специальными преобразователями, преобразующими

щими постоянный ток промышленного напряжения в постоянный же ток, безопасного напряжения.

Трансформаторы очень низкого напряжения строятся у нас ВЭО для вторичного напряжения в 12 и 24 V, поскольку эти напряжения являются единственными стандартизованными у нас напряжениями ниже 40-вольтовой границы безопасного напряжения. Напряжение в 12 V должно быть применено для работ внутри котлов, цистерн и резервуаров, согласно обязательному правилу НКТ, причем необходимо строго следить за тем, чтобы трансформатор находился вне указаний сооружений, ибо самое присутствие в подобной обстановке электрического прибора промышленного напряжения представило бы серьезную опасность. Во всех других случаях применения пониженного напряжения для переносных приемников возможно также питание их от трансформатора с вторичным напряжением в 24 V. Первичная обмотка трансформаторов ВЭО делается для напряжений от 100 до 240 V, в зависимости от напряжения установки. Концы вторичной обмотки отводятся к штепсельным розеткам, укрепленным на корпусе трансформатора, а концы первичной обмотки присоединяются к зажимам для приключения к внешней сети. Особое внимание при устройстве этих трансформаторов должно быть обращено на тщательную изоляцию вторичной обмотки от первичной и достаточное их удаление друг от друга, с тем, чтобы была исключена возможность перехода напряжения с первичной обмотки на вторичную.

Имеются следующие типы трансформаторов для пониженного напряжения:

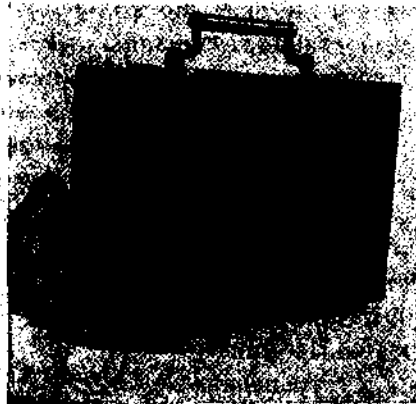
1) Настенный трансформатор типа Т. Л. 1, в чугунном корпусе, предназначенный для одной лампы мощностью до 50 W; вес такого трансформатора, изображенного на фиг. 134, составляет 4,4 кг.

2) Переносный трансформатор типа Т. Л. 3, в деревянном футляре, размером 125 × 200 × 260 мм, предназначенный для

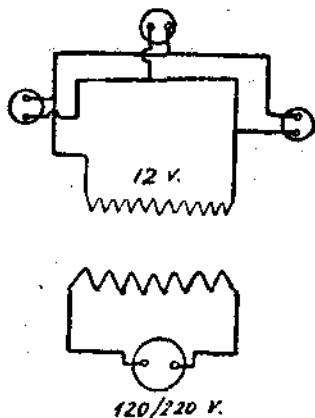


Фиг. 134. Настенный трансформатор для ручной лампы.

одновременного питания трех ламп, общей мощностью до 100 W; вес трансформатора — 7,5 кг. Внешний вид этого транс-



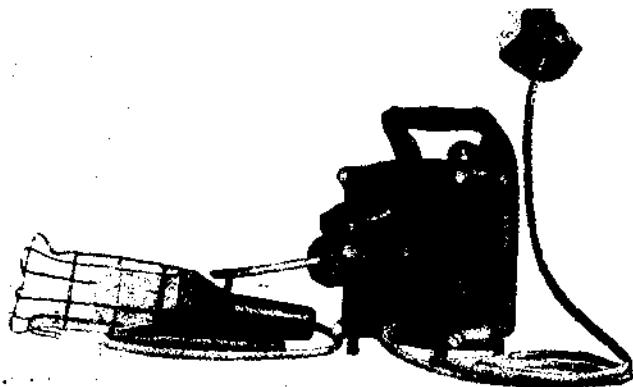
Фиг. 135. Переносный трансформатор в деревянном футляре для 3 ручных ламп.



Фиг. 136. Схема переносного трансформатора для 3 ламп.

форматора показан на фиг. 135, а схема соединений на фиг. 136.

Переносный трансформатор для ручных ламп германской

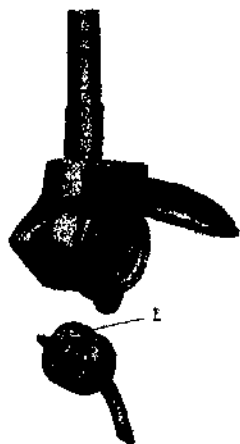


Фиг. 137. Переносный трансформатор для ручной лампы.

фирмы Dietz und Richter изображен на фиг. 137, а некоторые его детали — на фиг. 138. В этом трансформаторе имеется блоки-

ровка между выключателем для размыкания первичной цепи (с на фиг. 138 справа) и штепсельной вилкой для присоединения ручной лампы. Вилка может быть вынута только после размыкания первичной цепи выключателем, вследствие чего исключается возможность потерь на холостой ход трансформатора при отключенном приемнике, и увеличивается безопасность при обращении с прибором. Металлический корпус трансформатора заземляется, для чего вилка и штепсельная розетка для подключения трансформатора к сети снабжаются заземляющими контактами (Е на фиг. 138 слева). Обе розетки (для присоединения трансформатора к сети и лампы к трансформатору) снабжаются откидными крышками, которые удерживают вилки от случайного выпадения, а при вынутых вилках плотно закрывают розетки с их контактными гнездами, что весьма важно с точки зрения достижения водонепроницаемости прибора (в сырых помещениях) и для защиты от прикосновения.

Установки пониженного напряжения для питания переносных приемников должны обес-

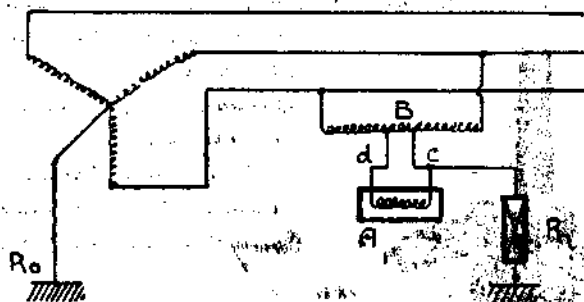


Фиг. 138. Детали к трансформатору, изображенному на фиг. 137.

печивать от появления более высокого напряжения не только между зажимами приемника, но также и между любой токоведущей частью приемника и землей. Это совершенно необходимо потому, что большая часть несчастных случаев происходит при однополюсном, а не двухполюсном прикосновении к токоведущим частям. Указанному условию совершенно не удовлетворяют такие приборы для понижения напря-



жения, как автотрансформаторы, дроссельные катушки и реостаты; при применении этих приборов сохраняется электрическая связь между частями пониженного и более высокого напряжения, вследствие чего токоведущие части приемника могут оказаться под напряжением относительно земли, смертельно опасным в тех чрезвычайно неблагоприятных условиях, в которых обыкновенно применяются рассматриваемые установки. Сказанное иллюстрируется фигурой 139, на которой показан приемник  $A$ , питаемый через автотрансформатор  $B$  от трехфазной сети с заземленной нулевой точкой. При прикосновении к токоведущей части приемника в точке  $c$ , тело человека  $R$  оказывается под напряжением, приблизительно равным половине фазного напряжения  $E$  установки. При случайном же разрыве цепи



Фиг. 139. Неправильное включение переносного приемника через автотрансформатор.

автотрансформатора вследствие перегорания предохранителя, ослабления контакта и т. п., и отсоединении обмотки автотрансформатора от одного из фазных проводов, тело человека, прикоснувшегося к цепи в точке  $c$ , включается почти на полное напряжение  $E$ . Таким образом, несмотря на получение пониженного напряжения между зажимами приемника, опасность включения на более высокое напряжение остается в полной силе. Опасность здесь еще усугубляется в весьма большой степени вследствие ложного представления о безопасности установки, если только она понижает напряжение приемника до весьма малой величины. В этих условиях нельзя даже рассчитывать на обычные меры предосторожности, в виде избегания прикосно-

вения к токоведущим частям, и потому такие установки вполне заслуживают название „опасной ловушки“, данное инженером В. Т. Касьяновым <sup>1)</sup>.

Из сказанного следует, что применение автотрансформаторов, дроссельных катушек и реостатов для получения пониженного напряжения для переносных приемников должно быть категорически воспрещено. Для этой цели могут быть допущены, кроме аккумуляторных батарей, исключительно приборы, имеющие только магнитную, но не электрическую связь между обмотками рабочего и пониженного напряжения, именно трансформаторы, а для постоянного тока специальные преобразователи, если они обладают двумя отдельными, разобщенными друг от друга обмотками.

Возможность применения пониженного напряжения обусловлена, конечно, наличием на рынке переносных приемников, в частности ламп накаливания, предназначенных для этого напряжения. Нужно полагать, что в лампах напряжением 12—14 V у нас недостатка не будет, ибо в настоящее время вводится производство автомобильных ламп как раз такого напряжения. Эти же лампы могут найти себе применение и для ручных переносных источников света.

---

<sup>1)</sup> „Предприимчив“, 1928, № 5.

## ГЛАВА IX.

### ЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА.

Под защитными средствами подразумеваются различные приборы и приспособления, применяемые при обслуживании электрических установок для устранения или уменьшения опасности поражения электрическим током. Все средства можно разделить на 3 главных категорий:

1) Инструменты и приспособления, служащие для производства работ над токоведущими частями, находящимися под напряжением: штанги, клещи, монтерские инструменты.

2) Изолирующие средства, служащие для изоляции человека от токоведущих частей и от земли: подставки, коврики, галоши, перчатки, рукавицы.

3) Испытательные приборы, среди которых специфический защитный характер имеют указатели напряжения, служащие для распознавания присутствия напряжения на токоведущих частях.

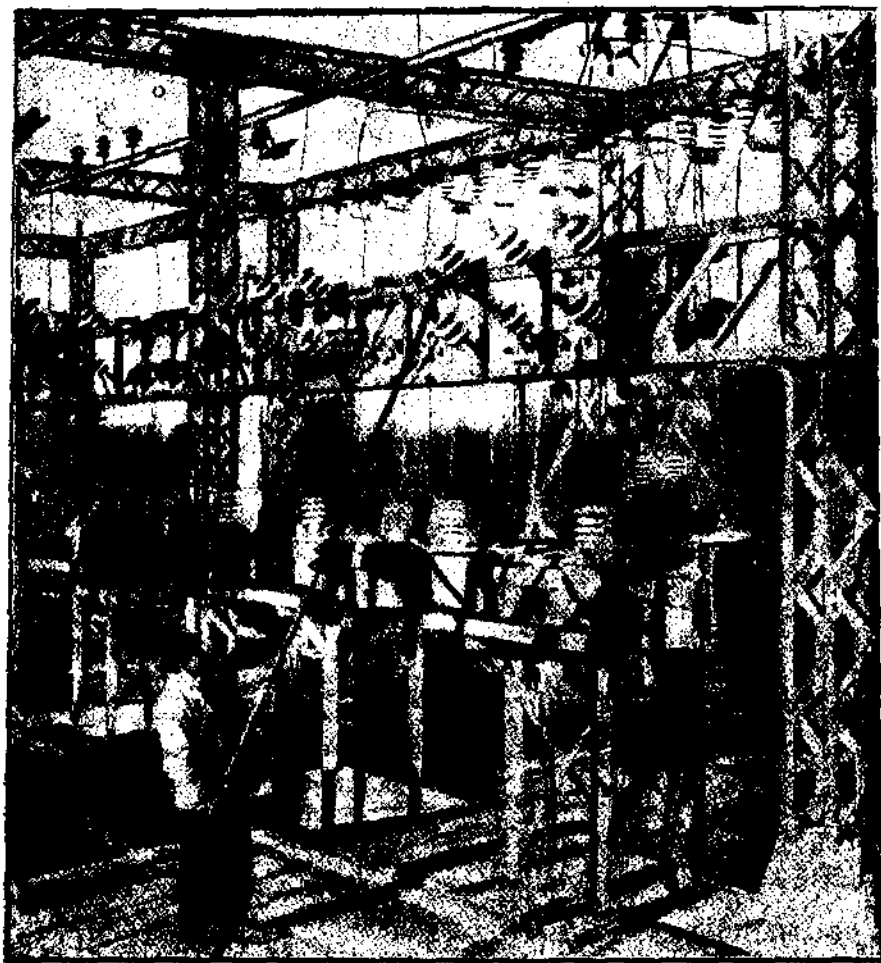
Отдельно от прочих защитных средств стоят предохранительные пояса и т. п. приспособления, служащие для защиты от падения при выполнении электромонтажных работ.

Что касается всякого рода ограждений, сеток, решеток, барьеров, разделительных стенок и пр., то их следует рассматривать как части самих электротехнических устройств, приборов и машин, а не как особые защитные средства. Поэтому они и рассмотрены в другой главе (глава VI, „Защита от прикосновения к токоведущим частям“).

#### а. Защитные инструменты.

Защитные инструменты характеризуются тем, что они обладают изолирующими рукоятками или другими изолирующими частями, предохраняющими рабочих от опасности поражения

электрическим током при производстве тех или иных электротехнических работ.



Фиг. 140. Включение разъединителя при помощи штанги.

1. Штанги. Штанги применяются чаще всего для включения и выключения разъединителей, находящихся под напряжением. Для этого штанга снабжается на конце крючком, кото-

рый зацепляет за соответствующий палец на разъединителе; в зависимости от устройства разъединителей, наконечники могут быть той или другой формы. Операция включения разъединителя в наружном распределительном устройстве, напряжением 11000 V, при помощи длинной штанги, изображена на фиг. 140.



Кроме включения и выключения разъединителей штанги применяются в электрических установках и для других работ, например для временного заземления токоведущих частей и соединения проводов на-коротко. О значении этих мер с точки зрения безопасности было подробно сказано в главе V.

Специальная штанга для заземления, применяющаяся в Германии, изображена на фигуре 141. Заземляющий провод вводится внутрь верхней части полой штанги, и конец его закрепляется в специальном зажиме. На фиг. 142 показан способ работы с подобной штангой для заземления и короткого замыкания воздушных ли-

Фиг. 141. Штанга для заземления.

