

Инж. В. И. Королькова

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ОБОРОТНИК
1940

Инж. В. И. КОРОЛЬКОВА

5.

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Под редакцией проф. В. Н. СТЕПАНОВА

Цена 9 руб.

НКАП СССР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

МОСКВА 1940



ОТ ИНСТИТУТА

На заводах оборонной промышленности особое значение приобретают вопросы организации техники безопасности и производственной санитарии.

Создание на предприятиях НКБ высокопроизводительных и безопасных условий труда, способствующих дальнейшему развитию стахановского движения и перевыполнению производственных планов, ставит со всей остротой вопрос о необходимости повышения квалификации инженерно-технического персонала предприятий НКБ в области охраны труда, техники безопасности и производственной санитарии.

Народный комиссар боеприпасов тов. И. П. Сергеев издал специальный приказ о порядке прохождения техминимума ИТР по технике безопасности и производственной санитарии.

Создается широкая сеть курсов по технике безопасности.

Весь инженерно-технический персонал НКБ должен пройти технический минимум по технике безопасности. В связи с этим приступлено к печатанию ряда работ по технике безопасности.

Предлагаемый труд инж. В. И. Корольковой „Электробезопасность промышленных предприятий“ представляет собой первую работу в этом направлении.

Полагаем, что настоящая работа явится ценным пособием при прохождении курса по технике безопасности.

К. А. ГАМАЗИН



6292 14/60

16369



СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	5
I. Действие электрического тока на человеческий организм	
1. Электрические удары	9
2. Электротравмы	12
3. Сопротивление человеческого тела	14
4. Схемы включения в цепь тока	16
II. Защитные мероприятия в электрических установках	
1. Классификация помещений по производственной обстановке	27
2. Безопасное напряжение	29
3. Недоступность токоведущих частей	30
4. Основные свойства защитного заземления	32
Расчет заземлений в установках с изолированным нулем	37
Расчет заземлений в установках с заземленным нулем	39
5. Зануление и его расчет	42
6. Заземлители и их расчет	46
7. Выполнение заземлений и занулений	49
8. Защитное выключение	54
Примеры расчета заземлений	55
III. Защитные средства	
1. Эксплуатационный инструмент	58
2. Изолирующие защитные средства	61
3. Указатели напряжения	64
4. Специальные приспособления для заземления и закорачивания токоведущих частей	67
5. Средства для защиты глаз	68
6. Приспособления для работ на высоте	—
7. Плакаты	71
8. Требования, предъявляемые к защитным средствам, и нормы испытаний	76
IV. Требования безопасности, предъявляемые к электроустановкам	
1. Внутренняя проводка	77
2. Воздушные провода и наружные устройства	79
3. Элементы оборудования электроустановок	81
Выключатели	—
Разъединители	86
Предохранители	87
Моторы	91

Магнитные пускатели	93
Электрические лампы	94
Понижающие трансформаторы	98
Ручной электрифицированный инструмент	100
4. Распределительные устройства	102
Распределительные устройства подстанций	—
Распределительные устройства в производственных помещениях	106

V. Инструктаж и правила безопасности

1. Инструктаж	109
2. Правила безопасности при электромонтажных и ремонтных работах	110
3. Правила безопасности при эксплуатации электроустановок	114

VI. Производство измерений

1. Измерение сопротивления изоляции	118
2. Приборы для измерения сопротивления изоляции	119
3. Методы измерения сопротивления заземления	124
Метод амперметра и вольтметра	125
Метод амперметра и лампового (катодного) вольтметра	126
Измерение сопротивления при помощи универсальных приборов	128
Метод трех земель	129

VII. Противогрозовая защита промышленных предприятий

1. Молния и ее действие	131
2. Защита от непосредственных воздействий молнии	133
3. Система грозозащиты	135
4. Устройство токоотводов и заземлителей	140
5. Защита от вторичных проявлений молнии	141
6. Применение грозозащиты	144
7. Контроль за правильным устройством и содержанием молниеотводов	145

VIII. Оказание первой помощи

1. Освобождение от тока	146
2. Применение искусственного дыхания	149

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы электробезопасности в условиях СССР имеют исключительно важное значение. Сталинская забота о людях должна быть воплощена в жизнь надлежащей постановкой охраны труда.

Реконструкция всего народного хозяйства на базе широчайшей электрификации, превратив СССР в могучую индустриальную страну и создавая культурные условия производства и быта трудящихся, одновременно высоко ставит задачи техники безопасности. В условиях электрификации промышленности, транспорта, сельского хозяйства и быта с использованием электроэнергии имеют дело самые широкие слои населения. Однако лица, соприкасающиеся с электрооборудованием, весьма часто не имеют необходимых представлений о возможностях поражения электрическим током и об условиях безопасного обслуживания электроустановок. Вместе с этим отсутствие внешних сигналов, непосредственно воздействующих на органы чувств человека и предостерегающих его об опасности электрического тока, обычно является главной причиной поражения электрическим током. Кроме того, электроустановки далеко не всегда удовлетворяют требованиям безопасности.

Несмотря на относительно малое число поражений электрическим током, электротравматизм приобретает особо серьезное значение в силу высокого процента смертных случаев.

Изучение случаев поражения электрическим током является основным источником наших знаний о физиологическом действии тока на человеческий организм, об условиях и механизме поражения. Дефекты в конструкции оборудования электроустановок, монтаже и методе эксплуатации их также, главным образом, выявляются в процессе исследования причин поражения током.

Поэтому своевременный и полный учет всех случаев производственного электротравматизма с подробным указанием обстоятельств и причин его помогает правильно найти пути ликвидации травматизма. Глубокое и всестороннее изучение данных электротравматизма дает возможность разработать и принять ряд профилактических мероприятий.

Однако весьма часто извещения и акты о несчастных случаях заполняются неудовлетворительно технически несведущими людьми. Это лишает возможности сделать достаточно полный анализ и

достаточно обоснованные для практического использования выводы. Поэтому при расследовании случаев поражения током необходимо не только тщательно изучить все условия поражения на месте, но и отразить все основные моменты и детали в акте.

Изучение электротравматизма может быть организовано только на основе правильного учета и анализа отдельных конкретных случаев. Для достижения этой цели необходимо выработать единую рациональную методику учета и изучения электротравматизма, привлекая в обязательном порядке при расследовании причин электротравматизма не только врачей и представителей общественности, но и специалистов-электриков.

Независимо от исхода всякий случай поражения током должен учитываться. Только полный контакт между работниками медицины и техники при исследовании и изучении причин поражения током и самое тщательное и правильное заполнение извещений о несчастных случаях могут дать материал по электротравматизму, который позволит наиболее целесообразно разрешить важнейшие вопросы безопасности, связанные с устройством и эксплуатацией электротехнических установок.

Ниже приводится статистика несчастных случаев со смертельным исходом, собранная Всесоюзным научно-исследовательским институтом охраны труда за 1931—1934 гг., представляющая некоторый интерес.

Распределение несчастных случаев по напряжению установок приведено в табл. 1, из которой видно, что смертельные поражения током чаще встречаются в установках низкого напряжения.

Таблица 1

Смертные случаи в установках высокого и низкого напряжения (в %)

Год	Установки высокого напряжения	Низкого напряжения	Напряжение не указано
1931	32	68	—
1932	33	67	—
1933	37,6	57	5,4
1934	41,5	51	7,5

Непосредственное прохождение тока через организм дает наибольший процент смертности как в установках высокого, так и низкого напряжения (табл. 2). Смертность от ожогов зарегистрирована только в установках высокого напряжения.

Как в установках высокого, так и низкого напряжения однофазные включения наблюдаются чаще, чем двухфазные (табл. 3). Это понятно, так как всякое неосторожное прикосновение к токоведущей части дает однофазное включение.

Смертные случаи в зависимости от характера поражения (в %)

Напря- жение	Характер поражения	1932 г.	1933 г.	1934 г.
Высокое	Непосредственное прохождение тока	79,5	14,8	54,4
	Ожог	10,2	40,6	4,5
	Ток и ожог	2,6	33,4	18,3
	Падения	7,7	—	4,5
	Не указано	—	11,2	18,3
Низкое	Непосредственное прохождение тока	67,0	76,2	67,7
	Ток и ожог	1,3	2,4	—
	Падения	3,8	16,7	9,7
	Не указано	27,9	4,7	22,6

Таблица 3

Смертные случаи в зависимости от вида присоединения (в %)

Год	Установки высокого напряжения		Установки низкого напряжения	
	однофазное включение	двухфазное включение	однофазное включение	двухфазное включение
1932	62	18	52,5	15,2
1933	59	3	81	4,1
1934	38	4	72	7,6

Представление о распределении несчастных случаев со смертельным исходом по объектам оборудования дает табл. 4.

Из таблицы видно, что наибольшее число случаев приходится на голые провода и распределительные устройства, в которых имеется много голых токоведущих частей (шины, спуски и пр.).

Обращает внимание большое число несчастных случаев при применении переносных ламп, что указывает на неудовлетворительные конструкции их.

В заключение наметим мероприятия для ликвидации электро-травматизма:

1. Организация систематического разъяснения всех опасностей электрических установок. Для этого на предприятии помимо общего инструктажа должны специально прорабатываться вопросы электро-безопасности.

2. Должный учет всех случаев поражения от электрического тока. Для этого в извещениях и актах о несчастных случаях нужно технически грамотно, исчерпывающе указывать все обстоятельства, сопутствовавшие несчастным случаям.

Таблица 4

Распределение смертных случаев по видам оборудования

Оборудование	% от общего числа случаев
Голые провода	23
Распределительные устройства	17
Переносные лампы	13,6
Изолированные провода	9,7
Разъединители и рубильники	7,4
Металлические части, не находящиеся под напряжением	6,2
Цоколи и патроны ламп	4,3
Электродрели	3,1
Электрооборудование кранов	2,5
Кабели и их муфты	2,2
Радиоустановки	1,4
Электросварка	1,1
Электродвигатели	1,1
Плавкие предохранители	0,6
Прочие установки и невыясненные случаи	5,8

3. Систематический обязательный надзор и периодический контроль за состоянием электрооборудования; немедленное изъятие неисправного оборудования. Особое внимание нужно обратить на переносные приборы, состояние которых перед работой должно проверять компетентное лицо.

4. Обязательный периодический контроль за состоянием защитных заземлений с обязательной записью результатов проверочных измерений в соответствующих журналах.

5. Обязательный периодический контроль за состоянием изоляции сетей установки.

В случае неудовлетворительного состояния электрооборудования, изоляции или заземления обнаруженные неисправности нужно немедленно устранять.

Для обеспечения безопасности и высокой производительности социалистического труда органы охраны труда, наша общественность и инженерно-технический персонал должны вести повседневную предупредительную борьбу с возможностями поражения электрическим током. Для этого необходимо проводить массовую разъяснительную работу об опасностях электрического тока и мерах предупреждения их, а также организационные и технические мероприятия.

Вопросы электробезопасности нужно широко освещать среди рабочих и инженерно-технических работников, соприкасающихся с тем или иным электрооборудованием на производстве. Для указанной цели должна служить специальная литература.

В качестве такого пособия предусматривается настоящий труд, целью которого является ознакомление с основными моментами опасности электроустановок и указание путей возможного устранения этих опасностей.

Несомненно, что проводимые партией и правительством СССР широкие оздоровительные мероприятия, обеспечивающие здоровый и безопасный труд, а также быстрый культурный рост страны являются реальной гарантией полного успеха в борьбе с электротравматизмом.

1. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ОРГАНИЗМ

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УДАРЫ

Действие тока на человеческий организм проявляется в очень сложных и своеобразных формах. В этом смысле электротравмы существенно отличаются от всех прочих повреждений. Здесь могут иметь место и механический разрыв тканей, и ожог, и явления химического порядка (электролиз крови и других органических веществ), и воздействие на нервную систему человека.

Поражения, вызываемые действием тока, можно разделить на две группы:

1) **э л е к т р и ч е с к и е у д а р ы**, когда при прохождении тока через тело человека поражаются внутренние органы (сердце, легкие, органы дыхания, нервная система);

2) **э л е к т р о т р а в м ы**, когда получают поражения внешние органы (ожог, металлизация кожи, электрические знаки и т. п.).

Часто на практике к электротравмам не совсем правильно относят механические повреждения, вызванные соприкосновением с частями электрических установок, находящихся под напряжением. В этом случае электрический ток не является непосредственной причиной поражения, но под воздействием его человек теряет равновесие и, падая, получает чисто механическую травму. Наконец, под действием электрического тока возможно специфическое поражение зрения и слуха, например, ослепление вольтовой дугой при электросварке и поражение органов слуха акустическим ударом, наблюдающееся при работе телефонисток.

Э л е к т р и ч е с к и е у д а р ы, получающиеся от прохождения тока через организм человека, оказывают разнообразное влияние: они могут внешне выражаться в мало заметных воздействиях, но могут приводить и к смертельному исходу. К важнейшим факторам, определяющим силу воздействия тока на человека, на основании многочисленных научных исследований можно отнести: 1) величину тока; 2) род его; 3) частоту; 4) продолжительность его воздействия; 5) индивидуальные качества пострадавшего.

В е л и ч и н а т о к а. Проявления электрического тока—механическое, термическое и химическое, в виде реакций в электролите,— тем эффективнее, чем больше величина тока. В соответствии с этим,

тем больше и воздействие тока на человеческий организм во всех указанных выше отношениях.

В 1897 г. проф. Вебером (Швейцария) были произведены опыты (над самим собой) для выяснения, какой величины ток может выдержать человек без вредных последствий (табл. 5).

Эти опыты, впервые научно организованные, связали физиологические ощущения, вызываемые током, с величиной его. Опыт с мокрыми руками показал, что при токе 19—22 мА при напряжении 40 В наступает паралич рук и чувствуется едва терпимая боль, выносимая не более 5 сек. Самостоятельный отрыв от электродов почти невозможен.

При опыте с сухими руками оказалось, что ток 11 мА при напряжении 80 В вызывает сильнейшую боль и оторваться от электродов можно только с большим трудом.

Согласно исследованиям, проведенным доктором Кувенховеном (США), результаты которых опубликованы в 1935 г., при прохождении через кисти рук тока 12—15 мА обнаруживаются одеревенелость, неподвижность мускулов. Вытянуть или согнуть руки трудно, чувствуется боль, но оторваться от электродов, хотя и с трудом, можно. С возрастанием тока от 19 до 25 мА происходит полный паралич мускулов и испытуемый не может самостоятельно освободиться от действия тока. Боль настолько сильна, что ее нельзя терпеть даже и несколько секунд.

На основании многочисленных опытов и исследований ток в пределах до 20 — 50 мА считают безопасным для жизни человека. Токи в 50 мА и выше уже опасны, так как в результате их действия неоднократно наблюдалось бесчувственное состояние человека. Токи в 0,1 А и выше смертельны.

Важнейший вопрос электротравматизма, в чем состоит механизм смерти, т. е. какие процессы происходят в человеческом организме при прохождении электрического тока (при электрическом ударе), в настоящее время нельзя считать окончательно разрешенным, несмотря на то, что ведется в течение десятилетий научное исследование его. В основном существует три научных теории, объясняющих причины смерти. Согласно первой из них смерть наступает в течение нескольких секунд вследствие центрального поражения дыхания. Вторая теория объясняет смерть поражением сердечной деятельности. Наконец, третья теория считает причиной смерти поражение нервной системы.

Повидимому, наиболее правильно полагать, что смерть наступает от комплексного поражающего воздействия тока на внутренние органы человеческого организма.

Род тока. Обычно принято считать, что переменный ток более опасен для организма, чем постоянный. Однако это справедливо только в отношении воздействия на нервную систему. Химические влияния постоянного тока наиболее опасны, так как они вызывают электролиз крови. Термические и механические воздействия обоих родов тока равноценны. Некоторые исследователи утверждают, что большую опасность представляет постоянный ток.

Ток mA	Приложенное напряжение V	Ощущения
Влажные руки		
< 1	10	Очень небольшие мускульные сжатия, подергивание в пальцах
2—2,4	20	Очень сильные мускульные и нервные сотрясения в пальцах рук и сгибе руки. Руки двигаются свободно и еще могут оторваться от электродов
12—15	30	Руки как будто парализованы. Вытянутая рука не сгибается, согнутая не может выпрямиться. Очень ощутимые боли в пальцах, кистях рук и руках. Состояние это можно вынести 5—10 сек. При известной силе воли от проводов еще можно оторваться
19—22	40	При схватывании электродов руки тотчас на время парализуются. Наступает едва переносимая боль. Самостоятельно оторваться от электродов почти невозможно. Состояние можно вынести не более 5 сек.
Ток измерить не представляется возможным вследствие кратковременности опыта	50	В момент схватывания электродов тотчас все мускулы рук парализуются. Состояние можно выдержать 1—2 сек. Оторваться от электродов невозможно.
Сухие руки		
Ток, неощутимый для измерительного прибора	10—20—30	Нельзя заметить никаких физиологических действий
Ток для измерений слишком мал	40	Легкое жжение в пальцах
0,1	50	Легкое содрогание мускулов пальцев и кисти рук
0,8	60	Заметные дрожания пальцев, в кистях и нижних частях рук. Все эти органы еще легко подвижны
1,8	70	Сильное дрожание мускулов пальцев, кистей рук и локтей. Эти органы мало подвижны
9—11	80	Пальцы, кисти рук почти неподвижны. Сильная боль во всех этих частях. От электродов можно оторваться только с трудом
Ток не может быть измерен ввиду кратковременного опыта	90	В момент схватывания электродов кисти рук на время совершенно парализуются. Оторваться от электродов невозможно. Боль в кистях рук и руках настолько велика, что испытуемый непроизвольно громко вскрикивает. Это состояние можно выдержать не более 1—2 сек.

Ч а с т о т а т о к а. Наряду с величиной тока и продолжительностью воздействия последствия поражения в значительной мере зависят от частоты тока. Данными медицины и техники доказано, что с увеличением частоты тока опасность поражения уменьшается.

Причина относительной безвредности тока высокой частоты не находит исчерпывающего объяснения. Очевидно, ее следует искать в том, что двигательные и чувствительные центры нервной системы реагируют на периодичность тока до известного предела. Кроме того, механическое и химическое воздействие токов высокой частоты по сравнению с токами нормальной частоты, повидимому, ослаблено. Как показывают исследования, наиболее опасными надо считать переменные токи с частотой в пределах 40—60 пер/сек.

Исследования в экспериментально-биологической лаборатории Ленинградского института охраны труда (ЛИОТ), проводимые под руководством проф. Петрова, показали, что переменный ток повышенной частоты (100—270 пер/сек) оказывает менее резкое влияние на организм, чем ток в 50 пер/сек.) С точки зрения электробезопасности можно рекомендовать применение тока повышенной частоты там, где это возможно по техническим условиям. С точки зрения электрического удара ток высокой частоты порядка 500 000 пер/сек и выше совершенно безопасен для человека.

П р о д о л ж и т е л ь н о с т ь в о з д е й с т в и я т о к а также имеет огромное значение для исхода несчастного случая. Чем дольше человек находился под током, тем сильнее поражение и тем меньше данных для его спасения. Поэтому, когда человек не может самостоятельно оторваться от токоведущих частей, а освобождение его по той или иной причине задерживается, обычно наступает смерть.

Из опытов над животными можно сделать заключение, что для человека токи 100 мА и выше окажутся смертельно опасными, если действие их длится не менее 0,2 сек. Этим, вероятно, можно объяснить тот факт, что, когда пострадавший отбрасывается от частей установок, находящихся под высоким напряжением, динамическим эффектом вольтовой дуги, во многих случаях исход оказывается относительно благополучным.

2. ЭЛЕКТРОТРАВМЫ

К местным поражениям — электротравмам — относятся ожоги, электрические знаки, металлизация кожи.

О ж о г и происходят вследствие теплового действия тока и образования вольтовых дуг при разрыве цепи.

Ожоги могут быть поверхностные и глубокие, сопровождающиеся поражением не только кожи и подкожной ткани — жира, но и глубоко лежащих мышц, нервов и костей. Глубокие электроожоги заживают очень медленно.

Наиболее часто ожоги наблюдаются в установках высокого напряжения, когда включение человека в электрическую цепь происходит не непосредственным соприкосновением его с токоведущими частями установки, а через вольтову дугу.

Различают три степени электрических ожогов: 1) покраснение кожи, 2) образование пузырей, 3) обугливание и омертвление ткани.

Токи высокой частоты, не вызывая непосредственно электрических ударов, могут представлять весьма серьезную опасность в отношении ожогов. В свою очередь электрические удары могут сопровождаться ожогами, если при значительной величине тока выделяется достаточное количество тепла.

Электрические знаки, или отметки тока, представляют особое, совершенно специфическое поражение. По мнению многих исследователей (Меримет, Еллинек) оно вызывается, главным образом, механическим и химическим воздействием тока.

В противоположность ожогам электрические знаки обычно возникают при хорошем контакте. По внешнему виду электрические знаки представляют поражения круглой или эллиптической формы серо- или бело-желтого цвета с резко очерченными коричневыми краями. В некоторых случаях электрические знаки, достигая значительных размеров, представляют форму или отпечаток той части установки, с которой произошло соприкосновение.

Иногда электрические знаки появляются не тотчас после прохождения тока, а спустя некоторое время.

Характерной особенностью электрических знаков является их безболезненность, вокруг них не наблюдается никаких воспалительных процессов и нагноения.

Обычно заживление электрических знаков заканчивается благополучно. Однако в литературе можно встретить и указания на случаи тяжелых повреждений при электрических знаках.

Проф. Еллинек описывает поражение левой руки в виде электрического знака, которое, будучи вначале безболезненным, привело к мумификации руки, а затем к естественной ампутации ее. При этом ампутация произошла совершенно безболезненно, без вмешательства хирурга. В подобных случаях возникает опасность кровотечения в момент отпадения омертвевших мумифицированных тканей.

Электрометаллизация, или импрегнация, кожи, т. е. пропитывание ее мельчайшими частицами металла, разрушающегося и испаряющегося на месте контакта под влиянием механического и химического воздействия тока, является третьим специфическим видом электротравм.

Возникающая обычно при образовании вольтовой дуги или при сильных искровых разрядах электрометаллизация кожи обуславливает ее специфическую окраску в зависимости от металла; так, при пропитывании частицами меди кожа приобретает желто-коричневую окраску. Пропитанная металлом кожа становится жесткой, и пострадавший испытывает ощущение напряженности. В большинстве случаев, как указывается в литературе, металлизированная кожа сходит, и этим обычно все ограничивается.

В практике встречаются электротравмы смешанного характера, когда налицо симптомы и электрического ожога, и электрического знака.

3. СОПРОТИВЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА

Вопрос о сопротивлении человеческого тела имеет огромное научное и практическое значение. Сопротивление тела в зависимости от ряда условий изменяется в очень широких пределах не только у разных лиц, но и у одного и того же лица.

Говоря о сопротивлении человеческого тела, прежде всего нужно различать сопротивление кожи и сопротивление внутренних органов. Сопротивление внутренних органов при всех технических напряжениях одинаково и практически не зависит от места приложения контакта; оно изменяется только с изменением температуры тела. В среднем при проведении измерений внутреннего сопротивления для 60 человек разного возраста и телосложения сопротивление составляло вдоль пути рука—тело—нога при температуре до 37°C в среднем 1000 Ω .

Электропроводность отдельных частей тела возрастает в такой последовательности: кожа, жир, кости, нервы, мускулы, жидкости. Таким образом наименьшее сопротивление электрическому току оказывает кровь, а наибольшее кожа. Сопротивление кожи возрастает с толщиной эпидермиса. Кожа является как бы изолирующей оболочкой человека и до известной степени предохраняет его от поражения током. Поэтому разрушение кожи может привести к смертельному исходу. Сопротивление одного и того же участка кожи изменяется в очень широких пределах и зависит не только от толщины слоя эпидермы, но и от состояния кожи, приложенного напряжения, длительности воздействия тока, поверхности электрода и т. д.

Наличие влаги, пота, некоторых химических веществ, токопроводящей пыли (металлической, угольной и т. п.) значительно снижает сопротивление кожи.