ний. Электромонтер влезает на опору и накладывает штангу на линейный провод, на котором штанга и остается висеть. Две штанги на двух линейных проводах 30-киловольтной линии уже повешены, третью штангу рабочий в данный момент устанавливает. Для того, чтобы удобно было надеть штангу при любом наклоне ее по отношению к проводам, верхняя доска

с зажимом укреплена на шарнире и может быть установлена под любым углом к самой штанге; на фиг. 141 показаны два положения этой доски. Благодаря тому, что зажим довольно широк, и кроме того снабжен сильно пружинящим загнутым концом, он дает хороший контакт с линейным проводом. При работе на опоре должен быть обязательно применен предохранительный пояс (см. дальше), не показанный на фиг. 142.

Кроме воздушных линий штангой можно производить заземления и короткие замыкания на высоковольтных распределительных установках, на открытых подстанциях и т. д. Применение трех штанг для устройства короткого замыкания между 30-киловольтными сборными шинами показано на фиг. 143.

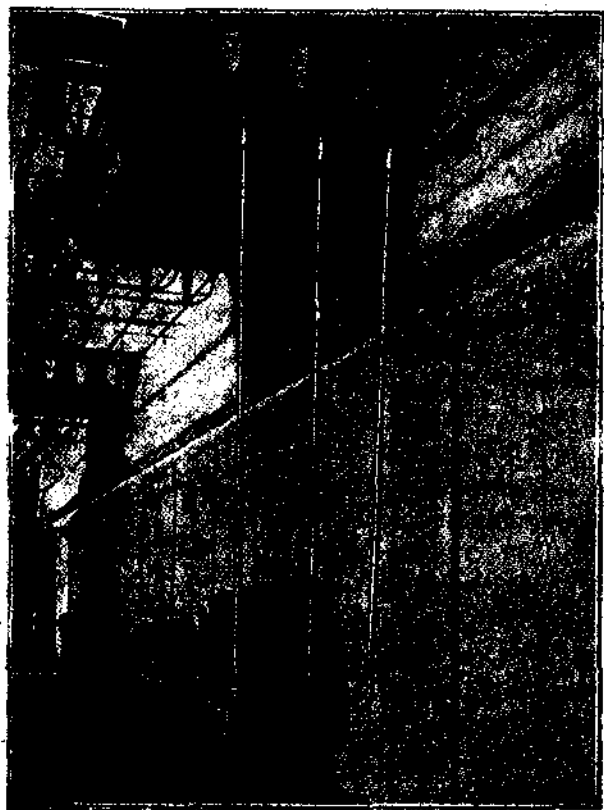
Штангами того же устройства можно воспользоваться и для устройства временной подводки тока от высоковольтной линии, а также для измерительных и испытательных работ над высоковольтными токоведущими частями под напряжением.

Наконец, штанги применяются также и для очистки проводов воздушных линий от снега, инея и гололеда. Штанга с соответствующим наконечником показана на фиг. 144. Здесь буквой *А* обозначена бакелитовая трубка длиной 2—3 м., 2—упор, ограничивающий длину захвата. Наконечник 5 снабжен с одной стороны скребком 6 в виде крюка с острыми краями для очистки



фиг. 142. Применение штанг для заземления и короткого замыкания воздушных проводов.

проводов, а с другой стороны пластиной 7 с выступами для отбивания льда. Кроме того имеется выемка 8, при посредстве которой можно приподнимать и встряхивать провод, также



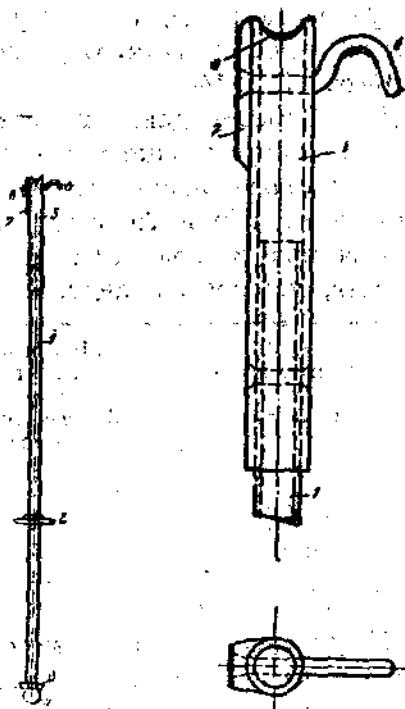
Фиг. 143. Применение штанг для короткого замыкания сборных шин.

в целях очистки. Для работы по очистке с земли, а не с мачты, штанги наращиваются до длины 4—5 м при помощи деревянных шестов.

Для того, чтобы служить надежным предохранением от поражений электрическим током, в качестве основного защитного средства, при котором не требуется никаких других мер защиты,

штанги должны удовлетворять целому ряду условий в отношении своего устройства, размеров, способов испытания и пр. Отдельные изолирующие части в виде рукояток или вставок не могут, вообще, служить достаточной защитой, и в настоящее время штанги обыкновенно целиком изготавливаются из изолирующего материала, с применением металлических частей только для соединений и наконечников. В качестве такого сплошного материала фарфор, конечно, не годится, в виду своей тяжести и хрупкости; поэтому фарфор иногда применяется лишь в виде отдельных вставок, для усиления изолирующих свойств штанги. Только для напряжений до 6000 V можно допустить металлические штанги с фарфоровым изолятором, но и в этом случае такие штанги применяются редко.

Основным материалом для штанг служит в настоящее время бакелит, отличающийся, кроме высоких изоляционных свойств, легкостью и достаточной прочностью. Бакелитовая штанга, изготавливаемая на заводе „Электроаппарат“ в Ленинграде, изображена на фиг. 145. Штанга состоит из бакелитовой трубки *a*, внешним диаметром 43 мм., вставленной своими концами в короткие железные трубки *b* и *c*; трубка *b* составляет одно целое с рабочим наконечником, имеющим вид крючка для выключения разъединителей. Кроме того короткая железная трубка *d* надета на бакелитовую трубку ближе к нерабочему концу штанги, на определенном расстоянии от него. Эта промежуточная железная трубка служит в качестве упора, для ограничения длины захвата штанги рукой, и делит всю штангу



Фиг. 144. Штанга для очистки воздушных проводов.



на две неравные части: одну длинную рабочую часть от наконечника до средней трубки и другую короткую часть, захватываемую рукой или руками, от средней трубки до нижнего, нерабочего конца. Наличие приспособления в виде трубки или шайбы для ограничения длины захвата является обязательным, в противном случае штанга будет захватываться слишком близко от рабочего конца, и изолирующее действие штанги может оказаться недостаточным. Ограничивающие шайбы показаны также на фиг. 141 и 144.

Что касается длины штанги, то для нее должны быть установлены минимальные величины, в зависимости от напряжения, для которого предназначена штанга. Комиссия по Правилам Безопасности при Ленинградском Отделении ЦЭС'а, разработавшая проект правил и норм для защитных электрических средств, установила следующие минимальные размеры штанг:

| Напряжение<br>в вольтах          | Штанги, предназначенные<br>для внутренних устройств |                           | Штанги, предназначенные<br>для наружных устройств |                           |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
|                                  | Полная длина<br>в метрах                            | Длина захвата<br>в метрах | Полная длина<br>в метрах                          | Длина захвата<br>в метрах |
| До 10000 <sup>1)</sup> . . . . . | 1,0                                                 | 0,4                       | 1,5                                               | 0,4                       |
| 35000 . . . . .                  | 1,5                                                 | 0,4                       | 2,5                                               | 1,0                       |
| 100000 . . . . .                 | 3,0                                                 | 1,0                       | 4,0                                               | 1,0                       |

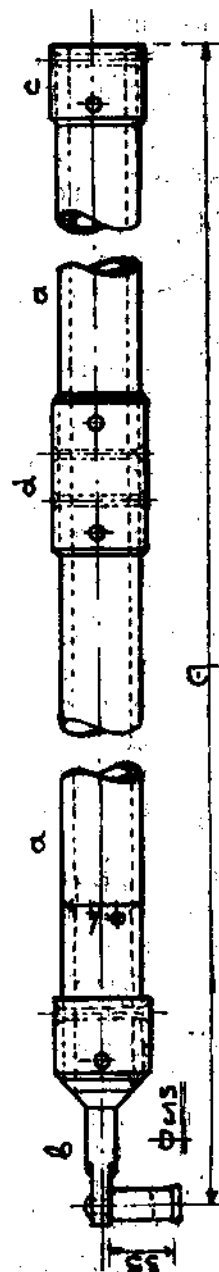
По указанным размерам можно определить минимальную длину рабочей части штанги (от наконечника до упора), равную разности между полной длиной и длиной захвата; длина рабочей части соответствует расстоянию между руками и токоведущими частями, а потому эта длина играет главную роль с точки зрения безопасности. При увеличении полной длины сверх указанных минимальных размеров может быть также увеличена и длина захвата. При меньшей же длине захвата по сравнению с приведенными величинами, обращение со штангой становится затруд-

<sup>1)</sup> Здесь, как и в дальнейшем, подразумевается номинальное эксплуатационное напряжение, которое в отношении применения защитных средств может быть повышено на 10%.

нительным, ибо она не может быть надежно удержана в руках. Размеры штанг, предназначенных для наружных установок, значительно превышают соответствующие размеры штанг, применяющихся только в закрытых помещениях. Увеличение длины, равно как и конструктивные изменения (напр. применение ребристых изоляторов в штангах, предназначенных для наружных устройств), необходимы для устранения возможности поверхностных разрядов во время дождя.

Штанги завода „Электроаппарат“ указанного на фиг. 145 типа изготавливаются длиной 1,5 м и 2,31 м (размер А на фиг. 145); таким образом, согласно приведенной таблице, они могут применяться в закрытых помещениях для напряжений до 35000 В, а в наружных устройствах — для напряжений до 10000 В. Нужно сказать, что для самых высоких напряжений (100000 В) штанги получаются очень длинными и не совсем удобными для оперирования, а потому для таких напряжений, особенно в наружных устройствах, следует предпочесть специальные, неподвижно установленные механизмы для включения и выключения разъединителей.

Раньше для увеличения безопасности при обращении со штангами применяли их заземление при помощи металлической вставки и специального заземляющего провода. Таким образом, даже в случае пробоя штанги разрядный ток должен пройти в землю через заземляющий провод, а не через человека. Практика, однако, показала, что заземление штанги сильно затрудняет обращение с нею, и главное, может само стать причиной несчастного случая, вследствие случайного при-



Фиг. 145. Штанга завода „Электроаппарат“.

косновения заземляющего провода к токоведущим частям, падения вследствие задевания ногой за заземляющий провод и т. п. Работа со штангой происходит около распределительных устройств, в проходах у задней стороны распределительных щитов, т. е. в местах, где вообще следует всячески избегать свободно лежащих или висящих проводов, стесняющих движения рабочих. В виду этого заземление штанг в настоящее время не только не рекомендуется, но прямо запрещается, как это сделано в новых Германских правилах безопасности. Само собой разумеется, это запрещение не может относиться к штангам, специально служащим для устройства заземления и короткого замыкания или для временной подводки тока. Такие штанги (фиг. 141 — 143) по существу должны быть снабжены проводами, присоединенными к рабочему наконечнику.

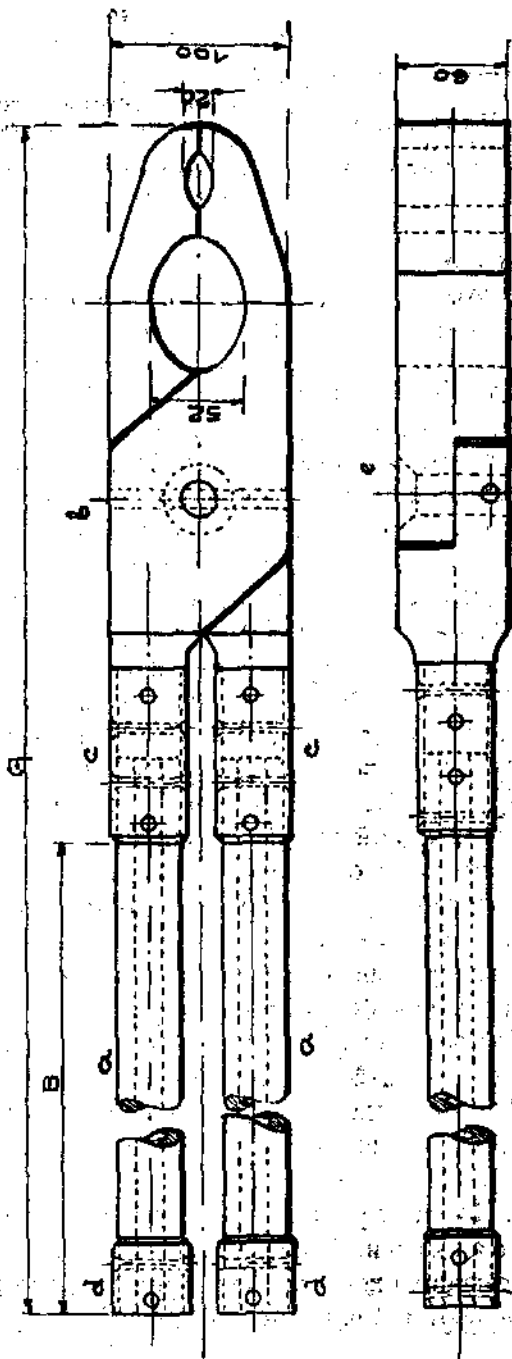
Особое внимание должно быть обращено на испытание штанг, как и вообще всех защитных средств. Только при условии периодически повторяющихся испытаний и осмотров, с тщательным соблюдением всех правил испытаний, можно считать защитные средства достаточно надежными и отвечающими своему назначению. Испытанию напряжением штанги должны подвергаться каждые 6 месяцев, независимо от того, были ли они в работе или находились на складе. Испытательное напряжение должно быть равно трехкратному номинальному напряжению, для которого штанги предназначаются, но, однако, не менее 40000 V; продолжительность испытания устанавливается в 15 минут. Штанги, предназначенные для наружных устройств, испытываются так же, но под дождем. Кроме периодических испытаний напряжением штанги должны подвергаться не реже одного раза в месяц тщательному наружному осмотру; в случае обнаружения трещин, изломов и других повреждений, штанги должны быть изъяты из обращения.

2. Клещи. Клещи или щипцы для работ под напряжением в электрических установках высокого напряжения применяются главным образом для вставки и снятия трубчатых предохранителей, изредка для измерительных и испытательных работ. Клещи для указанных работ должны быть специальной конструкции; обычными клещами, хотя бы и с изолирующими ручками, эти работы

ником образом не должны производиться.

Как и штанги, клещи должны изготавливаться целиком из изолирующих материалов, с применением металлических частей только для соединений. На фиг. 146 показаны клещи завода „Электроаппарат“ в Ленинграде. Изолирующая часть клещей на длине захвата (длина  $B$ ) сделана из бакелитовых трубок  $a$  диаметром 35 мм., рабочая же часть  $b$ , в том числе и ось клещей  $e$  — из белого парафинированного бука. Для соединения обеих частей между собой служат металлические трубки  $c$ . Клещи предназначены для вставки и снятия предохранительных трубок диаметром от 25 до 75 мм.

Минимальные размеры клещей, согласно проекту правил и норм для защитных средств, выработанному в ЛОЦЭС'е, приведены в нижеследующей таблице:



Фиг. 146. Клещи завода „Электроаппарат“.

| Напряжение<br>в вольтах | Клещи, предназначенные<br>для внутренних устройств |                             | Клещи, предназначенные<br>для наружных устройств |                             |
|-------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|
|                         | Полная длина<br>в метрах                           | Длина захва-<br>та в метрах | Полная длина<br>в метрах                         | Длина захва-<br>та в метрах |
| До 3000 . . . . .       | 0,4                                                | 0,1                         | 0,9                                              | 0,15                        |
| „ 10000 . . . . .       | 0,6                                                | 0,15                        |                                                  |                             |
| „ 35000 . . . . .       | 0,9                                                | 0,15                        | 1,5                                              | 0,2                         |

Для более высоких напряжений клещи получаютсч чрезвычайно тяжелыми, и обращение с ними оказывается очень неудобным и небезопасным. Поэтому применение клещей для напряжений выше 35000 V не допускается.

Клещи завода „Электроаппарат“ изготовляются двух размеров: в клещах малого размера  $A=0,615$  м (см. фиг. 146) и  $B=0,215$  м, и в клещах большого размера  $A=1,05$  м и  $B=0,65$  м. Таким образом клещи, согласно приведенной таблице, могут применяться для внутренних устройств, первые при напряжениях до 10000 V, вторые — при напряжениях до 35000 V. Кроме того клещи большого размера могут применяться для наружных устройств при напряжениях до 10000 V.

Кроме клещей обычного вида иногда применяются клещи для действия одной рукой, обращение с которыми является более безопасным, особенно в тесных местах, где следует остерегаться прикосновений к соседним токоведущим частям. Подобные легкие американские клещи показаны на фиг. 147. Недостатком этих клещей является слишком малая длина, недостаточно обеспечивающая безопасность работы.

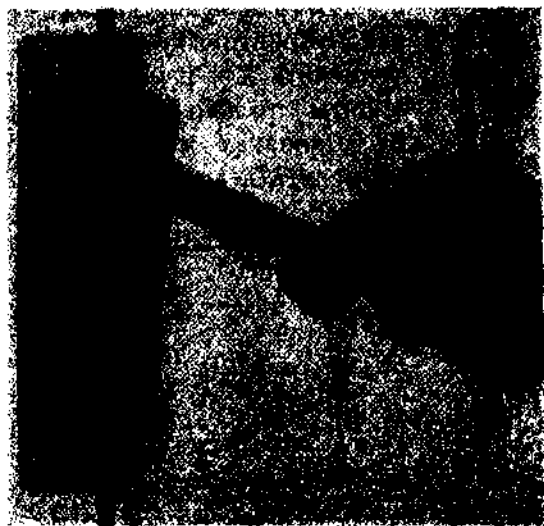
Так же, как и для штанг, и по тем же причинам, заземление клещей для работ под напряжением не допускается.

Что касается испытаний и осмотров клещей, то к ним относятся без всякого изменения все правила для штанг (см. выше).

3. Монтерские инструменты с изолирующими рукоятками. Кроме вышеописанных штанг и клещей, представляющих специальные устройства, для работ под напряжением применяются также и обыкновенные электромонтерские и слесар-

ные инструменты, но снабженные изолирующими рукоятками. Сюда принадлежат отвертки, ключи, плоскогубцы, острогубцы и круглогубцы, иногда зубила, напильники, ножи и другие инструменты. Вместо обычных деревянных рукояток эти инструменты снабжаются рукоятками из эбонита или других изоляционных материалов. У нас изготовлением таких инструментов занимается завод „Красный Треугольник“, причем завод принимает обыкновенные инструменты без деревянных ручек и обкладывает их металлические концы (хвосты) эбонитом. Эбонит прочно и хорошо удерживается на металле, но недостатком его является некоторая хрупкость, вследствие чего он не выдерживает сильных ударов и сотрясений.

В Америке изолирующие ручки нередко изготавливаются не из эбонита, а из резины. Подобный инструмент, в данном случае отвертка, изображен на фиг. 148. Ручка сделана из твердой, специально



Фиг. 147. Легкие клещи для действия одной рукой.

отформованной резины и имеет рифленую поверхность для лучшего удержания в руке. Далее, ручка снабжена на конце фланцем или шайбой, имеющей большое значение с точки зрения безопасности; этот фланец служит упором для руки, препятствуя соскальзыванию руки и ее прикосновению к металлической части отвертки. В случае эбонитовой ручки устройство ограждающего фланца затруднительно в виду хрупкости материала; такой фланец мог бы легко отломаться. Затруднение при изготовлении инструмента с резиновой рукояткой заключается в получении достаточно прочного соединения рукоятки с инструментом.

Как показано на фиг. 148 справа, для увеличения сцепления приходится снабжать инструменты особыми хвостами в виде крючка с несколькими изгибами, что дает возможность обойтись без применения металлических колец или заклепок, могущих представлять опасность в отношении поражения током. Вообще же резиновая рукоятка настолько прочна, что вполне выдерживает удары молотком, как показано на фиг. 148 справа, и дает возможность применять также и зубила с подобными рукоятками. Показанная на фиг. 148 рукоятка испытана на напряжение 2200 V.



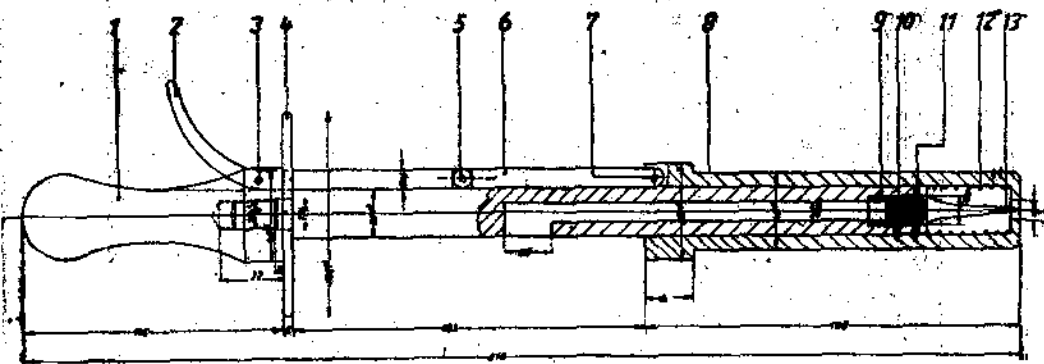
Фиг. 148. Отвертка с изолирующей рукояткой.

Нужно однако сказать, что описанные инструменты, как с эбонитовыми, так и с резиновыми ручками, можно применять для работ под напряжением без других мер защиты только в установках низкого напряжения. В установках же высокого напряжения необходимо применять в качестве основной меры защиты изолирующие подставки, изолирующие же ручки, как и прочие резиновые защитные изделия, могут служить лишь дополнительной мерой защиты. В данном случае, помимо недостаточной стойкости материала в отношении сырости и других атмосферных воздействий, следует отметить, что описанные инструменты по своим размерам не годятся для работы на высоком напряжении. Но и для работы на низком напряжении длина изолирующей рукоятки должна быть не менее 10 см.

Для электрического испытания инструментов с изолирующими ручками можно, как и для других резиновых изделий, рекомендовать применение 2,5-кратного напряжения по сравнению с тем, на которое рассчитаны инструменты, но не менее 2500—3000 V. Кроме электрического испытания желательно производить и механическое, именно на прочность в отношении ударных воздействий, что особенно важно для эбонита, как материала сравнительно хрупкого. Такое испытание можно производить путем многократного (напр. 5—10-кратного) сбрасывания инструмента с вы-

соты 1 м на дубовую доску. Определенных правил испытания инструментов с изолирующими ручками до сих пор не разработано, равно как и норм, касающихся их конструкции и размеров.

4. Специальные инструменты. Из многих специальных инструментов, применяемых при электротехнических работах, мы упомянем о приборах для испытания изолирующих материалов на пробой. Поскольку дело идет в данном случае о переносных приборах очень высокого напряжения, подобные работы должны быть признаны очень опасными и должны поручаться только



Фиг. 149. Прибор для испытания изолирующих материалов.

высоко квалифицированному персоналу. Однако и в этом случае необходимо принять все меры для защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям. На фиг. 149 показан прибор для испытания, в котором соединенный с источником высокого напряжения наконечник или штифт 13, благодаря пружине 12, закрывается изолирующей трубкой 8. И только во время самого испытания, когда электротехник держит прибор за ручку 1 и нажимает пальцем на рычажок 2, трубка 8 подвигается влево, и штифт 13 выходит наружу через узенькое отверстие на конце трубки. Все внешние части прибора сделаны из изолирующего материала (бакелит), который должен подвергаться тем же



электрическим испытаниям, что и штанги, клещи и другие ин-



Фиг. 150. Работа по испытанию изоляции при помощи прибора показанного на фиг. 149.

струменты. Работа с описанным прибором для испытания, изготовляющимся фирмой AEG, показана на фиг. 150.

## в. Защитные изолирующие средства.

1. Изолирующие подставки. Изолирующие подставки широко применяются для всяких работ под напряжением в установках с номинальным напряжением до 6000 V. Подставки, если они удовлетворяют известным требованиям, могут служить, в качестве основного защитного средства, т. е. рабочий, стоящий на подставке, считается достаточно изолированным от земли. Для напряжений более высоких, чем 6000 V, изолирующие подставки имеют меньшее значение, ибо при таких напряжениях допускаются под напряжением только специальные работы, производимые при помощи особых инструментов—штанг и клещей; при пользовании же этими инструментами изолирующие подставки оказываются излишними, если только инструменты удовлетворяют всем установленным для них правилам безопасности.

Изолирующие подставки состоят из настила, опирающегося на ножки, т. е. они имеют вид скамеек для ног (подножек), но крупных размеров. Лучшим материалом для настила служит дерево, которое должно быть хорошо высушено и окрашено масляной краской; кроме того дерево должно быть прямослойное и без сучков. В особенности хорошо должно быть обработано дерево для подставок, предназначенных для наружных устройств, с тем, чтобы материал был вполне сыростестойким. Далее, сплошной и гладкий досчатый настил не может быть допущен, ибо на таком настиле легко возможно скольжение и падение рабочих, что в непосредственной близости от токоведущих частей представляет большую опасность. Поэтому поверхность настила должна быть шероховатой, что может быть достигнуто применением настилов из деревянных брусьев или планок, укрепленных на деревянных рамах из более толстого дерева. Планки должны быть уложены часто, с зазорами, не превышающими 2,5 см, в противном случае возможно застревание каблука в промежутке между соседними планками. Такова конструкция настила в подставках, применяемых „Электротокком“ на своих подстанциях и распределительных пунктах в Ленинграде.

Основной изолирующей частью являются ножки подставки, которые поэтому должны быть сделаны из фарфора или дру-

того равноценного ему изолирующего материала. Возможно применение и деревянных ножек, но в таком случае дерево должно быть специально обработано для придания ему свойств вполне надежного изолятора. Кроме того необходимо иметь достаточную высоту ножек, в особенности имея в виду возможность присутствия влаги или пролитой воды на полу. Минимальная высота ножек от пола до нижней поверхности настила устанавливается в 5 см при низком напряжении и в 8 см при высоком напряжении. В подставках, применяемых „Электротокком“, ножки представляют собой фарфоровые ребристые изоляторы с прямоугольной выемкой внутри; в эти выемки входят деревянные пробки или колодки, скрепленные с рамой настила. При поднятии настила он легко отделяется от ножек, которые остаются на полу; такая конструкция весьма облегчает испытание изоляторов и их замену, однако же в отношении устойчивости подставки и безопасности работы на ней следует предпочесть прочное соединение ножек с настилом. Устойчивость подставки и ее механическая прочность, вообще, являются не менее важными факторами, чем изоляционные свойства, и на это должно быть обращено самое серьезное внимание. Устойчивость подставки должна быть вполне обеспечена даже при нахождении человека на самом краю подставки. Для этого внешние края настила не должны выступать за края опорных поверхностей ножек; всякие свесы и выступы настила могут вызвать опрокидывание подставок, а потому должны быть избегаемы.

Для того, чтобы, стоя на подставке, легко и удобно было выполнять нужную работу, подставка должна иметь достаточную площадь. В противном случае рабочий будет себя чувствовать на подставке неуверенно и будет стеснен в своих движениях, что особенно нежелательно при работах под напряжением. В упомянутом выше проекте правил и норм для защитных средств установлены следующие минимальные размеры подставок: для подставок, предназначенных для установок низкого напряжения, —  $0,75 \times 0,40$  м., а для подставок для высокого напряжения —  $0,75 \times 0,75$  м. С другой стороны и слишком большие размеры подставок нежелательны, ибо в таком случае сильно затрудняется передвижение подставки, ее чистка, осмотр и пр.

Максимальные размеры изолирующих подставок в проекте правил и норм установлены  $1,5 \times 1,0$  м.

Все изолирующие подставки в собранном виде или отдельные их ножки должны периодически испытываться напряжением. Для подставок, предназначенных для низкого напряжения, испытательное напряжение устанавливается в 10000 В, а для подставок, предназначенных для высокого напряжения (не свыше 6000 В), испытательное напряжение устанавливается в 40000 В. Продолжительность испытаний устанавливается в 15 минут. Подставки, предназначенные для наружных устройств, испытываются тем же напряжением, но под дождем. Испытание напряжением подставок или их ножек должно производиться каждые 6 месяцев, независимо от того, были ли подставки в работе или находились на складе.