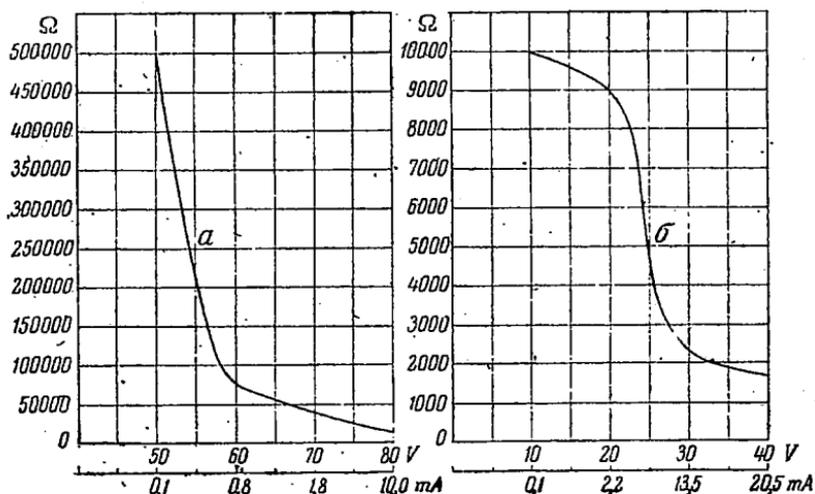
Повышенную чувствительность некоторых лиц к электрическому току во многих случаях можно объяснить повышенной деятельностью потовых желез. Сопротивление потной кожи незначительно. Вследствие этого при попадании под напряжение увеличивается ток, проходящий через тело пострадавшего, и вместе с тем повышается эффект физиологического воздействия тока.

Величины сопротивлений кожи по данным отдельных исследователей весьма отличаются одна от другой. Это можно объяснить тем, что измерения производились при различных напряжениях и разном состоянии кожи (сухая и влажная), а также при разной площади контактов. Проф. Вебер при одинаковых условиях в отношении контакта получил сопротивление от 1950 до 500 000 Ω . опыты, проведенные в Швейцарии в 1928 г., дали среднее сопротивление тела испытуемого 2000—6000 Ω . В американской литературе имеется указание на величину сопротивления сухой кожи порядка 100 000 $\Omega/\text{см}^2$ и влажной 1200 $\Omega/\text{см}^2$ и даже меньше.

Сопротивление кожи существенно зависит от величины приложенного напряжения и длительности воздействия тока. Чем выше приложенное напряжение или чем длительнее прохождение тока, тем

ниже сопротивление кожи и тем больше опасность поражения. Согласно указаниям исследователей под влиянием длительного воздействия тока происходит перерождение эпидермы, и сопротивление ее резко падает. Так, согласно указаниям Лебля при токе 30 мА сопротивление человеческого тела с влажной кожей составляет около 1670 Ω , а с сухой — около 3000 Ω . При токах от 50 до 100 мА сопротивление человеческого тела с влажной кожей можно принять 1300 Ω . При токах выше 1 А сопротивление может падать до 500 Ω и ниже.

Сказанное подтверждается данными экспериментов ряда ученых. На фиг. 1 приведены кривые, характеризующие изменения сопротивления человеческого тела в зависимости от приложенного напряжения, согласно опытам проф. Вебера.



Фиг. 1. Сопротивление человеческого тела в зависимости от приложенного напряжения при переменном токе 50 пер/сек.: а—для сухого тела; б—для влажного.

Эти кривые дают наглядное представление о том, какое существенное значение для сопротивления току имеет влажность кожи, а также величина приложенного напряжения или величина тока, проходящего через тело человека. Кроме указанных моментов, сопротивление человека будет существенно зависеть от места приложения контакта и от величины его поверхности. Очевидно, что если соприкосновение с частями установки, находящимися под напряжением, будет на таком участке человеческого тела, где сопротивление кожи наибольшее, то и сопротивление всего тела окажется для данных условий наибольшим.

Если же контакт происходит в местах с наименьшим сопротивлением кожи, то и общее сопротивление будет наименьшим, а следовательно, опасность поражения увеличится по сравнению с предыдущим случаем.

Сопротивление человеческого тела, как это установлено опытами, уменьшается приблизительно пропорционально площади контакта, т. е. площади соприкосновения той или иной части тела с частью установки, находящейся под напряжением.

Это обстоятельство имеет существенное практическое значение. При электросварочных работах в котлах, цистернах, когда работающий значительной поверхностью тела соприкасается с металлическими частями резервуаров, машин и конструкций, находящимися или могущими оказаться под напряжением, или непосредственно соприкасается с землей, опасность поражения соответственно увеличивается. Таким образом для исхода поражения электрическим током большое значение имеет характер контакта, т. е. только дотронулся человек до токоведущих частей или же плотно обхватил их.

Помимо величины сопротивления тела при поражении электрическим током также имеет значение физическое и психическое состояние человека в момент несчастья.

Лица, страдающие болезнями сердца, желез внутренней секреции — потливостью кожи, туберкулезом и т. д., сильнее поражаются током, так как обычно сопротивляемость их электрическим ударам гораздо ниже по сравнению с сопротивляемостью здоровых.

Многие из исследователей придают большое значение направлению тока в организме, считая, что наибольшая опасность грозит человеку, когда сердце лежит на пути тока, т. е., иначе говоря, на линии, соединяющей электроды. Таким образом в этом смысле наиболее опасно одновременное прикосновение обеими руками к двум разным фазам или одной рукой к фазе, в то время как другая фаза соединена с землей, а человек, подвергнувшийся действию тока, стоит непосредственно на земле. Наименее опасно одновременное прикосновение к двум разным фазам двумя пальцами одной и той же руки. Однако по мнению других исследователей нельзя переоценивать этого фактора.

Опыты экспериментально-биологической лаборатории ЛИОТ показывают, что наиболее опасным для жизни является тот случай, при котором на пути тока лежит область сердца, что вызывает непосредственное повреждение сердца.

4. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ В ЦЕПЬ ТОКА

Непосредственное соприкосновение с токоведущими частями установки, находящимися под напряжением, представляет опасность поражения током. При этом степень опасности и возможность поражения током в значительной мере зависят от того, каким образом произошло включение человека под напряжение. Следует различать двухфазное и однофазное включение.

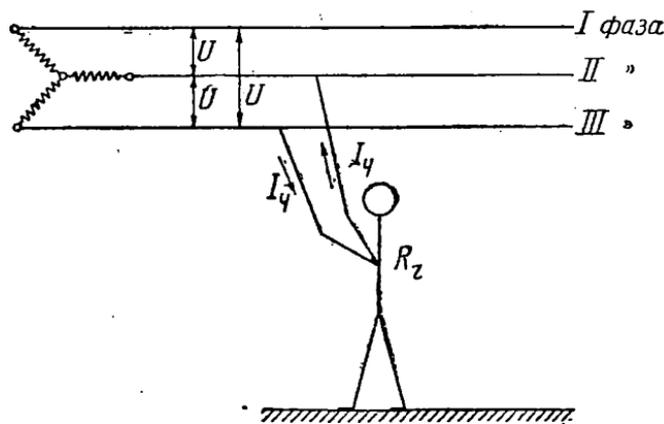
Двухфазное включение представляет собой одновременное присоединение, или включение, человека к двум различным фазам (проводам) установки, находящимся под напряжением (фиг. 2).

Очевидно, в этом случае человек оказывается включенным под полное рабочее напряжение установки и подвергается воздействию тока I А, величина которого будет зависеть от рабочего напряжения установки U В и сопротивления тела человека $R_ч$ Ω, т. е.

$$I_ч = \frac{U}{R_ч}$$

Помня, что ток в 0,1 А является уже смертельным, а при неблагоприятных условиях сопротивление человека может быть порядка 1000 Ω, получаем, что при напряжении порядка 110 В двухфазное включение может оказаться уже смертельным.

Статистика электротравматизма дает случаи смертельного поражения током при двухфазном включении даже при напряжении в 65 В.



Фиг. 2. Схема двухфазного включения.

Случаи двухфазного включения сравнительно редки, они наиболее вероятны при работах под напряжением, когда токоведущие части разных фаз расположены на незначительном расстоянии друг от друга. Как пример двухфазного включения может быть указан распространенный среди монтеров способ проверки наличия напряжения в установках прикладыванием двух пальцев к разным фазам. Ясно, что подобный способ представляет определенный риск для тех, кто им пользуется, повидимому, не отдавая отчета в опасности, которой они себя подвергают.

Однофазное включение представляет собой присоединение к токоведущим частям одной из фаз электроустановки, находящимся под напряжением. При этом степень опасности будет зависеть от того, имеют ли установки рабочее заземление, т. е. заземлена ли нулевая точка сети или нет.

Если нулевая точка сети заземлена, то при включении на одну фазу человек попадает под фазовое напряжение и подвергается воздействию тока $I_ч$, величина которого определяется величиной

фазового напряжения U_{ϕ} установки, сопротивлением тела $R_{ч}$ и сопротивлением заземления нулевой точки R_0 .

Фазовое напряжение при данной схеме соединения электросети звездой (фиг. 3) будет равно

$$U_{\phi} = \frac{U}{\sqrt{3}},$$

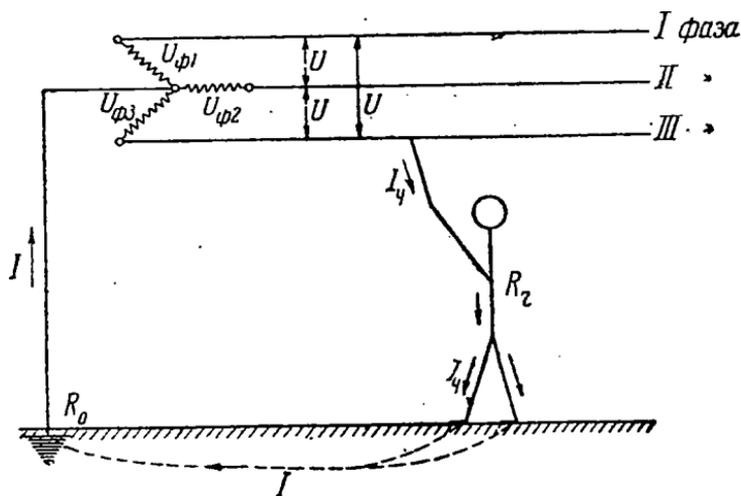
где U — рабочее или линейное напряжение в В.

Но так как величина сопротивления R_0 по сравнению с сопротивлением человека $R_{ч}$ незначительна, то ею можно пренебречь.

Следовательно,

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч}} = \frac{U}{\sqrt{3}R_{ч}}.$$

Подобно предыдущему случаю здесь изоляция установки не оказывает никакого защитного действия.



Фиг. 3. Схема однофазного включения в системе с заземленным нулем.

Если человек включится на одну фазу в установке с электросетью, имеющей изолированную нулевую точку (фиг. 4), ток пройдет от места контакта через руку и корпус пострадавшего, затем через ноги, обувь, пол и несовершенную изоляцию других проводов. Следовательно, в электроцепь, кроме сопротивления тела самого человека, включается сопротивление обуви, пола и изоляции проводов.

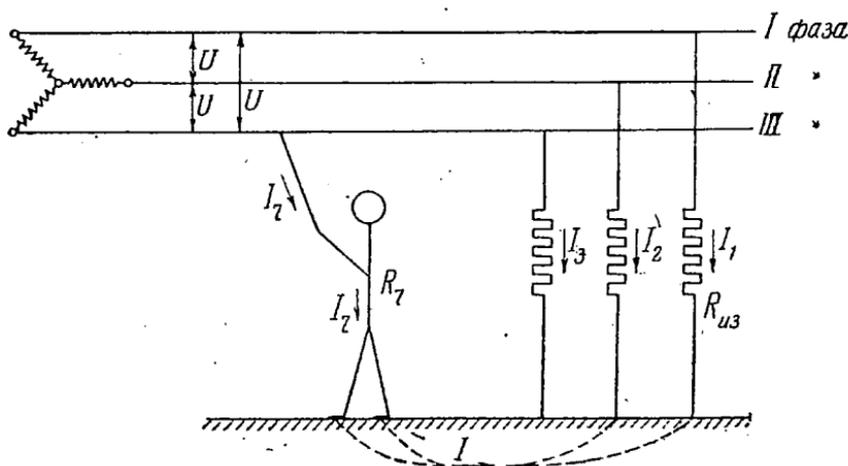
В системе с изолированным нулем при исправной изоляции нулевая точка сети вследствие симметрии системы все же будет иметь потенциал земли, как и в предыдущем случае. Но при замыкании на землю одной из фаз нулевая точка приобретает некоторое напря-

жение по отношению к земле, тем большее, чем меньше переходное сопротивление между проводом и землей.

Если обозначить напряжение нулевой точки по отношению к земле через U_0 , а напряжение проводов по отношению к земле через U_1 , U_2 и U_3 , то напряжения между фазами I, II, III и нулевой точкой O соответственно будут

$$\bar{U}_1 - \bar{U}_0; \quad \bar{U}_2 - \bar{U}_0; \quad \bar{U}_3 - \bar{U}_0.$$

Черточки сверху указывают, что все эти величины должны рассматриваться как векторные¹ с учетом их направления и взаимного расположения.



Фиг. 4. Схема однофазного включения в системе с изолированным нулем.

Обозначив подобно предыдущему сопротивление человека $R_ч$ и приняв сопротивление изоляции для всех фаз одинаковым $R_{из}$, получим токи утечки I_1 , I_2 , I_3 через сопротивление изоляции $R_{из}$ и ток I_4 , протекающий через тело человека ($R_ч$):

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_0}{R_{из}}; \quad \bar{I}_2 = \frac{\bar{U}_2 - \bar{U}_0}{R_{из}}; \quad \bar{I}_3 = \frac{\bar{U}_3 - \bar{U}_0}{R_{из}}; \quad \bar{I}_4 = \frac{\bar{U}_3 - \bar{U}_0}{R_ч}.$$

Согласно закону Кирхгофа геометрическая сумма векторов токов утечки через сопротивление изоляции и тело человека должна быть равна нулю, т. е.

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 + \bar{I}_4 = 0.$$

¹ Векторами называются физические величины, для полного определения которых, кроме числа, выражающего их абсолютную величину, необходимо также знать и направление их, т. е. величины, которые складываются геометрически.

Подставляя для каждого тока его выражение, написанное выше, получим:

$$\frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_0}{R_{из}} + \frac{\bar{U}_2 - \bar{U}_0}{R_{из}} + \frac{\bar{U}_3 - \bar{U}_0}{R_{из}} + \frac{\bar{U}_3 - \bar{U}_0}{R_ч} = 0$$

и

$$\frac{3\bar{U}_0}{R_{из}} + \frac{\bar{U}_0}{R_ч} = \frac{\bar{U}_1 + \bar{U}_2 + \bar{U}_3}{R_{из}} + \frac{\bar{U}_3}{R_ч}. \quad (a)$$

Так как все фазовые напряжения $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3$ равны по величине и сдвинуты между собой на 120° , то геометрическая сумма равна нулю:

$$\bar{U}_1 + \bar{U}_2 + \bar{U}_3 = 0.$$

Тогда уравнение (a) будет иметь вид:

$$\frac{3\bar{U}_0}{R_{из}} + \frac{\bar{U}_0}{R_ч} = \frac{\bar{U}_3}{R_ч}$$

или

$$\bar{U}_0 \left(\frac{3}{R_{из}} + \frac{1}{R_ч} \right) = \frac{\bar{U}_3}{R_ч},$$

откуда напряжение нулевой точки

$$\bar{U}_0 = \frac{\bar{U}_3}{R_ч \left(\frac{3}{R_{из}} + \frac{1}{R_ч} \right)} = \frac{\bar{U}_3}{\left(\frac{3R_ч}{R_{из}} + 1 \right)}$$

и ток, протекающий через человека,

$$I_ч = \frac{\bar{U}_3 - \bar{U}_0}{R_ч} = \frac{\bar{U}_3}{R_ч} \left(1 - \frac{1}{\frac{3R_ч}{R_{из}} + 1} \right) = \frac{\bar{U}_3 \cdot 3R_ч}{R_ч (3R_ч + R_{из})} = \frac{\bar{U}_3}{R_ч + \frac{R_{из}}{3}}$$

Так как напряжения отдельных фаз

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_\phi,$$

то, выражая фазовое напряжение U_ϕ через рабочее U , получим:

$$I_ч = \frac{U}{\sqrt{3}R_ч + \frac{R_{из}}{\sqrt{3}}}$$

Однофазное включение наблюдается весьма часто. В практике эксплуатации электрических установок оно может возникнуть в случаях, когда работы под напряжением выполняются при отсутствии защитных средств, а также при пользовании всякого рода приборами с неудовлетворительной изоляцией токоведущих частей.

Наиболее опасно двухфазное включение, так как здесь человек оказывается включенным на полное рабочее напряжение и изоляция установки не оказывает никакого защитного действия.

Далее следует однофазное включение в системе с заземленным нулем. В этом случае опасность несколько уменьшается, так как

человек включается только на фазовое напряжение, которое по отношению к рабочему будет в 1,73 раза меньше. Кроме того, здесь может известную защитную роль сыграть изоляция обуви, пола. При наличии исправных электротехнических калош или сухого деревянного пола опасность может быть сведена к минимуму.

В лучших условиях окажется человек при однофазном включении в системе с изолированной нулевой точкой. Хотя в данном случае человек оказывается включенным через несовершенную изоляцию на полное рабочее напряжение, но кроме изоляции обуви и пола, здесь огромное значение может иметь и сопротивление изоляции двух других фаз. Это значит, что в системах с изолированным нулем действует защитное сопротивление изоляции установки, которое при хорошем состоянии изоляции может быть настолько большим, что человек не подвергнется опасности поражения электрическим током.

До сих пор мы рассматривали сети без учета емкости проводов.

Однако всякая электроустановка обладает большей или меньшей емкостью. В зависимости от величины емкости может произойти поражение током при однофазном включении в системе с изолированным нулем даже в случае идеальной изоляции. Емкость зависит от конструкции сети (кабельная или воздушная), сечения кабеля и напряжения.

Средние значения емкостей следующие: емкость жилы подземного кабеля по отношению к земле составляет примерно $0,2 \cdot 10^{-6}$ F/км, а емкость одной фазы относительно земли для обычных воздушных линий высокого напряжения

$$C = 0,0045 \cdot 10^{-6} \div 0,005 \cdot 10^{-6} \text{ F.}$$

Реактивное сопротивление емкости по отношению к земле будет:

$$X_C = \frac{1}{\omega C},$$

где X_C — реактивное сопротивление емкости в Ω ; ω — угловая частота переменного тока, равная $2\pi f$, где f — частота переменного тока, равная для установок трехфазного тока наших промышленных предприятий 50 пер/сек.; C — емкость фазы по отношению к земле в F.

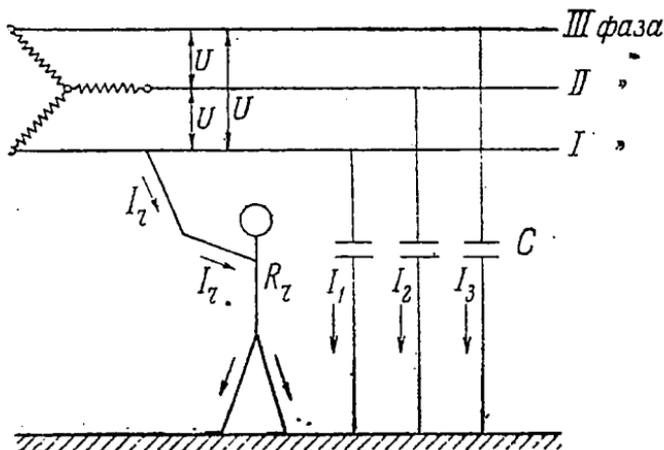
Предположим, что изоляция установки находится в настолько хорошем состоянии, что токами утечки через изоляцию можно пренебречь, но вместе с тем установка обладает некоторой емкостью C по отношению к земле. Для рассматриваемого случая схема включения человека в установку (фиг. 5) аналогична предыдущей, но токи утечки здесь будут возникать не через несовершенную изоляцию, как ранее, а через емкость. Рассуждая подобно предыдущему, получим в этом случае общее выражение для тока, протекающего через человека:

$$I_{\text{ч}} = \frac{\bar{U}_3}{\sqrt{3} \bar{R}_{\text{ч}} + \frac{X_C}{\sqrt{3}}}$$

и соответственно этому величина тока, протекающего через человека, равна

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(\sqrt{3}R_{\text{ч}})^2 + \left(\frac{x_C}{\sqrt{3}}\right)^2}} = \frac{U_{\phi} \sqrt{3} \omega C}{\sqrt{9R_{\text{ч}}^2 \omega^2 C^2 + 1}} = \frac{U \omega C}{\sqrt{9R^2 \omega^2 C^2 + 1}}$$

В изолированных электросистемах с разветвленной кабельной сетью, обладающей большой емкостью и малым сопротивлением изоляции, ток, проходящий через тело человека, может оказаться опасным для жизни. В таких случаях изолированные электросистемы в отношении безопасности почти полностью теряют преимущества перед электросистемами с заземленным нулем. Но так как однофазное включение встречается наиболее часто, электросистемы с изолированным нулем для сетей малой и средней протяженности более



Фиг. 5. Схема однофазного включения в установке трехфазного тока с учетом емкости установки.

безопасны по сравнению с заземленными электросистемами. Изолирование нуля в отношении повышения безопасности установки нецелесообразно только для электросетей большой протяженности. В этом случае изолированные установки равноценны электроустановкам с заземленным нулем.

В случае соприкосновения с одной фазой и одновременного замыкания на землю другой фазы человек оказывается включенным под полное линейное напряжение установки, и ток, протекающий через его тело, будет:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U}{R_{\text{ч}}} \text{ (фиг. 6).}$$

Такая возможность не может считаться исключенной при неудовлетворительном состоянии изоляции установки и длительном замыкании на землю одного из проводов.

Для иллюстрации изложенного материала определим величину тока, проходящего через человека, при различных условиях работы

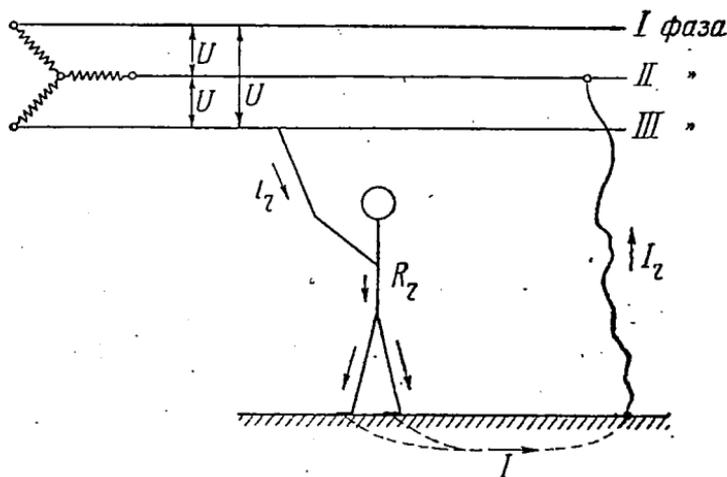
установки, задаваясь наиболее часто встречающимися на практике величинами, а также принимая сопротивление человеческого тела в 1000 Ω (табл. 6 стр. 24).

В установках постоянного тока следует различать двухполюсное и однополюсное включения.

При двухполюсном включении человек оказывается включенным под полное рабочее напряжение и величина тока, протекающего через тело, зависит исключительно от напряжения установки и сопротивления человека, т. е.

$$I_{\text{ч}} = \frac{U}{R_{\text{ч}}}.$$

При однополюсном включении следует различать установки изолированные и заземленные. В случае трехпроводной системы с за-



Фиг. 6. Схема однофазного включения в системе с изолированным нулем при замыкании одного из проводов на землю.