Кроме электрического испытания все изолирующие подставки должны также подвергаться испытанию на механическую прочность. Это испытание должно состоять в том, что подставки нагружаются определенным грузом, который подставки должны выдержать без всякого вреда для себя. В проекте правил и норм устанавливается механическое испытание подставок распределенной по площади настила нагрузкой (гирями, железными частями и пр.), равной 750 кг на  $\text{м}^2$ ; подставки должны быть при этом в собранном виде, т. е. стоять на ножках. Указанное механическое испытание должно повторяться периодически, не реже одного раза в год.

Помимо испытаний, подставки должны подвергаться периодически тщательному внешнему осмотру, причем в случае обнаружения трещин, значительных деформаций, ослабления связи между частями настила и других повреждений, подставки должны быть изъяты из обращения. Наружный осмотр должен производиться не реже одного раза в 3 месяца.

Особое внимание должно быть обращено на содержание изолирующих подставок в чистоте и порядке. В этом отношении подставки, стоящие на полу, находятся в особенно неблагоприятных условиях, по сравнению с другими защитными средствами и приспособлениями. Покрытие подставки слоем токопроводящей пыли и грязи может свести на нет ее изолирующие свой-

ства, и в таком случае подставка может принести скорее вред, чем пользу, ибо рабочий, считая себя достаточно защищенным подставкой, не примет других мер предосторожности. Тщательная очистка подставок должна производиться регулярно, не реже 1 раза в 3 месяца, вместе с наружным осмотром. При нахождении же подставки в пыльном и грязном помещении очистка должна совершаться значительно чаще. Изолирующие подставки должны быть так установлены, чтобы их осмотр и очистка не могли представить затруднений. С этой точки зрения следует признать нежелательным сплошное покрытие пола помещения подставками, расположенными одна рядом с другой. При таком расположении доступ к нижней поверхности настила и к ножкам подставок сильно затрудняется, или под подставками легко накапливается пыль и грязь, с трудом оттуда удаляемая. Назначение изолирующей подставки — защита рабочего на время совершения определенной работы в определенном месте. Если же желательно иметь во всем помещении или в известной его части изолированный пол, как это имеет место в помещениях ртутных выпрямителей, аккумуляторов или на электрохимических заводах, то необходимо устраивать постоянный и неподвижный изолирующий пол, а не прибегать к подставкам, хотя бы и сдвинутым вплотную друг к другу в виде сплошного настила.

2. Резиновые коврики. Ту же роль, что изолирующие подставки, выполняют резиновые коврики или маты. Однако заменить подставки во всех случаях коврики никак не могут, ибо последние далеко уступают подставкам в смысле надежности изолирующего действия. Действительно, как бы тщательно коврики ни были изготовлены, они, как и другие резиновые изделия, подвержены проколам, порезам и другим повреждениям, которые могут свести на нет изолирующие свойства коврика. Кроме того, будучи применены в грязных и сырых помещениях, они при сравнительно небольшой толщине, могут легко покрыться токопроводящим слоем и отсыреть, после чего восстановление их изолирующих свойств может представить затруднения. Наконец, резина подвержена действию света, температуры, излишней сухости и т. д., вследствие чего ее механические и электрические свойства могут сильно изменяться. Вследствие указанных при-

чин коврики, как и другие резиновые защитные средства, могут служить в качестве основного защитного средства только при низких напряжениях. При высоких же напряжениях (до 6000 V) коврики допускаются в качестве дополнительной меры защиты, т. е. кроме ковриков необходимо применить еще другие защитные средства. Для напряжений выше 6000 V коврики, как и другие резиновые изделия, вообще не допускаются.

Для увеличения прочности ковриков они изготавливаются с прослойкой из связывающей бумажной ткани, находящейся в резиновом слое и расположенной в нижней части коврика. Для устранения возможности скольжения поверхность резинового коврика должна быть шероховатой, что легко достигается применением резины с бугорчатой, рифленой или решетчатой поверхностью. Минимальные размеры изолирующих резиновых ковриков определяются в  $0,75 \times 0,75$  м.

Электрическое испытание ковриков должно происходить в течение 15 минут при напряжении, равном 2,5-кратному номинальному напряжению, для которого коврики предназначены; минимум испытательного напряжения устанавливается в 3000 V. Кроме испытания на пробой необходимо, как и для других резиновых защитных средств, испытание ковриков на утечку тока; для защитных средств это имеет большое значение, ибо даже и малые токи утечки могут представить опасность для жизни человека (см. главу I). В качестве предельной силы тока утечки при испытании устанавливается 0,5 мА на каждые 1000 V испытательного напряжения. Для испытания резиновые коврики укладываются нижней стороной на плоский электрод; верхняя шероховатая сторона коврика покрывается проводящим или полупроводящим слоем (напр. графитом) для заполнения неровностей, и затем накрывается вторым электродом. Испытанию подвергается таким образом вся поверхность изолирующего коврика, за исключением полосы шириной в 5 см вдоль всех краев коврика; эта полоса необходима для предупреждения поверхностно о разряда, по краям коврика. Электрическое испытание должно производиться периодически, через каждые 6 месяцев.

Кроме испытания коврики должны подвергаться не реже 1 раза в месяц наружному осмотру, причем в случае обнаруже-

ния заусениц, пузырей, мелких отверстий, трещин, выступов, посторонних включений и других изъянов, коврики должны быть изъяты из обращения. Хранение ковриков, как и других резиновых защитных средств, должно производиться в закрытом, темном, не слишком сухом помещении, при температуре от  $15^{\circ}$  до  $25^{\circ}$  С.

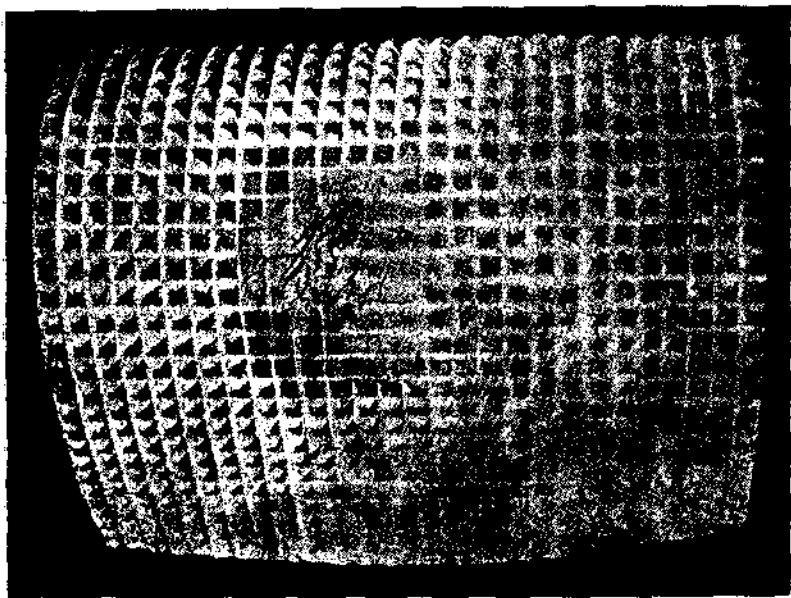
Резиновые защитные коврики изготавливаются на заводе „Красный Треугольник“ в Ленинграде. Коврики изготавливаются в виде дорожек шириной в 1,5 м, а по длине они разрезаются согласно требуемых размеров; толщина резины делается от 3 до 7 мм. Образцы этих ковриков испытывались в Ленинградском Институте гигиены труда и техники безопасности инж. В. Ф. Трухановой<sup>1)</sup>. Коврики выдерживали, в зависимости от толщины резины и др. условий, напряжение до 10000—30000 В, сила тока утечки не превышала 0,2 мА на каждые 1000 В испытательного напряжения. Отрицательным результатом испытаний следует признать перерождение материала и потерю им эластичности при длительном воздействии высокого напряжения (25 минут); на испытанных ковриках, при последующем их сворачивании, появлялись в месте испытания извилистые ветвистые трещины. Подобный коврик с трещинами изображен на фиг. 151; согласно вышеприведенным правилам, этот коврик не может быть допущен к применению.

Кроме изоляции ног от пола резиновые коврики или маты могут применяться при производстве электромонтажных работ для закрытия соседних токоведущих частей, а также для закрытия заземленных предметов, находящихся вблизи от тех частей под напряжением, над которыми производится работа. Применение ковриков для этой цели можно особенно рекомендовать, ибо никакая изолирующая подставка не может служить защитой в случае одновременного случайного прикосновения к токоведущей и заземленной части, или к двум токоведущим частям разной полярности. Таким образом применение подставки

<sup>1)</sup> См. В. Ф. Труханова. Исследование электрической прочности резиновых галош, перчаток, рукавиц и прочих резиновых изделий, изготавливаемых заводом „Красный Треугольник“ в Ленинграде. Сборник „Техника безопасности в промышленности“. Ленинград. 1928.

для изоляции ног желательно соединить с одновременным применением там, где это возможно, ковриков для защиты от указанных случайных прикосновений.

На фиг. 152 показано применение резиновых ковриков для закрытия воздушных проводов, как это широко практикуется в Америке. Провода обертываются ковриками, которые после того привязываются резиновыми лентами. Поскольку у нас ра-



Фиг. 151. Резиновый коврик после испытания.

бота под напряжением на линиях чередачи запрещена, за исключением специальных работ, производимых при помощи штанг и клещей, подобное применение ковриков было бы целесообразно лишь для защиты от возможности случайного появления на проводах напряжения, в случае неправильного включения до окончания работ на линии.

3. Резиновые галоши и резиновая обувь. Для изоляции ног от пола вместо ковриков могут быть применены резиновые галоши. Галоши имеют то большое преимуще-



ство перед ковриками, что рабочий во все время работы под напряжением остается в галошах, независимо от своего положения, в то время как с коврика рабочий может случайно сойти, прикасаясь в то же время к токоведущим частям. С другой стороны галоши в большей мере подвержены износу и повреждениям, нежели коврики.

Защитные резиновые галоши должны быть специальные изолирующие, изготовленные для работ под напряжением. Обычные



Фиг. 152. Применение резиновых ковриков для закрытия проводов.

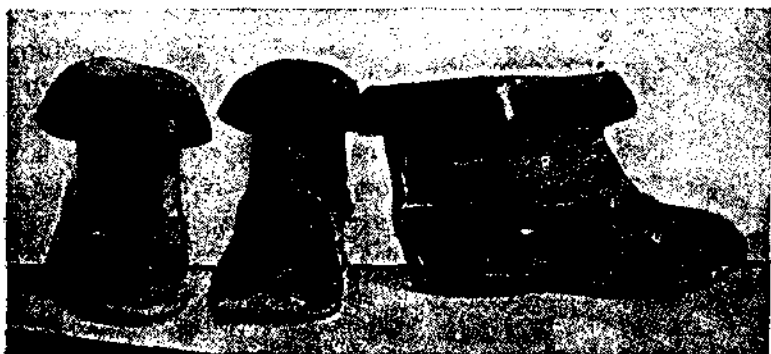
дождевые галоши не должны допускаться в качестве защитного средства при обслуживании электрических установок. Для того, чтобы изолирующими галошами не пользовались вместо дождевых галош или ботов, они должны между собой отличаться по цвету, для чего изолирующие галоши следует делать не черного, а другого цвета, напр. светло-серого, без лакировки.

Правила и нормы испытаний, осмотров и хранения изолирующих галош устанавливается те же, что и для ковриков (см. выше). Разница заключается только в способе

электрического испытания. Для испытания галоши погружаются в воду с двухпроцентным раствором поваренной соли (по весу) так, чтобы вода не доходила до нижней точки периметра борта на 2 см, для устранения возможности поверхностного разряда через борт. До такой же высоты вода с раствором соли наливается и внутрь галош. Электроды опускаются в воду извне и изнутри испытуемого изделия.

Завод „Красный Треугольник“ изготовляет специальные изолирующие галоши в виде тяжелых бот с подкладкой из белого трико и с резиновыми отворотами; эти боты изображены на

фиг. 153. Толщина резины этих галош в подошве 12—16 мм, в боковой стороне 7,5—8 мм. и в отверстии 3,5—4 мм. Эти боты испытывались инж. В. Трухановой (см. выше), причем испытанные образцы выдержали напряжение в 20000 В в продолжении 25 минут; замеренные токи утечки при этом не превышали 0,14 мА на 1000 В испытательного напряжения. Никаких дефектов в ботах в результате испытаний замечено не было. Боты являются таким образом вполне надежными в отношении изолирующих свойств; недостатком их является весьма большой вес и большие размеры, что сильно затрудняет



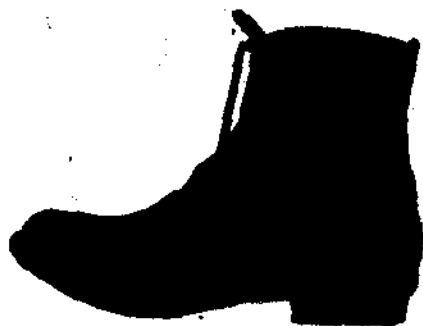
Фиг. 153. Изолирующие галоши завода „Красный Треугольник“.

их применение. Необходимо добиться значительного облегчения галош за счет уменьшения толщины резины, что вполне возможно, принимая во внимание весьма большую электрическую прочность, обнаруженную ботами завода „Красный Треугольник“. Для работ на низком напряжении (напр. до 500 В) достаточную защиту могут представить изолирующие галоши мелкого типа (не боты), также изготавливаемые заводом „Красный Треугольник“. Что касается обычных (дождевых) бот и галош, то испытания, произведенные инж. В. Трухановой, дали отрицательный результат в отношении токов утечки, которые оказались слишком большими.

За границей, главным образом в Америке, вместо резиновых галош и бот применяется специальная изолирующая обувь, сде-

данная целиком из резины и снабженная толстыми резиновыми подошвами. Подобная американская обувь, испытанная на напряжение 20000 V, изображена на фиг. 154. Само собой разумеется, что при том же изолирующем эффекте резиновая обувь оказывается более легкой, чем галоши или боты, надетые на обыкновенную обувь.

4. Резиновые перчатки и рукавицы. Последними в ряду изолирующих защитных средств мы рассмотрим резиновые перчатки и рукавицы, имеющие особое значение в дела предохранения от поражений электрическим током. Действительно, защита от тока, проходящего через ноги человека в землю, достигается



Фиг. 154. Изолирующая резиновая обувь.