земленной нейтралью при однополюсном включении человек окажется под воздействием половины рабочего напряжения, и величина тока, проходящего через человека (фиг. 7),

$$I_{\text{ч}} = \frac{U}{2R_{\text{ч}}}.$$

В случае изолированной системы, если оба провода имеют одинаковую изоляцию, при однополюсном включении (фиг. 8)

$$I_{\text{ч}} = \frac{U}{2R_{\text{ч}} + R_{\text{из}}}.$$

При замыкании же одного из проводов на землю, так же как и в установках трехфазного тока, при однофазном включении

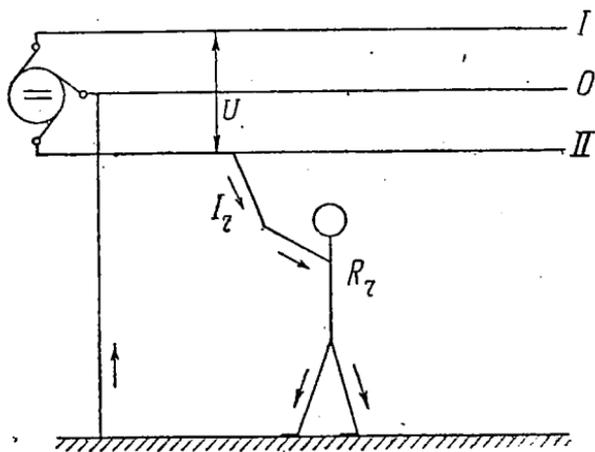
$$I_{\text{ч}} = \frac{U}{R_{\text{ч}}}.$$

В заключение необходимо отметить, что включение человека в цепь электрического тока может осуществиться не только в случае

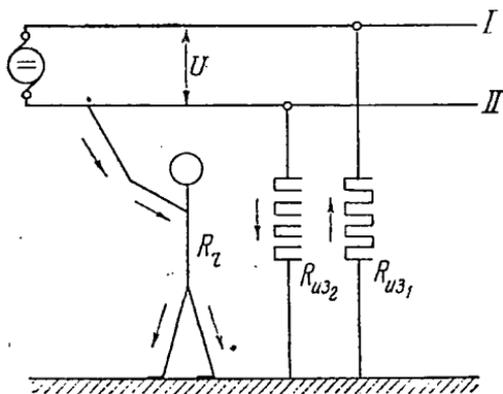
Величина тока, проходящего через человека при различных условиях работы установки и сопротивлении человеческого тела в 1000 Ω

Способ включения и расчетная формула	Напряжение установки U В	Сопротивление изоляции сети $R_{из}$ Ω	Емкость проводов сети по отношению к земле C Ф	Ток, протекающий через тело человека $I_ч$ А	Воздействие тока на человека							
Двухфазное включение $I_ч = \frac{U}{R_ч}$	500	—	Не учитывается при небольшом протяжении сети	0,5	Во всех случаях $I_ч > 0,1$ А. Все случаи со смертельным исходом							
	380	—		0,38								
	220	—		0,22								
	110	—		0,11								
Однофазное включение в системе с заземленным нулем $I_ч = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot R_ч}$	$500/\sqrt{3}$	—	То же	0,289	Смертельное поражение Тяжелое поражение							
	$380/\sqrt{3}$	—		0,22								
	$220/\sqrt{3}$	—		0,127								
	$110/\sqrt{3}$	—		0,0635								
Однофазное включение в системе с изолированным нулем $I_ч = \frac{U}{\sqrt{3} R_ч + \frac{R_{из}}{\sqrt{3}}}$	500 380 220 110	При $n = 100$	То же	0,108 0,097 0,073 0,0473	Смертельное поражение Тяжелое поражение Среднее поражение							
		5000										
		3800										
		2200 1100										
$R_{из} = \frac{1000 \cdot U}{n}$ где n —число участков сети	500 380 220 110	При $n=10$	—	0,016 0,016 0,015 0,0136	Все случаи легкие							
		50000										
		38000										
		22000 11000										
Однофазное включение в системе с изолированным нулем при наличии значительной емкости и идеальной изоляции установки $I_ч = \frac{\sqrt{3} U \cdot \omega C}{\sqrt{9R_ч^2 \omega^2 C^2 + 1}}$ здесь $C = C_0 l$, где C_0 —емкость провода по отношению к земле на 1 км длины, l —протяженность сети в км	500 380 220 110	$R_{из} = \infty$ (идеальная изоляция)	Сеть кабельная $C_0 = 0,2 \cdot 10^{-6}$ Ф, $l = 10$ км, $C = 2 \cdot 10^{-6}$ Ф	0,262 0,201 0,116 0,058	Смертельное поражение Тяжелое поражение							
		То же				Сеть кабельная $C_0 = 0,2 \cdot 10^{-6}$ Ф, $l = 20$ км, $C = 4 \cdot 10^{-6}$ Ф	0,29 0,22 0,128 0,064	Смертельное поражение Тяжелое поражение				
									То же	Сеть воздушная $C_0 = 0,05 \cdot 10^{-6}$ Ф, $l = 10$ км, $C_0 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ Ф	0,124 0,0945 0,0548 0,0274	Смертельное поражение Тяжелое поражение Среднее поражение

прикосновения к токоведущим проводам, но и при прикосновении к металлическим частям машин, аппаратов или приборов, нормально не находящихся под напряжением, но могущих оказаться под напря-



Фиг. 7. Схема однополюсного включения в трехпроводной сети постоянного тока.



Фиг. 8. Схема однополюсного включения в системе постоянного тока.

жением при повреждении изоляции. Условия протекания тока через человеческое тело и принимаемые при этом защитные мероприятия изложены в главе II.

II. ЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОБСТАНОВКЕ

В отношении безопасности электрических установок огромное значение имеет производственная обстановка. Влага, пыль, едкие пары, высокая температура разрушительно действуют на изоляцию установки, создавая благоприятные условия для поражения током и возгорания. Опасность поражения увеличивается еще и тем, что перечисленные факторы, влияя также на кожу, одежду и обувь, могут снизить сопротивление человека до опасного предельного значения. В соответствии с этим все помещения разделяются по степени опасности на следующие группы:

А. Помещения без повышенной опасности. К этой группе относятся все помещения сухие, не жаркие, с полами из материалов, не проводящих токов, без токопроводящей пыли, а также помещения с небольшим количеством металлических предметов, металлических конструкций, машин и т. п.

Степень опасности от загромождения помещения металлическими предметами можно определять по коэффициенту заполнения, т. е. отношению площади, занятой такими предметами, к площади всего помещения.

Б. Помещения с повышенной опасностью. К этой группе относятся: 1) сырые помещения с постоянным или кратковременным наличием влаги; 2) помещения сухие, но не отапливаемые; 3) помещения с токопроводящей пылью; 4) жаркие и особо жаркие помещения; 5) помещения с большим числом металлических заземленных производственных машин и других объектов при коэффициенте заполнения выше 0,2; 6) помещения с полами из неизолирующих материалов (бетонные, земляные и пр.), а также с деревянными или асфальтовыми полами, если последние по характеру производственных процессов постоянно бывают влажными.

В. Помещения особо опасные. К этой группе должны быть отнесены: 1) особенно сырые помещения; 2) помещения с едкими парами; 3) помещения, характеризующиеся двумя или более признаками повышенной опасности, в зависимости от местных условий и степени проявления названных признаков (например, сырые помещения с полами из неизолирующего материала).

Входящие в эту классификацию определения помещений по характеру окружающей среды (сухие, сырые и пр.) нуждаются в уточнении для устранения произвольности в толковании их.

1. С у х и е п о м е щ е н и я, в которых пол, стены и все предметы нормально находятся в сухом состоянии, т. е. помещения с относительной влажностью не выше 75% и температурой не ниже +5° С. К этой группе относятся жилые помещения, помещения общественного пользования (школы, больницы, клубы и т. п.), некоторые производственные помещения, а также распределительные устройства электростанций и некоторые цехи машиностроительных заводов. Кроме того, различают помещения сухие не отапливаемые, в которых относительная влажность остается та же, но предел температуры не устанавливается.

2. С ы р ы е п о м е щ е н и я, в которых при резком изменении температуры или при выделении большого количества пара влажность может быть весьма значительной, т. е. помещения с относительной влажностью или постоянно превышающей 75% или могущей временно повышаться до 100%. К указанной группе относятся все неотапливаемые помещения, подвалы, сараи, склады, чердаки, а также уборные, ванны и некоторые цехи текстильного, резинового, бумажного и других производств.

3. О с о б о с ы р ы е п о м е щ е н и я, в которых воздух постоянно насыщен водяными парами, т. е. относительная влажность его достигает 100%, вследствие чего пол, потолок, стены и все предметы постоянно покрыты влагой.

4. П о м е щ е н и я с т о к о п р о в о д я щ е й п ы л ь ю, которая собирается в больших количествах в связи с характером производственных процессов. Эта пыль препятствует поддержанию сопротивления изоляции электроустановки на должной высоте, а также снижает сопротивление человеческого тела. Сюда следует отнести угольные мельницы, цементные заводы, шлифовальные цехи металлообрабатывающих заводов, обрубные отделения литейных заводов и т. п.

5. П о м е щ е н и я с е д к и м и п а р а м и и л и г а з а м и, которые выделяются при производственном процессе и разрушительно действуют на обычно применяемые для электроустройств материалы. Вследствие этого необходимо принимать особые меры для защиты изоляции электрооборудования. Кроме разрушительного действия на изоляцию электроустановки эти пары и газы одновременно могут уменьшать сопротивление человеческого тела. К этой группе относятся преимущественно химические производства и некоторые цехи машиностроительных, металлообрабатывающих и других заводов.

6. Ж а р к и е п о м е щ е н и я, характеризующиеся высокой температурой, вызывающей высыхание и разрушение изоляции, а также обильное потовыделение, повышающее опасность поражения током.

Сюда относятся различные термические установки, литейные цехи, металлургические заводы. Различают помещения жаркие с темпера-

турой выше 30° и особенно жаркие с температурой выше 35°. При этих температурах выделение пота увеличивается.

7. Помещения, опасные в пожарном отношении, в которых обрабатываются или хранятся легко воспламеняющиеся предметы или по условиям производства могут образоваться легко воспламеняющиеся газы, пары, пыль и волокна.

К этой группе могут быть отнесены деревообделочные мастерские, сахарные производства, мельницы, склады химических производств и т. п.

8. Взрывоопасные помещения, в которых изготавливаются, обрабатываются или хранятся взрывчатые вещества или могут образоваться взрывчатые газы, пары, пыль или смесь их с воздухом.

В зависимости от характера производственной обстановки к электроустановкам предъявляются различные требования безопасности в отношении их устройства и эксплуатации.

Установки для двух последних групп помещений должны быть выполнены особенно тщательно согласно особым правилам.

Степень опасности многих производственных помещений может быть значительно снижена путем рационализации технологического процесса, а также применением рациональной вентиляции и герметизации.

В отношении безопасности большое значение имеет также материал пола. Пол из изолирующего материала (деревянный, асфальтовый) обладает весьма высоким сопротивлением и может оказать большое защитное действие при однофазном включении человека под напряжение. Бетонные, кирпичные, каменные полы имеют значительно меньшее сопротивление. Однако при наличии влаги полы из дерева, а также из других материалов могут оказаться токопроводящими. Бетонные и плиточные полы считаются проводящими ток. Металлический пол, обладающий наименьшим сопротивлением, наиболее опасен, особенно, если он непосредственно соединен с заземляющей системой, водопроводом или почвой.

2. БЕЗОПАСНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Подразделение напряжения на низкое и высокое ни в коем случае не указывает на безопасность первого из них. Так, установки, работающие под напряжением не свыше 250 V относительно земли, обычно относят к установкам низкого напряжения, а попадание под такое напряжение может закончиться смертельным исходом. Неверное представление о безопасности низкого напряжения приводит к игнорированию элементарных мер предосторожности и в результате этого к несчастным случаям. Статистикой электротравматизма неоднократно отмечались случаи смертельных поражений в установках низкого напряжения даже при напряжении 65 V.

На опасность низкого напряжения указывают следующие примеры. Рабочий цеха питания одного завода, окончив работу, хотел выключить электрическую лампу, установленную над картофелечисткой.

Он встал одной босой ногой на стул, а другой на картофелечистку и взял левой рукой подвешенный иллюминационный патрон. Таким образом он оказался под напряжением 220 V и был убит.

Штукатур, беливший стены, стоя на паропроводе, коснулся патрона лампы, находившегося вследствие неисправности под напряжением 220 V, и был убит током.

Рабочий ввертывал электрическую лампу, стоя без обуви на металлическом нефтяном баке. Прикоснувшись к цоколю лампы, он получил электрический удар, вследствие чего последовала смерть.

Смертельное поражение часового-красноармейца произошло вследствие прикосновения к оборвавшемуся проводу воздушной осветительной сети, находившейся под напряжением 380/220 V. Обрыв вызван неудовлетворительным выполнением осветительной проводки голым алюминиевым проводом сечением 7 мм² (вместо 16 мм² по нормам).

Самым действенным способом защиты от поражения током было бы применение безопасных напряжений не свыше 12—40 V в зависимости от условий.

В сухих помещениях можно считать безопасным напряжение 40 V. В условиях повышенной опасности, например в сыром или жарком помещении, в помещении с едкими парами, с хорошо проводящим полом и т. п., при указанном напряжении могут быть тяжелые поражения. Поэтому здесь безопасным следует признать напряжение не свыше 12 V.

Однако уменьшение рабочего напряжения установки связано с увеличением рабочего тока, а следовательно, и с увеличением сечения проводов сети и токоведущих частей электрических машин и аппаратуры. При этом электрооборудование получилось бы громоздким и дорогостоящим. Поэтому безопасное напряжение как защитное мероприятие может быть использовано только для электроприборов малой мощности, используемых в особенно опасных условиях (ручные электролампы, электрифицированный инструмент при работах в котлах, цистернах, сырых помещениях и т. п.).

3. НЕДОСТУПНОСТЬ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ

Совершенно исключить умышленное прикосновение к токоведущим частям электроустановок практически невозможно. Это вызвало бы значительное усложнение и удорожание электрооборудования и во многих случаях затруднило бы нормальную работу электроустановки. Поэтому основным требованием безопасности, предъявляемым к электроустановкам, является обеспечение защиты токоведущих частей только от случайного прикосновения.

Достаточная квалификация эксплуатационного персонала в этом отношении имеет существенное значение. В тех случаях, когда с обслуживанием электрооборудования связаны лица, не имеющие правильных и ясных представлений об опасности прикосновения к токоведущим частям, необходим усиленный надзор для предотвращения случайных прикосновений к токоведущим частям установки.

Для предотвращения несчастных случаев лица, не имеющие отношения к эксплуатации электрических установок, не должны допускаться в места расположения установок. Не обслуживаемые помещения должны быть заперты; ключ от них можно давать только специально назначенным лицам. Нарушение этого правила привело к следующему несчастному случаю.

На подстанции 115 кВ милиционер во время дежурства, желая обогреться, открыл ячейку 6,6-кВ трансформатора собственных нужд. Можно предполагать, что, войдя в ячейку, он сел в ее углу у трансформатора и закурил (впоследствии была обнаружена папироса в правой руке). Очевидно, вставая, милиционер взялся левой рукой за шину крайней фазы трансформатора, так как шина оказалась изогнутой, а кисть левой руки обожженной (ток прошел через левую руку с выходом в ступнях ног).

Потерпевший был обнаружен с левой стороны трансформатора мертвым в сидячем положении.

Согласно § 20 электротехнических правил и норм (IX ВЭС) части установки, находящиеся под напряжением 40 В, не подлежат обязательному ограждению от случайных прикосновений. Однако, учитывая, что в особенно неблагоприятных условиях не исключены тяжелые последствия, и при таком напряжении токоведущие части следует защищать. При напряжении выше 40 В все находящиеся нормально под напряжением части установки нужно обязательно изолировать путем ограждения или расположения на недоступной высоте для предотвращения случайных прикосновений.

В зависимости от напряжения установки и условий обслуживания ее применяют различные способы защиты. Принципиально они различны для производственных помещений, воздушных сетей и электромашиных помещений.

В установках низкого напряжения достаточной защитой от случайного прикосновения служит надлежащая изоляция токоведущих частей. Лакировка, эмалировка или покрытие краской не могут считаться удовлетворительной мерой защиты.

В установках высокого напряжения и голые и изолированные части, находящиеся под напряжением, должны быть соответственно ограждены.

Это требование обуславливается возможностью возникновения при наличии емкости или вследствие несовершенной изоляции значительных токов утечки, опасных для жизни человека.

В производственных помещениях голые токоведущие части допускаются лишь в особых случаях (контактные сети электрокранов) при условии расположения их на недоступной высоте.

Незащищенные токоведущие части допускаются только для устройства воздушных линий, наружных устройств, а также в электромашиных помещениях. Чтобы предотвратить случайное прикосновение, их располагают на недоступной высоте или в недоступных местах или устраивают специальные ограждения.

Конструкции ограждения выбирают в соответствии с помещением,

в котором находится установка. В производственных помещениях, где работают лица, не имеющие специальной электроквалификации, ограждения неизолированных токоведущих частей, расположенных на доступной высоте, должны быть сплошными в виде огнестойких покрытий, кожухов и т. п.

В электромашинных помещениях для защиты частей, находящихся под высоким напряжением, широко применяют сетчатые ограждения и барьеры.

С ростом техники обнаруживается стремление к наиболее совершенной защите от возможности случайного прикосновения к токоведущим частям даже там, где ранее эта защита в такой мере была бы сочтена нецелесообразной. Например, в трансформаторных подстанциях распределительные щиты 380—500 В ограждаются сетками с задней стороны, или устанавливаются на лицевой стороне щита рубильники с задним выключением, конструкция которых исключает возможность травмирования при обслуживании.

Таким образом рациональный способ защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям должен быть выбран в соответствии со всеми особенностями устройства и эксплуатации электроустановки. Отсутствие ограждений может быть причиной тяжелых несчастных случаев.

Например, на одной подстанции 30 кВ в распределительном устройстве после включения первой системы полос была отключена вторая и заземлена. Между шинами второй системы на высоте 3,5 м на крайние стенки крайних ячеек были положены две доски шириной 230 мм. Это не обеспечивало достаточной безопасности работы на значительной высоте. Кроме того, первая система не была ограждена от второй.

Когда работа была почти закончена, инженер хотел сойти с доски вниз, но оступился и стал падать в сторону первой системы полос. При этом он инстинктивно, желая за что-нибудь ухватиться, вытянул руки и в момент падения приблизил их к первой системе полос, вследствие чего был перекрыт вольтовой дугой. Смерть произошла от ожогов правой руки, головы и сильного удара головы о бетонный пол.

Монтер одной подстанции крепил клемму проходной втулки, встав на табуретку в аванкамере 6,6 кВ.

Техник, руководивший работой, сел верхом на стенку аванкамеры, на которой крепится привод масляного выключателя, и нагнулся для наблюдения. Над его головой на высоте примерно 250 мм находились разомкнутые ножи разъединителей. Поднимаясь, техник ударился головой об нож разъединителя и замкнул его. Техник и монтер получили смертельные ожоги всего тела вольтовой дугой.

4. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Для защиты от поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические части установки, нормально не находящиеся под напряжением и доступные для прикосновения, необ-

ходимо обеспечивать их надлежащее заземление, зануление или защитное включение, в зависимости от того, что легче осуществить в данных условиях.

З а з е м л е н и е м называется преднамеренное соединение какой-либо точки установки с землей. Заземление состоит из заземляющего электрода, или заземлителя, представляющего металлический проводник (или группу проводников), находящийся в непосредственном соприкосновении с почвой, и заземляющих проводов, или полос, соединяющих заземляемые части с заземлителем.

По назначению заземления делятся на защитные и рабочие.

З а щ и т н ы м заземлением называется металлическое соединение с заземлителем металлических частей электрической установки, которые обычно не находятся, но могут оказаться под напряжением. Оно предназначено для защиты людей от опасных напряжений прикосновения и шага.

Р а б о ч и м заземлением называется металлическое соединение с заземлителем токоведущих частей электроустановки (обычно нейтрали), устраиваемое с целью устранения или уменьшения повышения напряжения относительно земли токоведущих частей или для обеспечения быстрого отключения поврежденной части установки.

К рабочим заземлениям относится заземление нулевой точки обмоток трансформатора, генератора, заземление молниеотводов, рядников, рабочих проводов для электротранспорта, радиоустановок и др.

При аварийном состоянии установок через рабочие или защитные заземления будут проходить токи и, следовательно, в них будут возникать падения напряжения.

Распределение потенциала по отношению к «земле», т. е. к точке земной поверхности, достаточно удаленной от места перехода тока в землю (на расстоянии не менее 20 м), потенциал которой может быть принят равным нулю, представлено на фиг. 9 (кривая I).

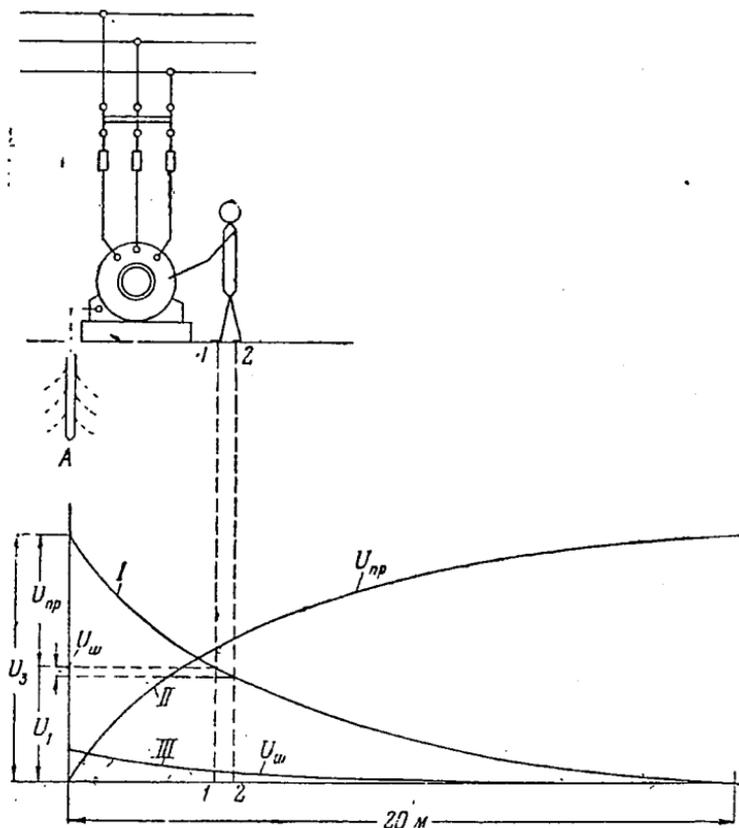
Человек, соприкасающийся с поврежденным электрооборудованием, подвергается действию напряжения, равного разности напряжения корпуса мотора и напряжения той точки земной поверхности I, на которой он стоит. Эта разность называется напряжением прикосновения:

$$U_{\text{пр}} = U_2 - U_1.$$

Откладывая на диаграмме эти величины для разных точек, получим кривую II. Чем дальше отстоит заземлитель A от места нахождения человека, тем больше напряжение прикосновения.

Так как точки земной поверхности имеют различные потенциалы, то между двумя точками почвы существует для данных условий вполне определенная разность потенциалов.

Поэтому опасность поражения током возникает не только при непосредственном прикосновении к поврежденному электрооборудованию, но и при нахождении вблизи места перехода тока в землю. Если ноги человека находятся в точках 1 и 2, то его тело подвергается действию разности напряжений ($U_{ш}$ на фиг. 9), существующей между этими точками. Расстояние между данными точками принимается равным 0,8 м, что соответствует нормальному шагу человека. Величина указанной разности напряжений называется шаговым напряжением.



Фиг. 9. Кривые изменения потенциала точек земной поверхности (I), напряжения прикосновения (II) и шагового напряжения (III) в зависимости от расстояния от места замыкания на землю.

Взяв по кривой I (фиг. 9) разности напряжений для двух точек земной поверхности, отстоящих друг от друга на 0,8 м, и отложив их на диаграмме, получим кривую III, представляющую шаговые напряжения. Эта кривая показывает, что наибольшее шаговое напряжение получается при нахождении человека вблизи заземлителя.

Если «земля» не находится в непосредственной близости от заземленного объекта (водопровод, отопительные системы и др.), по-

тенциал которого может быть принят равным нулю, то человек не может оказаться под полным напряжением по отношению к «земле», даже будучи непосредственно у поврежденного объекта. Поэтому при устройствах защитного заземления вводят коэффициент $K_{пр}$ напряжения прикосновения или шагового напряжения, который выражает отношение напряжения прикосновения $U_{пр}$ или шагового напряжения $U_{ш}$ к полному напряжению U_3 , возникающему на заземленной системе:

$$K_{пр} = \frac{U_{пр}}{U_3} \quad \text{или} \quad K_{ш} = \frac{U_{ш}}{U_3}.$$

Введение этого коэффициента позволяет увеличить расчетную величину сопротивления защитного заземления, вследствие чего устройство заземления удешевляется.

Коэффициент прикосновения выбирается в зависимости от конструкции заземлителей.

Ориентировочно величины коэффициента прикосновения могут быть приняты в зависимости от условий работы установки:

1) при применении сосредоточенных заземлителей без контура $K_{пр} = 0,75$;

2) в кирпичных зданиях при наличии контурного заземления, состоящего из труб, соединенных полосой; $K_{пр} = 0,50$;

3) в железобетонных зданиях при наличии контурного заземления $K_{пр} = 0,25$;

4) в кирпичных зданиях при наличии контурного заземления, состоящего из труб, соединенных полосой, выравнивающих контуров внутри помещения и заземления всех без исключения металлических частей, $K_{пр} = 0,25$;

Согласно проекту «Правил расчета и устройства защитных заземлений и занулений в установках с напряжением до 1000 В» расчетная величина напряжения прикосновения определяется из следующих условий:

1) в случае обеспечения кратковременного прохождения тока замыкания на землю (не выше 2 сек.) и при условии непрерывного или частого соприкосновения с металлическими заземленными частями, а также для особо опасных помещений $U_{пр} = 65 \text{ В}$;

2) при том же условии относительно тока замыкания на землю, но при редком соприкосновении с металлическими частями $U_{пр} = 100 \text{ В}$;

3) в случае длительного (свыше 2 сек.) прохождения тока замыкания на землю при всех условиях и для всех категорий помещений $U_{пр} = 65 \text{ В}$.