разными изолирующими средствами, как-то подставками, ковриками, галошами. Все эти средства, однако, не имеют никакого значения для предупреждения опасности случайного одновременного прикосновения при работе к токоведущей и соседней заземленной части или к токоведущим частям разной полярности. Защиту от указанной опасности из описанных выше защитных средств могут дать лишь

инструменты с изолирующими рукоятками; однако, далеко не все работы могут быть выполнены при помощи инструментов, очень часто приходится работать над токоведущими частями непосредственно руками. Закрытие соседних токоведущих или заземленных частей резиновыми ковриками возможно также лишь в некоторых случаях. Таким образом, очень часто единственным, практически применимым защитным средством против указанной опасности остаются резиновые перчатки или рукавицы, защищающие руки от непосредственного прикосновения к тем частям, над которыми производится работа.

С другой стороны, чтобы давать действительную защиту от опасности поражения электрическим током, изолирующие перчатки и рукавицы должны отвечать очень высоким требованиям

в отношении как электрической, так и механической прочности, и в то же время должны быть достаточно легкими, мягкими и эластичными, с тем, чтобы работа в них не была слишком затруднена. Одновременное выполнение указанных требований встречает на практике немалые затруднения, в результате чего защитные перчатки и рукавицы очень часто не отвечают своему назначению, либо же настолько неудобны в работе, что ими избегают пользоваться. При таких условиях не удивительно, что среди электротехников довольно широко распространено отрицательное отношение к перчаткам и рукавицам, как к защитному средству. В некоторых странах, напр. в Германии, резиновые перчатки и рукавицы вообще не допускаются в качестве защитного средства, ибо считается, что они могут принести вред, вызывая у рабочего необоснованное чувство безопасности. В других же странах, главным образом в Америке, наоборот, резиновые перчатки широко распространены в качестве защитного средства, и достигнуты большие успехи в технике изготовления этих перчаток. Нам представляется несомненным, что следует предпочесть американскую практику, и вместо того, чтобы вообще отвергать резиновые перчатки и рукавицы, необходимо всячески стремиться к улучшению их качества и к возможно большему применению перчаток и рукавиц при электромонтажных работах, ибо значение их в деле предохранения от поражений электрическим током весьма велико, поскольку во многих случаях они не могут быть заменены никаким другим защитным средством. Упомянутое же выше соображение о ложном чувстве безопасности следует признать вообще неосновательным, ибо логическое развитие этого положения, могло бы привести к отрицанию всяких защитных и предохранительных средств, которые вообще не могут быть абсолютно надежными.

В то же время, учитывая качество перчаток и рукавиц, изготовляемых в настоящее время, необходимо для них ввести то же ограничение, как и для других резиновых защитных средств, рассмотренных выше, именно о применении их на высоком напряжении лишь в качестве дополнительного защитного средства. Таким образом, для работ под напряжением в установках высокого напряжения (до 6000 V), во всех случаях, когда эти работы

не могут быть произведены при помощи специальных инструментов, можно рекомендовать применение изолирующей подставки, как основного средства для изоляции от пола, и резиновых перчаток или рукавиц, как дополнительного средства, главным образом для защиты от случайных одновременных прикосновений руками к частям разного потенциала. Для работ под напряжением в установках низкого напряжения можно ограничиться одними перчатками или рукавицами, которые в данном случае будут служить защитой против обеих опасностей (замыкание цепи тока через пол и через соседние металлические части).

Защитные резиновые перчатки и рукавицы должны быть специальные, изолирующие, изготовленные для электромонтажных работ. Резиновые перчатки и рукавицы, изготавливаемые для других целей (напр. медицинские, для обращения с кислотами, для сварных работ и пр.), не могут быть допущены в качестве защитного средства при обслуживании электрических установок. Защитные перчатки отличаются от других резиновых перчаток как качеством и способом обработки резины, так и ее толщиной. Кроме того, защитные перчатки должны быть достаточно длинными, чтобы закрывать концы рукавов платья; нормальные размеры защитных резиновых перчаток и рукавиц (в длину) устанавливаются в 30 и 40 см.

Завод „Красный Треугольник“ в Ленинграде изготавливает специальные изолирующие перчатки и рукавицы из резины марки 12 S (из этой же резины изготавливаются и другие защитные изолирующие средства), разных размеров, длиной от 25 до 40 см., с подкладкой и без подкладки. На фиг. 155 изображены перчатки, а на фиг. 153—рукавицы завода „Красный Треугольник“; на каждой из этих фигур показан большой и малый размер. Нужно заметить, что длина изделий малого размера недостаточна; минимальная длина должна быть, как указано выше, равна 30 см. Толщина резины в этих перчатках и рукавицах—от 1,3 до 1,7 мм.

Указанные перчатки и рукавицы изготавливаются путем сшивания отдельных кусков резины. Наличие шва является большим недостатком, ибо швы представляют самое слабое место в изделии, в отношении как электрической, так и механической прочности пробой при испытании напряжением обыкновенно происходит

именно в швах. Для того, чтобы перчатки и рукавицы со швом были достаточно надежными и прочными, приходится сильно увеличивать толщину резины, что затрудняет пользование перчатками и рукавицами. И действительно, если изделия завода,



Фиг. 153. Изделия перчатки завода „Красный Треугольник“.

„Красный Треугольник“, как показывают результаты испытаний, обладают достаточной электрической прочностью, то с другой стороны они являются слишком грубыми, жесткими и тяжелыми. Нужно признать, что в указанных выше перчатках и рукавицах довольно трудно производить даже грубую работу, не говоря уже о более мелкой и точной. В этом отношении качество пер-

чаток и рукавиц завода „Красный Треугольник“ должно быть значительно улучшено, прежде чем они действительно могли бы получить широкое распространение и применение для электромонтажных работ. Одно из основных улучшений должно заключаться в переходе к изделиям без шва, изготавливаемым посредством так называемого „макания“, т. е. многократного опускания колодки, имеющей внешнюю форму изделия, в жидкую резиновую массу. Этот процесс применяется широко на заводе для



Фиг. 156. Изолирующие рукавицы завода „Красный Треугольник“.

изделий с малой толщиной резины. Для изолирующих же перчаток и рукавиц приходится, для получения нужной толщины, прибегать к 30—40 и более маканиям, как это и практикуется в Америке. При существующих на заводе „Красный Треугольник“ производственных условиях получаемые таким образом защитные перчатки и рукавицы обходятся слишком дорого, поэтому сейчас сколько-нибудь значительное распространение изделий без шва практически неосуществимо. Вот почему Комиссия при Ленинградском Отделении ЦЭС'а, разрабатывавшая проект правил и норм для защитных средств, хотя и признала как правило, что

перчатки и рукавицы должны быть без шва, допустила применение этих изделий со швом до 1-го января 1932 года, к каковому сроку должно быть поставлено массовое производство изделий без шва.

В Америке имеют большое распространение двойные перчатки, изображенные на фиг. 157. На сравнительно тонкие изолирующие резиновые перчатки без шва надеваются вторые кожаные перчатки, служащие для защиты резиновых перчаток от механических повреждений. Изображенные на фиг. 157 перчатки испытываются на 10000 V; средняя длина их равна 35 см.

Нормы электрического испытания защитных перчаток и рукавиц устанавливаются несколько пониженные по сравнению с другими защитными резиновыми изделиями. Согласно упомянутого проекта правил и норм, основывающегося в отношении перчаток и рукавиц на данных американского стандарта, защитные перчатки и рукавицы испытываются в течение 1 минуты при напряжении, равном 2,5-кратному номинальному напряжению, для которого предназначены перчатки или рукавицы, и, кроме того, в течение 5 минут при напряжении, равном 2-кратному номинальному напряжению. Минимальное испытательное напряжение устанавливается в 3000 V. Сила тока утечки не должна превосходить 1 мА на каждые 1000 V испытательного напряжения. Электрическое испытание должно, как и для других защитных средств, повторяться через каждые 6 месяцев, независимо от того, были ли перчатки и рукавицы в работе или находились на складе.

Для испытания резиновые перчатки и рукавицы погружаются в воду с двухпроцентным раствором поваренной соли (по весу); этой же водой перчатки и рукавицы наполняются изнутри. Вода как снаружи, так и внутри, должна быть на уровне 5 см ниже верхнего края рукавицы или перчатки. Электроды опускаются в воду извне и изнутри испытуемого изделия.



Фиг. 157. Длинная изолирующая перчатка.



На фиг. 158 изображено испытание ряда перчаток на особом столе; перчатки, согласно сказанному выше, опущены в банки с раствором и подвешены на цепочках, прикрепленных к особой стойке из изолирующего материала. Испытание производится при комнатной температуре, от  $15^{\circ}$  до  $35^{\circ}$  С.



Фиг. 158. Электрическое испытание изолирующих перчаток.

По данным инж. В. Трухановой, испытывшей изолирующие перчатки и рукавицы завода „Красный Треугольник“, в количестве около 70 образцов, максимальное напряжение, которое перчатки и рукавицы выдерживали при длительном испытании, оказалось 7000 V. Мгновенный пробой происходил при напряжениях от 11000 до 20000 V, причем перчатки и рукавицы всегда пробивались в швах. Токи утечки при длительных

испытаниях в среднем были равны 4 мА, максимальная величина этих токов — 6,5 мА. Таким образом, принимая во внимание, что длительное испытание происходило при 7000 В, токи утечки не превосходили 1 мА на 1000 В испытательного напряжения.

Кроме электрического испытания, материал, из которого изготавливаются перчатки и рукавицы, должен быть подвергнут механическому испытанию на эластичность, состоящему в следующем: резиновая ленточка длиной 10 см и шириной 1 см должна выдерживать трехкратное удлинение, причем остаточное удлинение не должно превышать 3%. Продолжительность механического испытания устанавливается в 12 минут: 10 минут перчатка или рукавица остается в растянутом состоянии, затем следует отдых в течение 2 минут, после чего производится измерение остаточного удлинения.

В отношении периодических осмотров (не реже 1 раза в месяц) и условий хранения, для перчаток и рукавиц устанавливается те же правила, что и для других защитных резиновых изделий (см. выше, при описании резиновых ковриков).

### с. Указатели напряжения.

Все описанные выше защитные средства служат для работы под напряжением. Для работ же, совершаемых на выключенных участках сети, имеют большое значение указатели напряжения, дающие возможность удостовериться в отсутствии напряжения на данном участке, без риска подвергнуться поражению электрическим током. Основное условие для указателей напряжения, наряду с безопасностью обращения,—это легкость, портативность и удобство применения; в противном случае электромонтеры будут избегать пользоваться этими приборами, и они не выполнят своего назначения.

При низком напряжении указателем напряжения очень часто служит небольшой портативный вольтметр прочной конструкции, или же, что проще, переносная лампа накаливания с предохранительной сеткой. Как вольтметр, так и лампа, должны быть снабжены проводами с твердыми наконечниками, имеющими хорошо изолированные ручки, с тем, чтобы эти наконечники можно было удобно и безопасно приставлять к испытываемым

проводам, контактам и зажимам. При отсутствии таких наконечников приходится прижимать соединительные провода от вольтметра или лампы к токоведущим частям, придерживая про-

вода за самые их концы, которые либо вовсе не имеют изоляции, либо же плохо изолированы. При таких условиях испытание вольтметром или лампой может оказаться не менее, если не более опасным, чем испытание прямо рукой, „на ощупь“, которое может быть произведено быстрее.

Как вольтметр, так в особенности лампу, обыкновенно приходится при испытании где-нибудь поставить или повесить, что на практике далеко не всегда удобно. Кроме того, и вольтметр и лампа не выносят толчков, ударов и вообще грубого обращения, что опять таки ограничивает их применение. Более удобными являются поэтому специальные указатели напряжения. Из таких указателей, предназначенных для работы на низком напряжении, довольно большое распространение получили приборы, действующие по принципу электрических зажигалок и представляющие собою миниатюрные дуговые лампы. Подобный прибор изображен на фиг. 159. При прикладывании двух наконечников с изолированными ручками к токоведущим частям разной полярности,



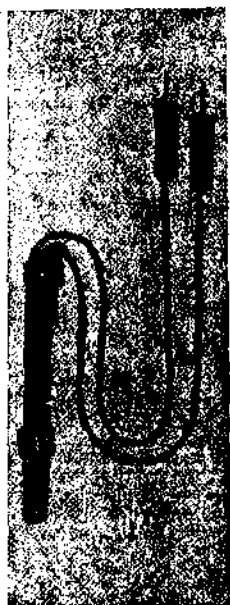
Фиг. 159. Низковольтный указатель напряжения.

на конце прибора появляется искра, указывающая на присутствие напряжения. Прибор работает на постоянном и переменном токе при напряжениях 110 и 220 В и является гораздо более прочным и портативным, нежели лампа или вольтметр.

Еще более удобным являются прибор, изображенный на фиг. 160 и действующий на том же принципе. Этот прибор, германской фирмы Онкен (Н. Опкен), носящий название „Шпион“, дает при прикладывании наконечников к токоведущим частям вместо искры—звуковые сигналы в виде повторяющегося стука. При постоянном токе это стучание получается равномерное, при переменном токе — неравномерное. В виду отсутствия искры, и вообще световых сигналов, прибор может оставаться при испытании в кармане у монтера, причем для лучшего укрепления он снабжен зажимом на подобие карандаша или вечного пера. Таким образом обе руки при испытании совершенно свободны, что является большим преимуществом прибора, который в смысле удобства обращения не оставляет желать ничего лучшего. Прибор может применяться для напряжений от 100 до 500 V, т. е. имеет гораздо более широкие пределы применения, чем переносная лампа.

Для установок высокого напряжения описанные приборы, а тем более обыкновенные лампы или переносные вольтметры не годятся. Основным условием безопасности для указателей высокого напряжения является то, чтобы при испытании не приходилось близко подходить или подводить руку к токоведущим частям. В качестве указателя напряжения для высоковольтных линий переменного тока очень часто применяется телефон. Приложив телефон к уху и подойдя к линии или высоковольтной установке на расстояние 1—2 м, берут конец провода, идущего к одному из полюсов телефона, в руку, а провод от другого полюса оставляют свободным. Если в линии или в данной части установки имеется высокое напряжение, телефон будет гудеть, в противном случае никаких звуков не получится.

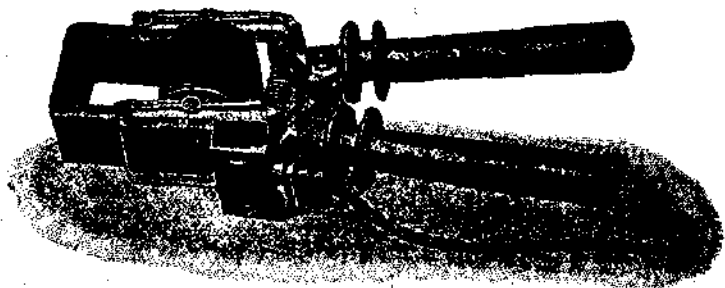
Указанный способ может быть применен, однако, только для определения присутствия или отсутствия напряжения в линии



Фиг. 160. Низковольтный указатель напряжения, дающий звуковые сигналы.