Второе условие можно рассматривать как менее надежное, так как понятие редкого соприкосновения с металлическими частями неопределенно. Поэтому в дальнейших расчетах будем исходить из величины $U_{пр} = 65 \text{ В}$ ¹.

¹ Автор книги считает напряжение прикосновения в 65 В не гарантирующим от несчастных случаев, так как в практике встречались поражения током даже при более низком напряжении. Автор рекомендует принять во всех случаях напряжение прикосновения в 40 В.

В установках до 1000 В напряжение шага получается меньше напряжения прикосновения, и поэтому расчеты заземлений производят только по последней величине.

В проекте «Правил устройства защитных заземлений и занулений в установках с напряжением до 1000 В» даются следующие указания о применении тех или других защитных мер в установках:

1) во всех установках с напряжением проводов по отношению к земле свыше 150 В устройство защитного заземления и зануления является обязательным;

2) в установках с напряжением проводов по отношению к земле свыше 65 и до 150 В устройство защитного заземления и зануления обязательно: в помещениях особо опасных — для всех частей установки, а в помещениях с повышенной опасностью — только для частей, с которыми приходится соприкасаться руками в процессе работы (рукоятки, маховички, электроинструмент и т. д.);

3) в установках с напряжением 65 В защитное заземление или зануление не требуется;

4) в жилых помещениях с сухим и сохраняющим сухость деревянным полом, а также в тех помещениях, где соприкосновение с металлическими частями возможно только с изолирующей площадки, заземление и зануление не требуется даже при напряжении 380/220 В.

Значение защитных заземлений в электрических установках весьма велико. На это указывают несчастные случаи, происшедшие из-за отсутствия заземлений.

1. При расточке паровозного цилиндра на передвижном расточном станке, приводимом в действие от мотора напряжением 500 В, станочник был убит током. Причина смерти — отсутствие заземления и повреждение изоляции обмотки мотора, вследствие чего станок оказался под напряжением.

2. Вследствие отсутствия защитного заземления кабеля 2000 В и пробоя его изоляции при переходе напряжения на броню кабеля поражено током шесть человек, причем трое — смертельно.

3. Рабочий получил смертельное поражение током при случайном соприкосновении с передвижным агрегатом центробежного насоса, смонтированного вместе с приводящим его в действие мотором 220 В на металлической раме. Вследствие повреждения изоляции подводки к электромотору один из проводов замыкался на корпус, заземление агрегата отсутствовало, а поэтому весь агрегат находился под напряжением 220 В, что и явилось причиной несчастного случая.

4. При работе на точильном станке, приводимом в действие электромотором, вследствие изношенности изоляции и неудовлетворительного заземления станка рабочий получил смертельный электрический удар.

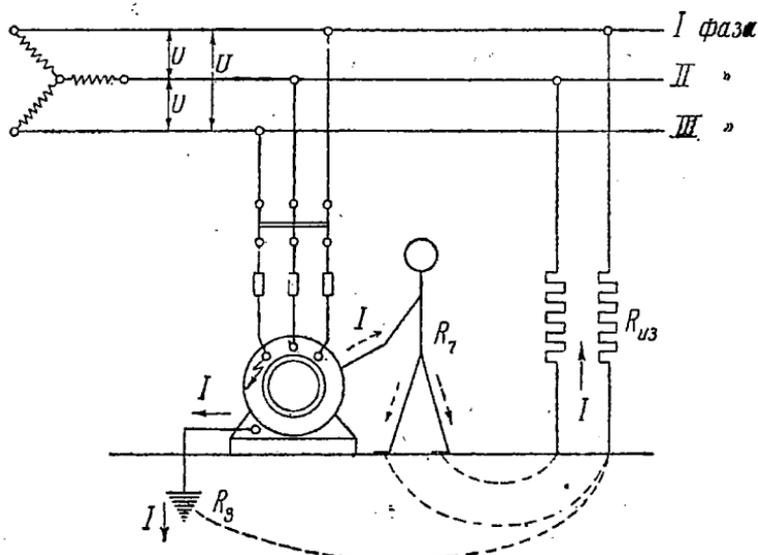
Защита должна применяться и в установках слабого тока по специальным указаниям, так как при отсутствии ее могут быть несчастные случаи.

Так, на одном заводе во время телефонного разговора был убит человек. Обследование установило, что вне помещения телефонные провода пересекались проводами электросети напряжением 380 В. В месте пересечения один из проводов электросети был оборван и касался телефонного провода, который поэтому оказался под напряжением в 380 В.

Поражение произошло из-за совершенно неудовлетворительной установки телефонного аппарата, не защищенного от возникновения напряжения при касании проводов высокого напряжения, и плохого состояния электросети.

Расчет заземлений в установках с изолированным нулем

В установках с изолированным нулем могут быть только защитные заземления. Для расчета их необходимо определить ток, претекающий через заземление. В случае пробоя изоляции одной фазы на корпус мотора (фиг. 10) ток пойдет в землю через защитное заземление и далее через несовершенную изоляцию или емкость к двум другим фазам. Если в это время человек, стоя на земле, прикоснется



Фиг. 10. Схема защитного заземления мотора.

к корпусу мотора, то он окажется под напряжением прикосновения и тело его образует параллельный путь тока с защитным заземлением. Для получения допустимой величины напряжения прикосновения необходимо, чтобы сопротивление защитного заземления удовлетворяло условию:

$$R_3 \leq \frac{U_{\text{пр}}}{I_{\text{зам}} \cdot K_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{зам}}$ — ток замыкания на землю; $U_{\text{пр}}$ — напряжение прикосновения; $K_{\text{пр}}$ — коэффициент прикосновения.

При удовлетворительной изоляции и небольшой емкости ток $I_{\text{зам}}$ может быть настолько незначительным, что расчетная величина сопротивления защитного заземления R_z получается большой. Выполнение такого защитного заземления практически не представляет трудности.

Если же изоляция установки неудовлетворительна, то вследствие чрезмерных токов утечки, приближающих состояние установки к состоянию двухфазного или трехфазного короткого замыкания, величина сопротивления защитного заземления будет соответственно меньше. При этом часто встречаются известные затруднения при выполнении заземления.

Зная число включенных приемников тока и ответвлений сети, можно ориентировочно подсчитать ток, возникающий в данной установке при замыкании на землю одной фазы, пользуясь эмпирическими формулами.

Обозначая через P — мощность двигателя в kW (в среднем); n — число двигателей; n_c — число участков сети; 0,2 — коэффициент, учитывающий ухудшение изоляции, получим:

1) ток утечки активной через несовершенную изоляцию электрических машин:

$$I_{y.м} = \frac{(P + 1000)n}{\sqrt{3} \cdot 0,2 \cdot 10^6} \text{ А}; \quad (2)$$

2) ток утечки через несовершенную изоляцию проводов сети

$$I_{y.с} = \frac{\sqrt{3} n_c}{0,2 \cdot 10^3} \text{ А}. \quad (3)$$

Обозначая через l_v протяженность воздушной сети в км; l_k — протяженность кабельной сети в км; U_ϕ — фазовое напряжение в В, получим ток утечки емкостной, возникающий через емкость сети:

$$I_{y.ем} = \frac{\sqrt{3} U_\phi (l_v + 25 l_k)}{350 \cdot 10^3} \text{ А}. \quad (4)$$

Зная ток утечки через несовершенную изоляцию и через емкость, подсчитываем весь ток, возникающий в установке при замыкании на землю фазы:

$$I_{\text{зам}} = \sqrt{(I_{y.м} + I_{y.с})^2 + I_{y.ем}^2} \text{ А}. \quad (5)$$

При условии постоянного контроля за исправностью изоляции на основании практики как минимальный предел расчетного тока рекомендуется 2 А.

Конференцией Электропрома (1932 г.) принято решение: «В установках с изолированным нулем искусственное заземление рассчитывать на ток замыкания на землю порядка 10 А, вне зависимости от тока выключения автоматов или тока плавления предохранителей».

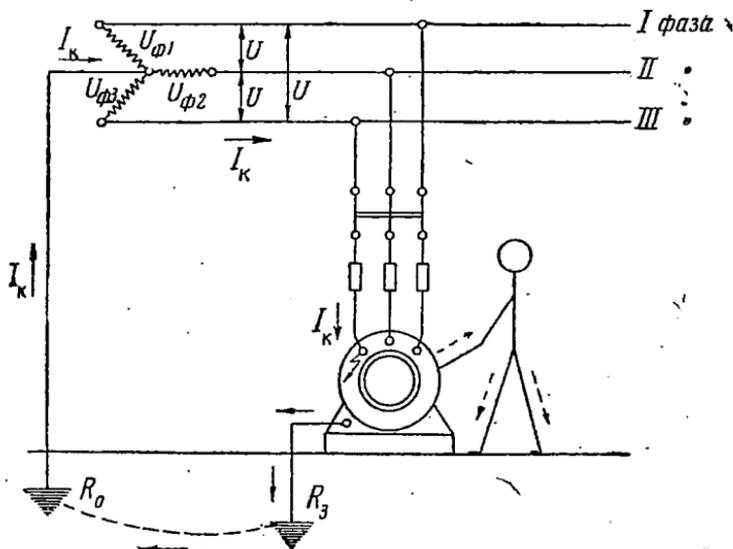
В установках с изолированным нулем, где постоянный контроль за изоляцией отсутствует и где ток практически может достигнуть значительной величины, рекомендуется при расчетах защитного заземления в качестве расчетного брать ток плавкой вставкой наиболее мощного предохранителя или ток выключения наиболее мощного автомата. Обозначая этот ток через $I_{н. п}$, получим:

$$R_3 \leq \frac{U_{пр}}{I_{н. п} K_{пр}}$$

Расчет заземлений в установках с заземленным нулем

Установки с заземленным нулем должны иметь заземление нулевых точек генераторов или трансформаторов через рабочие заземления.

В установках с заземленным нулем защитные заземления устраивают с целью ограничить до практически возможного предела время, в течение которого объект оказывается под напряжением.



Фиг. 11. Схема защитного заземления в установке с заземленным нулем.

Действительно, если напряжение, хотя бы и безопасное, длительно остается на объекте, то напряжение нулевой точки станет равным $U_0 = U_{\phi} - U_{пр}$, а напряжение неповрежденных фаз соответственно возрастет; это сделает опасными работу и обслуживание установки. Поэтому при устройстве защитного заземления следует учитывать необходимость максимально быстрого отключения установки при повреждениях.

При соприкосновении поврежденной фазы со станией мотора (фиг. 11) устанавливается цепь короткого замыкания между

поврежденной фазой через защитное заземление R_3 и рабочее заземление нулевой точки R_0 трансформатора; в цепи циркулирует ток короткого замыкания, величина которого равна:

$$I_k = \frac{U_\phi}{R_3 + R_0} \text{ А.} \quad (6)$$

Очевидно, для обеспечения быстрого отключения дефектного участка установки необходимо, чтобы ток короткого замыкания I_k был больше номинального тока предохранителя $I_{н.п}$ или тока $I_{н.а}$ автомата в зависимости от того, чем защищена установка от тока короткого замыкания. При этом время плавления плавких предохранителей будет различным в зависимости от типа предохранителя и тока, протекающего через предохранитель.

Таблица 7

При номинальном токе предохранителя $I_{н.п}$, А	При токе плавления	Время плавления сек.
До 25	Больше $2,5 I_{н.п}$	Меньше 2
» 60	» 3 $I_{н.п}$	2
» 160	» 4 $I_{н.п}$	Более 2

Существуют два типа предохранителей: обычные и медленно действующие (с тепловой инерцией). Характеристики этих предохранителей существенно отличаются друг от друга.

В табл. 7 даны величины тока и время плавления для обычных плавких предохранителей.

При предохранителях выше 160 А время плавления при токе $4 I_{н.п}$ несколько больше 2 сек.

Для ограничения времени, в течение которого установка при пробое изоляции представляет опасность, необходимо так подобрать сопротивление защитного заземления R_3 и заземление нулевой точки R_0 , чтобы ток I_k был в зависимости от мощности и типа предохранителя не менее $2,5-4 I_{н.п}$. Чем выше ток I_k , тем быстрее произойдет отключение, а следовательно, тем меньше будет возможность поражения током.

При защите автоматическими выключателями ток короткого замыкания должен быть больше тока выключения автомата по крайней мере в 1,2 раза, $I_k \geq 1,2 I_a$.