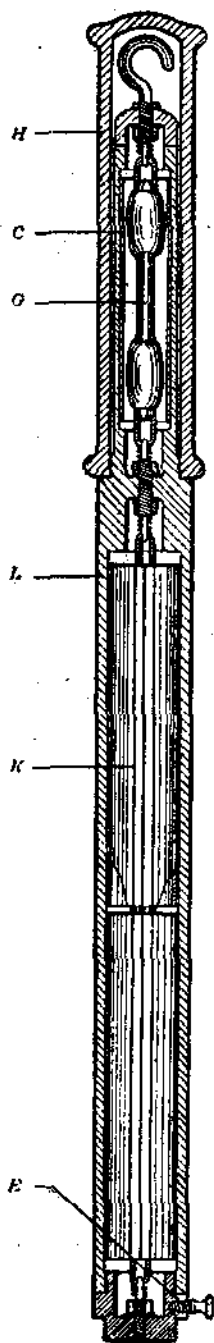
или в целой части установки, но не на определенном приборе или на определенных проводах. Для последней цели иногда применяют так называемые щипцы Дитца, изображенные на фиг. 161. Это — трансформатор тока, с раздвижным магнитным сердечником, которым может быть окружен испытуемый провод. Во вторичную цепь трансформатора включается телефон или же амперметр, который в таком случае прямо укажет силу тока в высоковольтном проводе. Щипцы Дитца очень удобны для измерительных работ, но слишком громоздки для простого испытания присутствия напряжения.

В настоящее время для быстрого и удобного указания высокого напряжения имеется много специальных приборов, боль-

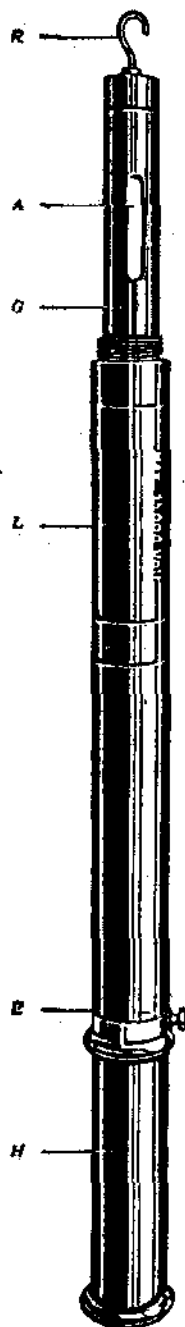


Фиг. 161. Щипцы Дитца.

шая часть которых основана на принципе зарядного тока, проходящего через трубку с сильно разреженным газом (трубку Гейслера). Подобный прибор был впервые сконструирован проф. Циппом, а потому часто называется „трубкой Циппа“. Трубка Циппа в разрезе изображена на фиг. 162, а ее внешний вид — на фиг. 163. В трубку *L* из высокосортного эбонита заключена неоновая трубка *G* (защищенная еще стеклянным колпаком *C*) и конденсатор *K*; верхний зажим конденсатора соединен с неоновой трубкой, а нижний — с внешним зажимом *E*, который при испытании заземляется. При прикосновении к токоведущим частям крючка *R*, соединенного с верхним концом неоновой трубки, через последнюю и конденсатор идет зарядный ток, что вызывает свечение трубки, наблюдаемое через

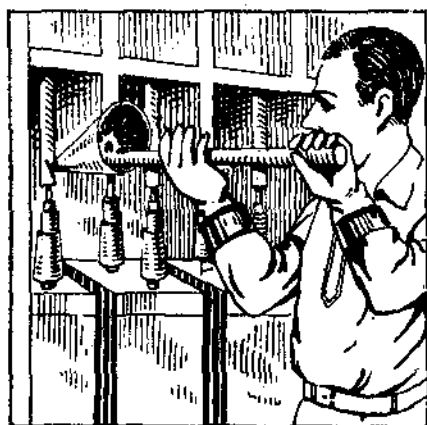


Фиг. 162. Трубка Циппа.  
Разрез.



Фиг. 163. Трубка Циппа.  
Внешний вид.

окошко А. Буквой Н обозначена навинчиваемая на нижний конец трубки рукоятка, которая в нерабочем состоянии служит защитным колпаком для верхней, рабочей части прибора. Для напряжений свыше 25000 В конструкция прибора несколько изменяется; при таких напряжениях оказывается достаточным



для действия прибора емкость конденсатора относительно окружающего воздуха, а потому необходимость в заземлении прибора отпадает.

Построенный на этом же принципе американский прибор, действующий без заземления, под названием „Глоутектор“ (Glowtector) изображен на фиг. 164. Гейслерова трубка заключена в изолирующий бакелитовой футляр с длинной ручкой; длина всего прибора, имеющего вид штанги, равна 1,2—1,5 м, вес

Фиг. 164. Американский высоковольтный указатель напряжения.

около 1 кг. Для того, чтобы свечение трубки было хорошо видно и днем, при сильном внешнем освещении, прибор снабжен специальным колпаком.

#### д. Предохранительные пояса и другие средства против падения с высоты.

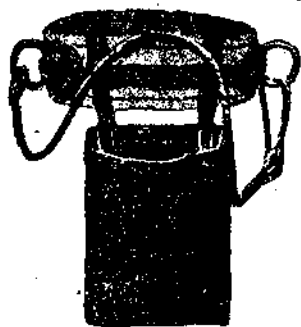
Предохранительные пояса являются защитным средством против падения, а не против поражения электрическим током, как все вышеописанные в книге средства и меры безопасности. Несмотря на это, предохранительные пояса можно считать специфическими приспособлениями, применяющимися при обслуживании электрических установок, ибо электромонтажные работы очень часто приходится вести на возвышенных местах, в очень неудобных и опасных положениях. Сюда относится работа по прокладке и ремонту проводов на крышах и стенах зданий, и в особенности на мачтах и столбах воздушных электрических линий. С другой стороны опасность падения до некоторой

степени связана и с поражением электрическим током, ибо нередко в результате электрического удара, который может быть сам по себе не опасен для жизни, но сопровождается нервным потрясением или кратковременной потерей сознания, происходит падение с большой высоты, приносящее увечие или смерть рабочего. Таким образом и здесь поражение током является если не прямой, то косвенной причиной несчастного случая, который может быть предотвращен применением предохранительных поясов и других мер безопасности.

Предохранительный пояс, специально приспособленный для электромонтажных работ, изображен на фиг. 165. К проч-



Фиг. 165. Предохранительный пояс.



Фиг. 166. Предохранительный пояс простого типа.

ному кожаному кушаку прикреплен посредством железных колец и замков „карабинового“ типа кожаный ремень длиною до 2 м; в более простых поясах вместо кожаного ремня приме-



няется канат. Перед началом работы на высоте электромонтер надевает на себя кушак, а ремень закидывает за столб воздушной линии или за какуюнибудь другую прочно укрепленную часть сооружения: выступ крыши, дымовую трубу, крюк или траверзу на стене и т. п. После закидывания или зацепления ремня, последний соединяется с кушаком посредством одного из замков-карабинов. Ширина кушака, изображенного на фиг. 165, равна 7,5 см, а ширина ремня — 5 см. К кушаку при помощи специальных ремешков привя-



Фиг. 167. Замок для предохранительного пояса.

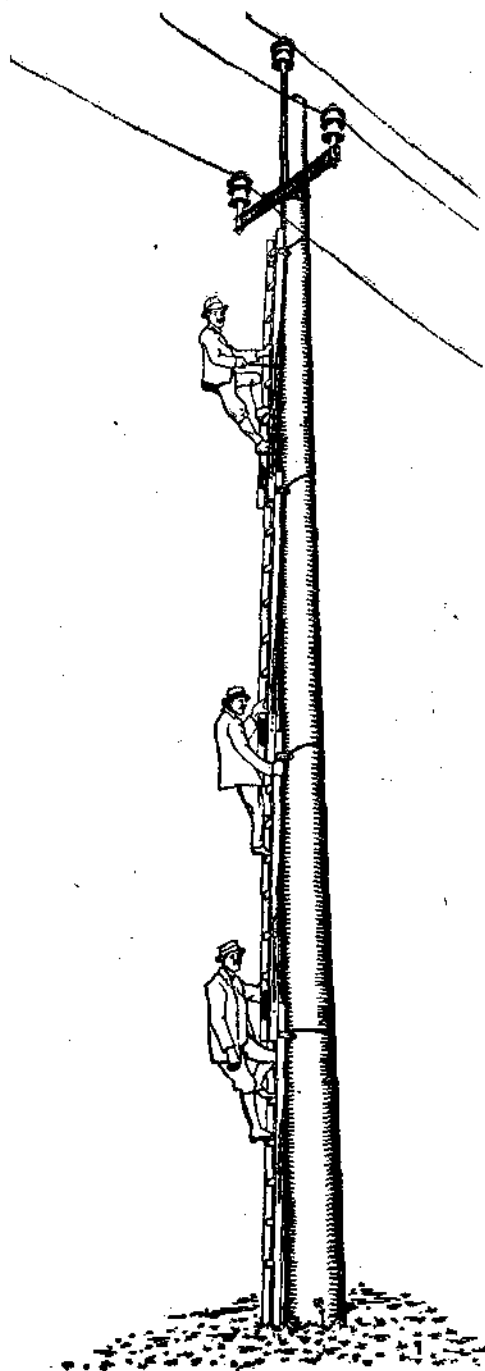
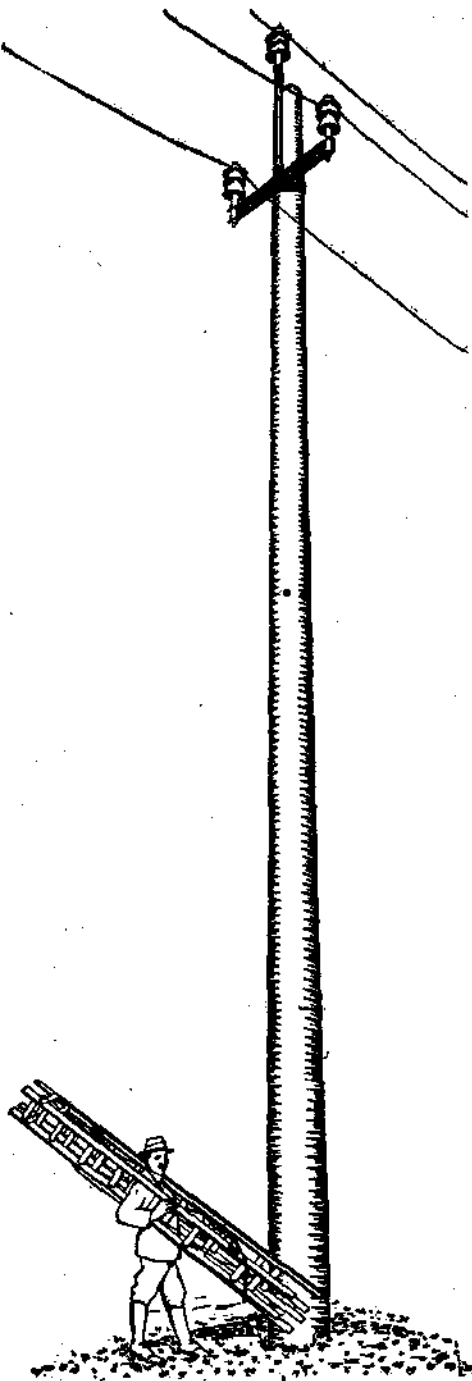
зывается монтерская сумка или отдельные инструменты. Пояс более простого типа с канатом вместо кожаного ремня изображен на фиг. 166. К поясу подвешена монтерская сумка в виде мешка.

Для выполнения своего назначения предохранительный пояс должен иметь достаточный запас прочности, чтобы надежно удерживать на весу одного человека. Особенное внимание должно быть обращено на выполнение замков, которые наряду с легкостью зацепления должны давать полную гарантию против возможности случайного открытия. Замок новейшей американской конструкции изображен отдельно на фиг. 167.

Работа электропроводчика на столбе воздушной линии, с применением предохранительного пояса, изображена на фиг. 168. Столб деревянный, и рабочий стоит на нем при помощи „ког-



Фиг. 168. Работа на столбе с применением предохранительного пояса.



Фиг. 169. Раздвижная лестница для обслуживания воздушной линии.

тей", представляющих железные острия, прикрепляемые к ногам посредством ремней. Нужно сказать, что даже при условии применения предохранительного пояса такой способ работы, несмотря на его широкое распространение, никак нельзя признать удовлетворяющим требованиям безопасности. Физическая тренировка, требующаяся для совершения подобной работы, прибли-



Фиг. 170. Опора с трансформатором, удовлетворяющая требованиям безопасности.

жается по своему характеру к тренировке акробата, а не обыкновенного рабочего. Поэтому следует всячески стремиться к введению более безопасных и надежных способов работы на мачтах и столбах воздушных линий, при помощи всякого рода переносных и передвижных лестниц или при помощи неподвижных стремянок, которыми должны быть снабжены мачты и столбы, как металлические, так и деревянные. На устройстве лестниц, стремянок, подмостей и тому подобных сооружений для работ на высоте мы здесь подробно останавливаться не будем, ибо обычно они не представляют собой ничего особенного по сравнению с другими подобными же сооружениями, применяемыми при строительных работах, при обслуживании трансмиссий и т. д. Сведения об этих устройствах можно найти в других выпусках настоящей серии, напр.: Проф.

А. А. Пресс и инж. С. А. Пресс „Трансмиссии“ (Выпуск 3, издание второе, 1930) и инж. Н. Н. Тетеревников „Строительные работы“ (Выпуск 12, издание второе, 1930).

Применение раздвижной лестницы для обслуживания воздушной электрической линии показано на фиг. 169. Каждая секция лестницы прочно удерживается на месте при помощи цепи или стального каната, прикрепленного к верхнему концу секции; каждый канат обертывается вокруг столба, пропускается через ролик и отводится вниз, где прикрепляется к нижнему концу

секции. Для получения необходимого расстояния между лестницей и столбом, что очень важно для удобного пользования лестницей, служат специальные выступы, укрепленные на верхнем конце каждой секции и упирающиеся в столб. Показанная на фиг. 169 лестница, состоящая из 4 секций, имеет высоту 12 м и весит всего 35 кг. Лестница предназначена главным образом для бетонных столбов, для которых пользование когтями невозможно; однако применение лестницы вместо когтей весьма желательно также и для деревянных столбов.

Для опор, на которых установлены трансформаторы, необходимо устройство надежных стремянок, а кроме того и особых площадок наверху, снабженных перилами; для возможности удобного и безопасного обслуживания трансформаторов. Подобное устройство изображено на фиг. 170.

---

## ЛИТЕРАТУРА.

### А. КНИГИ И БРОШЮРЫ.

#### І. На русском языке.

Еллинек, С. Несчастные случаи от электричества. Перевод А. А. Летавета и П. И. Синева. Москва, 1927.

Кобер Д. и Хэнсон, В. Профессиональные болезни и гигиена профессий Томас Оливер. Повреждения от электричества и электрический ток. Москва, 1927.

Левицкий, М. Электротехника. Охрана жизни и здоровья рабочих в промышленности. Под редакцией А. А. Пресса. Часть I, Выпуск 2. Петербург, 1914,

Никольский, Д. Первая помощь при несчастных случаях. Охрана жизни и здоровья рабочих в промышленности. Под редакцией А. А. Пресса. Часть I, Выпуск 3. Петербург, 1915.

Пресс, С. Опасности от электричества и меры борьбы с ними. Второе издание. Москва, 1928.

Смуров, А. Токи высокого напряжения. Безопасность труда. Под редакцией проф. А. А. Пресса. Выпуск 7. Москва, 1928.

Тишков, И. О. О сопротивлении человеческого тела электрическому току. Петербург, 1886.

Штейнгауз, О. Опасно ли электричество? Москва, 1927.

#### II. На иностранных языках.

Besag, E. Erden, Nullen, Schutzschaltern. Karlsruhe, 1926/27.

Grempe, P. Elektrotechnik und Unfallverhütung. Berlin, 1918.

Issarte, M. Cours de dangers des courants electriques. Paris, 1927.

Jellinek, S. Der elektrische Unfall. Leipzig und Wien, 1925.

Jellinek, S. Elektrische Spurenkunde. Berlin, 1927.

Kämpf-Lehmann. Unfallverhütungstechnik. Leipzig, 1926.

Lauffer, A. Electrical injuries. New-York, 1912.

Lauffer, A. Resuscitation. New-York, 1915.

- Mauduit, A.** Installations Electriques à Haute et Basse Tension. 2 Volumes. Paris, 1926.
- National Safety Council.** Electrical Equipment in Industrial Plants. Safe Practices Pamphlet № 29. Chicago.
- National Safety Council.** Portable Electric Hand Tools. Safe Practices Pamphlet № 76. Chicago.
- De Nerville, F. et Hardy, A.** Protection contre les effets nuisibles de l'électricité. Paris, 1928.
- Oberdorfer, G.** Der Erdschluss und seine Bekämpfung. Wien, 1930.
- Ollendorf, F.** Erdströme. Berlin, 1929.
- Peters, O.** Ground connections for electrical systems. Technologic paper of the Bureau of Standards № 108. Washington, 1918.
- Schlesinger, G.** Unfallverhütungstechnik. Berlin, 1911.
- Syrup, F.** Handbuch des Arbeiterschutzes und der Betriebssicherheit. Berlin 1927—1928.
- Alvensleben, K.** Die gesundheitlichen Schädigungen durch den elektrischen Strom (I Band, Absch. V).
- Narciss.** Die elektrischen Anlagen und Elektrowerkzeuge (I Band, Absch. IV).
- Narciss und Neitzel.** Die Elektrotechnische Industrie (III Band, Absch. XIII).

## **В. СБОРНИКИ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ И КОММЕНТАРИИ К НИМ.**

### **1. На русском языке.**

- Главэлектро ВСНХ СССР.** Электротехнические правила и нормы. Издание второе, 1927.
- Главэлектро ВСНХ СССР.** Электротехнические правила и нормы. Издание третье, 1929. Дополнения и изменения к изданию второму.
- РИО ВЭО.** Электротехнические правила и нормы. Утвержденные Электротехническими Съездами и одобренные ЦЭС'ом. Издание четвертое. 1931.
- Правила безопасности и правила устройства для электротехнических сооружений.** С пояснениями инж. Л. П. Подольского. Москва—Ленинград, 1929.
- Электроток.** Инструкции по производству электромонтажных работ. Ленинград, 1929.
- Могэс.** Правила безопасности и инструкции при производстве работ на электроустановках. Москва, 1928.
- Мосэлектромпром.** Инструкции и правила безопасности при производстве электромонтажных работ. Москва, 1929.

## II. На иностранных языках.

- V.D.E. Vorschriftenbuch des Verbandes Deutscher Elektrotechniker. 15 Auflage. Berlin, 1928.
- V.D.E. Vorschriften nebst Ausführungsregeln für den Betrieb vom Starkstromanlagen. Berlin, 1929.
- Weber, C. Erläuterungen zu den Vorschriften für Errichtung und Betrieb von Starkstromanlagen. 17 Auflage. Berlin, 1930.
- Weber, C. Erläuterungen zu den Vorschriften für die Errichtung von Starkstromanlagen mit Betriebsspannungen unter 1000 V. 1930.
- Dettmar, G. Auskunftsbuch für die vorschriftsgemäße Unterhaltung und Betriebsführung von Starkstromanlagen. Berlin, 1928.
- Dettmar, G. Wegweiser für die vorschriftsgemäße Ausführung von Starkstromanlagen. Berlin, 1927.
- National Electrical Safety Code. Handbook Series of the Bureau of Standards, № 3. 4-th edition. Washington, 1927.
- Discussion of the National Electrical Safety Code. Handbook Series of the Bureau of Standards № 4. Washington, 1928.
- The Institution of Electrical Engineers. Regulations for the Electrical Equipment of Buildings. 8-th edition. London, 1924.
- Ministère des travaux publics. Arrêté du 30 avril 1924 déterminant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique. Paris. (Modification, arrêté technique du 30 avril 1927).
- Ministère des travaux publics. Instructions pour l'application de l'arrêté du 30 avril 1924. Paris.
- Union des Syndicats de l'Electricité. Règles à appliquer pour l'exécution et l'entretien des installations électriques. Paris, 1923.

## С. СТАТЬИ В ЖУРНАЛАХ И ДРУГИХ ИЗДАНИЯХ.

### I. На русском языке.

- Белинский, С. Безопасные патроны с защитой от прикосновения для электрических ламп накаливания. „Гигиена, Безопасность и Патология Труда“, 1930, № 5.
- Белинский, С. Несчастные случаи от электричества в промышленных предприятиях РСФСР в 1925 году. „Электричество“, 1929, №№ 15—16.
- Белинский, С. Несчастные случаи от электричества в промышленных предприятиях РСФСР в 1925 году. Сборник „Промышленный травматизм и борьба с ним“. Труды и Материалы Государственного Научного Института Охраны Труда в Москве. 1930.

- Белинский, С. Ручная переносная электрическая лампа Госуд. Научного Института Охраны Труда. „Гигиена, Безопасность и Патология Труда“ 1929, № 4.
- Белинский, С. Ручная переносная электрическая лампа. Сборник „Промышленный травматизм и борьба с ним“. Труды и Материалы Государственного Научного Института Охраны Труда в Москве. 1930.
- Белькинд, Л. Безопасные ручные переносные лампы. „Предприятие“, 1928 № 7.
- Володарский, Д. Расчет защитных заземлений высоковольтных электроустановок. „Вестник Электропромышленности“, 1930. № 1—2.
- Гинзбург, П. Средства для повышения безопасности и надежности электрических установок „Электричество“, 1925, № 12.
- Касьянов, В. Опасная ловушка (о реостатах). „Предприятие“, 1928, № 5.
- Подольский, Л. Анализ условий безопасности в трехфазных сетях низкого напряжения с заземленными и изолированными нулевыми точками. „Электричество“, 1927, № 4.
- Подольский, Л. Вопросы безопасности на электрифицированных торфоразработках. „Электричество“, 1923, № 10.
- Подольский, Л. Расчетная величина максимальной силы тока через заземляющие электроды при проектировании защитных заземлений. „Электричество“, 1925, № 3.
- Пресс, С. Безопасность электромоторных установок. Труды 1-ой Всесоюзной Конференции по Электромоторным Приводам. Харьков, 1930.
- Пресс, С. О поражениях электрическим током. „Электричество“, 1928, № 1—2.
- Савельев, П. и Сулова, Н. Заземляющие устройства на высоковольтных подстанциях МОГЭС. „Электрические станции“, 1930, № 4.
- Сиротинский, Л., Телешов, Б. и Экле. Защитные и рабочие заземления, допускаемые напряжения соприкосновения. Сборник „Доклады СССР на Второй Мировой Энергетической Конференции в Берлине“. 1930.
- Труханов, А. К вопросу о поражениях электрическим током, Сборник „Техника Безопасности в Промышленности“ Ленинградского Института Гигиены Труда и Техники Безопасности, Ленинград, 1928.
- Труханова, В. Исследование электрической прочности резиновых галош, перчаток, рукавиц и пр., изготавливаемых заводом „Красный Треугольник“ в Ленинграде. Сборник „Техника Безопасности в Промышленности“ Ленинградского Института Гигиены Труда и Техники Безопасности. Ленинград, 1928.
- Хоецкий, С. Заземление в электрических установках. „Электричество“, 1924, № 7.
- Цепляев, П. Защитное заземление как мера безопасности. „Электричество“, 1924, № 7.



Ципп, Г. Заземление в установках низкого напряжения. Сокращенный перевод В. Бурневского. „Электротехнический Вестник“, 1928, № 6.

## II. На иностранных языках.

- Alvensleben, K. Elektrische Unfälle. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1926 № 34 u 48.
- Alvensleben, K. Unfallverhütung in der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik. „Jahresberichte der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, 1920—1928. Berlin.
- Alvensleben, K. Unfallstatistik. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1928, S. 1061.
- Andorff, F. und Metzger, F. Eisengekapselte Hochspannungs-Schaltanlagen der Brown, Boveri A. G. „BBC Nachrichten“, 1929, № 5.
- D'Arsonval. Les accidents causés par le courant électrique. „Bulletin de la Société Internationale des Electriciens“, Mai, 1910.
- D'Arsonval. Sur les effets physiologiques de l'électricité. „Annales télégraphiques“, mai-juin, 1898.
- Ausführung von Erdungen. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1914, № 4, 5 u 6.
- Bauerschmidt, K. Hochspannungs-Schaltkästen für industrielle Betriebe, „AEG Mitteilungen“, 1927, № 3.
- Bay, C. Schutzmassnahmen in Niederspannungsanlagen gemäss den heute gültigen Vorschriften des VDE. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1927, № 33 u 34.
- Bellaar-Spruyt, J. Rapport sur l'enseignement scolaire concernant l'emploi de l'électricité et les dangers qui en résultent. „Compte rendu de la 1-re Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques“, 1923.
- Besag, E. Schutzmassnahmen gegen zu hohe Berührungsspannungen. „Elektrotechnik und Maschinenbau“. 1929, № 10.
- Boruttau, M. Der Tod durch Starkstrom und die Rettungsfrage. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1918, 18 Februar u. 7 März.
- Boruttau, M. Der Tod durch Starkstrom als Herztod und die Grenze der gefährlichen Stromstärke. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1918, 30 Oktober.
- Brylinski, E. Sur la mise à la terre du neutre dans les réseaux triphasés à basse tension. „Revue Generale de l'Electricité“, 1929, № 19 (9 Novembre).
- Bunet, P. Sur le danger de l'électrocution et, en particulier, l'influence de la fréquence élevée. „Revue Générale de l'Électricité“, 1928, № 5.
- Burin des Roziers, G. Comparasion des risques d'électrocution sur les réseaux à courant alternatif à basse tension 115/220 volts, dans le cas du neutre à la terre et dans le cas du neutre isolé. „Revue Generale de l'Électricité“, 1930, № 8 (22 Février).

- Clothier, H. The design of electrical plant, control gear and connections for protection against shock, fire and faults. „The Journal of the Institution of Electrical Engineers“, 1925, № 341 and 346.
- Doppler, N. Quelques notes sur les statistiques d'accidents par l'électricité et les dangers du courant électrique. „Compte rendu de la 3-ème Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques“. Vol. II, p. 876. 1927.
- Elektrizitätswerke des Kantons Zürich. Beitrag zur Kenntniss der Vorgänge beim Stromdurchgang durch den menschlichen Körper. Bulletin Schweiz. Elektrotechnischer Verein. 1929, № 13.
- Ely. Dispositif de protection empêchant tout contact avec les culots des lampes sous tension. „Révue Générale de l'Electricité“, 1923, 27 Octobre.
- Farmer, F. The Rubber Glove Situation „National Safety News“, May, 1929.
- Gasiorowski, E. Neue Schaltwagenformen. „AEG Mitteilungen“, 1930, № 4.
- Gerbis, H. Die Einwirkung des elektrischen Starkstromes auf den menschlichen Körper und erste Hilfe bei elektrischen Unfällen. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1913, 3 Juli.
- Graf, G. Neue Ölschaltkästen für 750 V in eisengekapselten Verteilungsanlagen. „AEG Mitteilungen“, 1927, № 3.
- Grünwald, M. Merken des elektrischen Unfalls. „Elektrischer Betrieb“, 1928, S. 49.
- Higgs, P. An Investigation of Earthing Resistances. The Journal of the Institution of Electrical Engineers. June, 1930. № 402.
- Inspectorat des installations à fort courant. Accidents dus au courant électrique, survenus en Suisse en 1927 et 1928. „Bulletin Association Suisse Electrotechnique“, 1929, № 7.
- Jellinek, S. La mort par l'électricité. „Comptes rendus de l'Académie de Science“, 1925, 7 décembre.
- Jellinek, S. Gefährdungsmöglichkeiten bei Berührung unsauberer Glühlampen. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1922, 15 Juni.
- Jellinek, S. Neue Wege zur Rettung elektrisch Verunglückter. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1921, № 33.
- Johnson, L. Grounding Transmission and Distribution Lines. „National Safety News“, August, 1929.
- Johnson, V. Protective Grounds. „The Electric Journal“, 1928, № 8 and 9.
- Kammerer, V. Les dangers du courant électrique et les moyens de les éviter. „Bulletin des Associations françaises des propriétaires d'appareils à vapeur“ 1923, pp. 180 et 242; 1924, pp. 49 et 121.
- Kannengiesser, P. Hochspannungs-Schaltanlagen für Industriebetriebe. „AEG Mitteilungen“, 1930, № 2.
- Kennelly, A. and Alexander, F. The physiological tolerance of alternating, current strengths up to frequencies of 100000 cycles per second. „Electrical World“, 1910, July, 21.

- Kirstein, W. Transformatoren für Kleinspannungen. „Elektrizitätswirtschaft“, 1926, № 418.
- Klement, W. Beachtenswertes über Konstruktion und Verwendung von Wohnungs-Steckvorrichtungen. „Elektrizitätswirtschaft“, 1926, № 418.
- Kouwenhoven, W. and Langworthy, O. Effects of electric shock. „Journal of the American Institute of Electrical Engineers“, 1930, № 1.
- Lehmann, G. Mittel zur Erdung und Kurzschliessung in Hochspannungsanlagen. „Elektrizitätswirtschaft“, 1928, № 417.
- Mauduit, A. Protections obtenues et dangers occasionnés par les diverses mises à la terre dans le réseaux à basse et à haute tension. „Revue Generale de l'Electricité“, 1929, № 13 (8 Juin).
- Mitteilung der Fabriken Annaberg. Elektrisches Installationsmaterial in berührungssicheren Anlagen. „AEG Mitteilungen“, 1929, № 3.
- Ogle, G. What determines the deadliness of a shock. „Electrical World“, 1922, 5 August.
- Passavant, H. Über Anlagen und Apparate für Niederspannung. „Elektrizitätswirtschaft“, 1926, № 418.
- Pohl, H. Statistische Wertung der sogenannten elektrischen Unfälle. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1927, № 19.
- Prévost et Batelli. La mort par les décharges électriques. „Comptes rendus de l'Académie des sciences“, 1899, 23 Octobre.
- Rachel, A. Errichtungsvorschriften für Hochspannungsanlagen. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1928, № 36.
- Reinshagen, P. Gussgekapselte Verteilungsschaltungen in Licht- und Kraftnetzen. „Siemens Zeitschrift“, 1929, № 11.
- Schiesser. Erdungsfragen. „Bulletin Schweiz. Elektrotechnischer Verein“, 1923, S.S. 370 u 409.
- Schleicher, M. Die Überwachung der Erdungswiderstände in der Praxis. „Elektrizitätswirtschaft“, 1928, № 429.
- Schmid, W. Der Widerstand des menschlichen Körpers gegen Hochfrequenzströme bei Diathermiebehandlung. „Archiv für Elektrotechnik“, XXI Band, 1930, № 2.
- Schwyzer. Physiologische Bemerkungen zum Starkstromtod. „Elektrizitätswirtschaft“, 1926, № 404.
- Scott Ram. Report of Senior Electrical Inspector. „Annual Reports of the Chief Inspector of Factories and Workshops“. For the Years 1923—1928. London.
- Sekutowicz, L. Le retour du courant par la terre et les dispositifs de mise à la terre. „Révue Générale de l'Electricité“, 1923. 1-er, 8 et 15 Septembre.
- Sekutowicz, L. Travaux récents sur le retour du courant par la terre et les dispositifs de mise à la terre. „Révue Générale de l'Electricité“, 1924, 24 mai.
- Skinner, M. Rubber Gloves. „Electrical World“, 1929, p. 883.

- Vent. Die Schutzschaltung in der Praxis. „Elektrizitätswirtschaft“, 1928, № 433.
- Vogel, W. Wo besteht die Gefahr durch Berührung in elektrischen Niederspannungsanlagen. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1925, № 13.
- Weber, H. Wie hoch muss eine Spannung sein, um dem Menschen gefährlich zu werden? „Bulletin Schweiz. Elektrotechnischer Verein“, 1928, № 21.
- Weiss. Sur les effets physiologiques des courants électriques. „Bulletin de la Société Internationale des Electriciens“, Juin, 1911.
- Zaudy, R. Die neuen Vorschriften des VDE für die Errichtung von Starkstromanlagen mit Betriebsspannungen unter 1000 Volt. „Elektrotechnische Zeitschrift“, 1930, № 1.
- Zipp, H. Erdung und Nullung in Niederspannungsanlagen. „Elektrizitätswirtschaft“, 1926, № 418.
-

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                              | Стр. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА . . . . .                                                                    | 5    |
| ВВЕДЕНИЕ . . . . .                                                                           | 7    |
| ГЛАВА I. Поражения электрическим током.                                                      |      |
| а. Общие соображения . . . . .                                                               | 13   |
| б. Электрическое сопротивление человеческого тела . . . . .                                  | 14   |
| 1. Расположение электродов и их площадь . . . . .                                            | 17   |
| 2. Кожа и ее состояние . . . . .                                                             | 18   |
| 3. Напряжение и сила тока . . . . .                                                          | 21   |
| 4. Продолжительность включения . . . . .                                                     | 26   |
| 5. Род тока . . . . .                                                                        | 27   |
| 6. Влияние пола, возраста и других биологических факторов . . . . .                          | 29   |
| с. Электрические удары . . . . .                                                             | 31   |
| 1. Напряжение . . . . .                                                                      | 34   |
| 2. Сила тока . . . . .                                                                       | 35   |
| 3. Род тока . . . . .                                                                        | 44   |
| 4. Частота тока . . . . .                                                                    | 47   |
| 5. Продолжительность включения . . . . .                                                     | 51   |
| 6. Путь тока в теле . . . . .                                                                | 53   |
| 7. Физическое и психическое состояние человека . . . . .                                     | 54   |
| д. Электрические травмы . . . . .                                                            | 58   |
| 1. Ожоги . . . . .                                                                           | 58   |
| 2. Электрические знаки . . . . .                                                             | 60   |
| ГЛАВА II. Статистика несчастных случаев от электричества.                                    |      |
| а. Общие данные о несчастных случаях от электричества . . . . .                              | 65   |
| б. Смертные случаи от электричества . . . . .                                                | 70   |
| с. Несчастные случаи от электричества в зависимости от напряже-<br>ния и рода тока . . . . . | 74   |
| д. Несчастные случаи от электричества в зависимости от места их<br>возникновения . . . . .   | 81   |

### ГЛАВА III. Анализ внешних условий поражений электрическим током.

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| а. Двухполюсное прикосновение к токоведущим частям . . . . .              | 85  |
| б. Однополюсное прикосновение к токоведущим частям . . . . .              | 88  |
| 1. Сети, изолированные от земли . . . . .                                 | 90  |
| 2. Сети с заземленными проводами или нейтральями . . . . .                | 101 |
| в. Прикосновение к частям, случайно оказавшимся под напряжением . . . . . | 106 |
| 1. Сети, изолированные от земли . . . . .                                 | 110 |
| 2. Сети с заземленными нейтральями . . . . .                              | 113 |
| г. Короткое замыкание цепей и их размыкание . . . . .                     | 116 |

### ГЛАВА IV. Классификация электрических установок с точки зрения их безопасности.

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| а. Классификация по величине напряжения и по роду тока . . . . .             | 119 |
| б. Классификация по внешней обстановке . . . . .                             | 132 |
| в. Классификация по характеру эксплуатации электрических установок . . . . . | 136 |
| г. Специальные электрические установки . . . . .                             | 138 |

### ГЛАВА V. Общие меры безопасности электрических установок.

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| а. Инструктирование рабочего персонала в отношении безопасности . . . . .                         | 142 |
| б. Общие меры по содержанию помещений . . . . .                                                   | 145 |
| в. Общие меры безопасности при производстве электромонтажных работ . . . . .                      | 150 |
| 1. Устранение напряжения, выключение и включение электрических установок . . . . .                | 158 |
| 2. Работы под напряжением . . . . .                                                               | 167 |
| г. Меры для привлечения внимания к токоведущим частям и для облегчения их распознавания . . . . . | 167 |
| 1. Предостерегающие плакаты . . . . .                                                             | 169 |
| 2. Электрические схемы . . . . .                                                                  | 174 |
| 3. Маркировка и окраска токоведущих частей . . . . .                                              | 175 |

### ГЛАВА VI. Защита от прикосновения к токоведущим частям и их ограждение.

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| а. Общие положения . . . . .                                                  | 179 |
| б. Электрические машины, трансформаторы, выпрямители и аккумуляторы . . . . . | 186 |
| 1. Электрические машины . . . . .                                             | 186 |

|                                                     |      |
|-----------------------------------------------------|------|
|                                                     | Стр. |
| 2. Трансформаторы . . . . .                         | 192  |
| 3. Ртутные выпрямители . . . . .                    | 198  |
| 4. Аккумуляторы . . . . .                           | 199  |
| с. Распределительные устройства . . . . .           | 202  |
| 1. Главные распределительные устройства . . . . .   | 204  |
| 2. Вторичные распределительные устройства . . . . . | 220  |
| а. Электрические приборы . . . . .                  | 234  |
| 1. Выключатели . . . . .                            | 234  |
| 2. Штёрсельные устройства . . . . .                 | 239  |
| 3. Предохранители . . . . .                         | 245  |
| 4. Измерительные приборы . . . . .                  | 249  |
| 5. Реостаты . . . . .                               | 249  |
| е. Лампы и осветительные аппараты . . . . .         | 250  |
| 1. Ламповые колбы . . . . .                         | 251  |
| 2. Ламповые патроны . . . . .                       | 252  |
| 3. Подвес ламп . . . . .                            | 264  |
| 4. Зарядка осветительных аппаратов . . . . .        | 266  |
| г. Провода . . . . .                                | 268  |
| 1. Воздушные провода . . . . .                      | 268  |
| 2. Наружные провода . . . . .                       | 277  |
| 3. Провода в зданиях . . . . .                      | 278  |
| 4. Контактные провода . . . . .                     | 279  |

## ГЛАВА VII. Защитное заземление и меры его заменяющие.

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| а. Заземление в электрических установках и его значение с точки зрения безопасности . . . . .     | 286 |
| б. Общие принципы защитного заземления и его применение в установках низкого напряжения . . . . . | 292 |
| с. Простое заземление . . . . .                                                                   | 302 |
| 1. Общие основания . . . . .                                                                      | 302 |
| 2. Расчет сопротивления заземления для сетей, изолированных от земли . . . . .                    | 303 |
| 3. Расчет сопротивления заземления для сетей с заземленными нейтральными . . . . .                | 309 |
| д. Зануление . . . . .                                                                            | 315 |
| 1. Способы расчета сечений проводов при занулениях . . . . .                                      | 315 |
| 2. Примеры расчета сечений проводов при занулениях . . . . .                                      | 326 |

|                                                                                         | Стр. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3. Расчет сопротивления заземления нулевой точки . . . . .                              | 332  |
| 4. Расчет напряжения прикосновения во время замыкания на землю . . . . .                | 333  |
| 5. Расчет напряжения прикосновения при обрыве нулевого провода . . . . .                | 335  |
| е. Сложное заземление . . . . .                                                         | 338  |
| 1. Расчет напряжения прикосновения при двукратном заземлении нулевого провода . . . . . | 338  |
| 2. Многократное заземление нулевого провода . . . . .                                   | 343  |
| 3. Смешанное заземление (зануление и простое заземление) . . . . .                      | 346  |
| г. Защитные выключатели . . . . .                                                       | 349  |
| д. Устройство заземлений . . . . .                                                      | 357  |
| 1. Общие основания . . . . .                                                            | 357  |
| 2. Использование водопровода и других сооружений для заземлений . . . . .               | 358  |
| 3. Искусственные заземлители . . . . .                                                  | 362  |
| 4. Способы понижения сопротивления искусственных заземлителей . . . . .                 | 367  |
| 5. Заземление при помощи пробивного предохранителя . . . . .                            | 370  |
| 6. Заземляющие и зануляющие провода . . . . .                                           | 372  |
| в. Испытание заземлений . . . . .                                                       | 377  |

## ГЛАВА VIII. Переносные электрические устройства.

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| а. Опасности, связанные с применением переносных устройств . . . . . | 386 |
| б. Ручные и переносные лампы . . . . .                               | 388 |
| 1. Общие правила безопасности . . . . .                              | 388 |
| 2. Конструкции ручных ламп . . . . .                                 | 392 |
| 3. Применение ручных ламп для освещения станков . . . . .            | 397 |
| 4. Переносные настольные лампы . . . . .                             | 400 |
| в. Переносные электрические приборы . . . . .                        | 402 |
| 1. Промышленные электрические приборы . . . . .                      | 402 |
| 2. Электрические приборы широкого пользования . . . . .              | 404 |
| г. Защитное заземление переносных устройств . . . . .                | 409 |
| е. Провода для переносных устройств . . . . .                        | 417 |
| ж. Применение безопасного напряжения . . . . .                       | 423 |

## ГЛАВА IX. Защитные средства.

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| а. Защитные инструменты . . . . . | 430 |
| 1. Штанги . . . . .               | 431 |



|                                                                                | Стр. |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2. Клещи . . . . .                                                             | 438  |
| 3. Монтерские инструменты с изолирующими рукоятками . . . . .                  | 440  |
| 4. Специальные инструменты . . . . .                                           | 443  |
| b. Защитные изолирующие средства . . . . .                                     | 445  |
| 1. Изолирующие подставки . . . . .                                             | 445  |
| 2. Резиновые коврики . . . . .                                                 | 448  |
| 3. Резиновые галоши и резиновая обувь . . . . .                                | 451  |
| 4. Резиновые перчатки и рукавицы . . . . .                                     | 454  |
| c. Указатели напряжения . . . . .                                              | 461  |
| d. Предохранительные пояса и другие средства против падения с высоты . . . . . | 466  |

## ЛИТЕРАТУРА.

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| A. Книги и брошюры.                                  |     |
| 1. На русском языке . . . . .                        | 472 |
| 2. На иностранных языках . . . . .                   | 472 |
| B. Сборники правил безопасности и комментарии к ним. |     |
| 1. На русском языке . . . . .                        | 473 |
| 2. На иностранных языках . . . . .                   | 474 |
| C. Статьи в журналах и других изданиях.              |     |
| 1. На русском языке . . . . .                        | 474 |
| 2. На иностранных языках . . . . .                   | 476 |