При токах, возникающих вследствие неполного пробоя изоляции и не обеспечивающих плавления предохранителей или отключения автоматов, т. е. могущих длительно оставаться на объекте, необходимо, чтобы напряжение прикосновения было не более 65 В, т. е. $I_n R_3 \leq \frac{65}{K} \text{ В.}$

Зная мощность заземляемого объекта P в kVA и напряжение установки U в В, легко найти величину сопротивления защитного заземления R_3 , удовлетворяющего своему назначению

$$R_3 \leq \frac{65}{I_n K} \leq \frac{65 \sqrt{3} \cdot U}{1000 P_i K} \Omega, \quad (7)$$

где P_i — полная мощность в kVA.

Если мощность приемника дана в kW, то в числитель указанного соотношения следует ввести значение $\cos \varphi$ приемника тока, а именно:

$$R_3 \leq \frac{65 \sqrt{3} U \cos \varphi}{1000 \cdot P_i K} \Omega. \quad (8)$$

Уже при сравнительно небольших мощностях заземляемых объектов расчетная величина сопротивления защитного заземления получается настолько малой (порядка долей ома), что выполнить такое заземление и поддерживать его в требуемом состоянии практически невозможно в условиях системы с заземленным нулем. В этом случае приходится прибегать к так называемому занулению.

Как было сказано выше, рабочее заземление устраивается с целью предотвратить опасность повышения напряжения в электроустановке, которая может возникнуть: 1) при переходе высокого напряжения на сторону низкого вследствие перекрытия или пробоя изоляции и 2) при замыкании на землю одного из рабочих проводов. И в том и другом случае для предотвращения указанной опасности сопротивление заземления нулевой точки R_0 должно иметь вполне определенную величину. Последнюю устанавливают, исходя из следующих соображений. Для случая перехода высокого напряжения на сторону низкого напряжение на рабочем заземлении относительно «земли» согласно существующим правилам должно быть не выше 150 V для сухих помещений и 65 V для сырых, с едкими парами.

Зная ток однофазного замыкания в сети высокого напряжения или ток максимального отключения аппаратов I_B , установленных в высоковольтной сети, легко определить сопротивление рабочего заземления:

$$R_0 = \frac{65 \div 150}{I_B}. \quad (9)$$

В случае замыкания одного из линейных проводов, напряжение на неповрежденных проводах по отношению к земле возрастет. Чтобы оно не могло превысить установленными нормами предела для установок низкого напряжения (250 V), падение напряжения в нулевом проводе не должно возрастать сверх определенной величины U_0 ; для сетей 220/127 V $U_0 = 40$ V, а для сетей 380/220 V $U_0 = 65$ V.

Соблюдение этого условия можно проверить по формуле

$$R_0 \leq \frac{U_0}{I_B}. \quad (10)$$

Из полученных по формулам (9) и (10) величин R_0 нужно взять наименьшую.

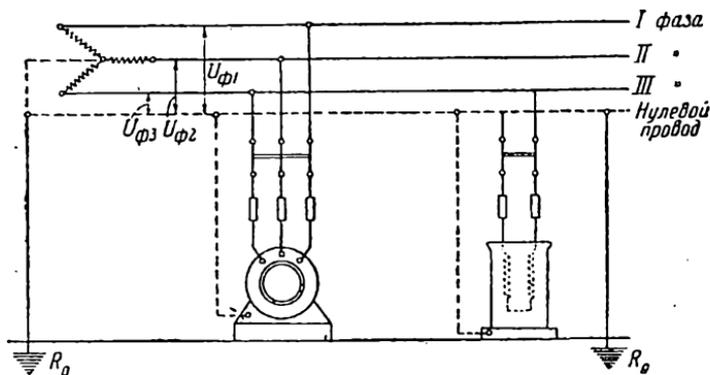
5. ЗАНУЛЕНИЕ И ЕГО РАСЧЕТ

Зануление представляет токопроводящее соединение защищаемых объектов с неоднократно заземленным нулевым проводом установки (фиг. 12).

Зануление, подобно защитному заземлению, в установках с заземленным нулем предназначено для автоматического отключения того или иного объекта, оказавшегося под напряжением вследствие повреждения изоляции. При применении зануления нейтраль сети должна быть заземлена непосредственно. Сопротивление рабочего заземления в этом случае определяется по формуле

$$R_0 = R_{\text{зам}} \frac{U_0}{U_{\phi} - U_0}, \quad (11)$$

где $R_{\text{зам}}$ — наименьшее возможное переходное сопротивление в месте замыкания на землю одного из фазовых проводов в Ω ; U_0 — допускаемое напряжение на рабочем заземлении; U_0 определяется из условия, что при замыкании на землю одного из проводов напряжение двух других по отношению к земле не должно превышать 250 В.



Фиг. 12. Схема общего зануления.

(По «Правилам расчета заземлений» для сетей с напряжением 220/127 В $U_0 = 40$ В и для сетей 380/220 В $U_0 = 65$ В. Было бы точнее последнюю величину принимать в 52,5 В; при $U_0 = 65$ В получается величина напряжения здоровых фаз относительно земли (около 260 В).

Как и в предыдущем случае, при замыкании фазы на объект возникает цепь короткого замыкания, но только не через заземление, а через нулевой провод. Действительно, если произойдет замыкание на корпус зануленного мотора (т. е. соединенного с нулевым проводом) фазы III (фиг. 13), то возникающий при этом ток короткого замыкания $I_{\text{к}}$ будет зависеть при данном фазовом напряжении установки U_{ϕ} исключительно от величины сопротивления (линейного) рабочего провода r и нулевого провода r_0 :

$$I_{\text{к}} = \frac{U_{\phi}}{r + r_0}. \quad (12)$$

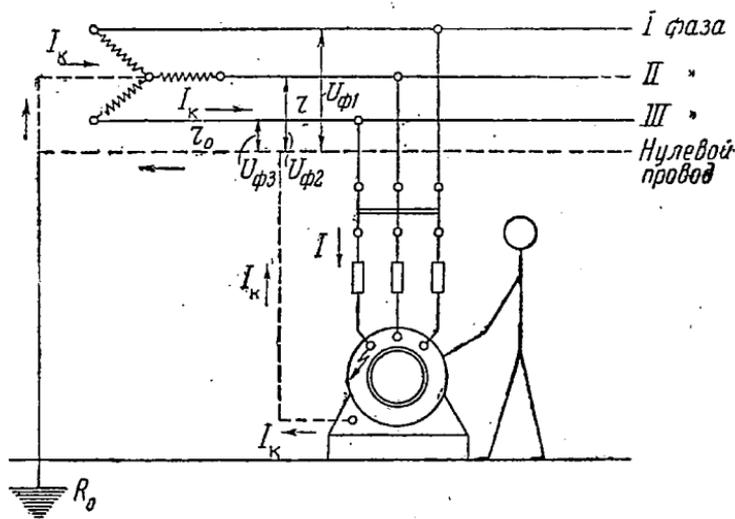
Следовательно, ток короткого замыкания в данных условиях совершенно не зависит от сопротивления заземления нулевой точки R_0 ; этим зануление существенно отличается от заземления.

Более полная формула для определения тока короткого замыкания в условиях зануления имеет вид

$$I_k = \frac{U_\phi}{\sqrt{(r + r_0)^2 + x^2}}, \quad (13)$$

где U_ϕ — фазовое напряжение; r — сопротивление рабочего провода от источника питания до места повреждения в Ω ; r_0 — сопротивление нулевого провода от источника питания до места повреждения в Ω ; x — индуктивное сопротивление нулевого провода в Ω .

Эта формула применяется в тех случаях, когда индуктивное сопротивление может быть значительным.



Фиг. 13. Схема зануления мотора.

Для быстрого отключения поврежденного объекта необходимо, чтобы ток короткого замыкания был соответственно больше номинального тока предохранителя или тока отключения автомата

$$I_k \geq I_{н. п.},$$

$$I_k \geq I_{от. а.}$$

С другой стороны, в интересах безопасности необходимо, чтобы при номинальных токах I_n , протекающих в нулевом проводе, напряжения прикосновения не превышали 65 В.

Для удовлетворения этого условия сопротивление нулевого провода нужно определять по формуле

$$r_0 \leq \frac{65}{I_n K_{пр}} \Omega, \quad (14)$$

где I_n — номинальный ток предохранителя или автомата; r_0 — сопротивление нулевого провода для данного сечения и протяженности; $K_{пр}$ — коэффициент прикосновения.

Определив сопротивление нулевого провода r_0 и зная длину его для данной установки, легко найти необходимое сечение, удовлетворяющее требованиям безопасности:

$$S_0 = \rho \frac{l}{r_0} \text{ мм}^2,$$

где ρ — удельное сопротивление металла; l — длина провода в м; S_0 — сечение в мм^2 .

Зная для данного зануленного объекта номинальный ток его предохранителя или автомата и сечение нулевого и рабочего проводов, легко определить время отключения данного объекта при пробое изоляции и переходе напряжения на корпус объекта в зависимости от получаемых при этом соотношений токов I_k и I_n .

Таким образом устройство зануления не встречает затруднений, неизбежных при устройстве в подобных условиях защитного заземления.

Однако зануление как средство защиты не обеспечивает в полной мере безопасности электроустановок. В момент короткого замыкания в нулевом проводе создается большое падение напряжения, равное $I_k \cdot r_0$, которое будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет отключение короткого замыкания вследствие сгорания предохранителя или отключения автомата. В этот период времени не только дефектный, но и все зануленные приемники тока, т. е. присоединенные к нулевому проводу, окажутся под более или менее опасным напряжением.

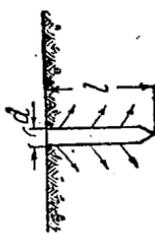
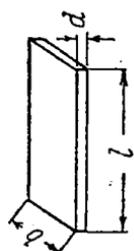
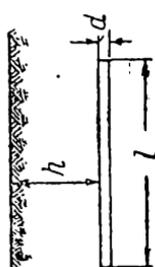
Далее, если в установках с занулением одновременно будет устроено непосредственное заземление, то при повреждении изоляции заземленного объекта через защитное заземление и заземление нулевой точки R_0 пройдет ток короткого замыкания. В силу этого нулевая точка и нулевой провод со всеми присоединенными к нему объектами окажутся под опасным напряжением.

В случае обрыва нулевого провода зануленные объекты окажутся под большим или меньшим напряжением в зависимости от распределения нагрузки — от нуля до полного фазового напряжения. Это может продолжаться до тех пор, пока не будет замечен и устранен обрыв провода.

При случайном соприкосновении нулевого провода с рабочим вследствие обрыва или каких-либо других причин все зануленные объекты до момента сгорания соответствующих предохранителей окажутся под полным фазовым напряжением.

В интересах безопасности необходимо заземлять нулевой провод не только непосредственно у трансформатора, но и в конечном пункте сети, а также в местах разветвления; для неразветвленных линий рекомендуется нулевой провод заземлять через каждый километр.

Формулы для расчета сопротивления заземлителей

Схема	Род заземления	Величина сопротивления	Примечание
	Вертикально нагруженная труба	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	При условии, что d по сравнению с l невелико
	Полоса	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{b}$	При условии d малого сравнительно с b , b малого сравнительно с l
	Проволока, заложённая недалеко от поверхности земли	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{d} \left(1 + \frac{\ln \frac{2h}{d}}{\ln \frac{2l}{d}} \right)$	При условии d малого сравнительно с h , h малого сравнительно с l

При отсутствии заземления нулевого провода (или при заземлении его через пробивной предохранитель, т. е. если бы в нормальных условиях он был изолирован от земли) в случае замыкания на землю одного из проводов напряжение нулевого провода возросло бы до величины фазового напряжения. При этом корпуса всех зануленных объектов, даже при исправной изоляции, окажутся под фазовым напряжением по отношению к земле, что создаст опасность поражения током.

Сопротивление заземления нулевой точки R_0 должно удовлетворять указанным выше требованиям получения безопасного потенциала на рабочем заземлении.

Для уменьшения напряжения, возникающего в нулевом проводе при однофазном коротком замыкании, а следовательно, и для уменьшения напряжения прикосновения зануленных объектов этот провод заземляют не только в начале, но и в конце линии.

При равенстве сопротивлений обоих заземлений напряжение в нулевом проводе уменьшается вдвое, достигая в середине провода нулевого значения.

6. ЗАЕМЛИТЕЛИ И ИХ РАСЧЕТ

Под заземлителем понимают непосредственно соприкасающийся с землей металлический проводник, предназначенный для создания контакта с почвой.

Наиболее целесообразными являются трубчатые заземлители, полосовые и пластинчатые. Сопротивление заземлителя растеканию тока зависит не только от формы и размеров его, но в значительной мере и от сопротивления почвы, в которой он находится, а также от глубины заложения.

Для определения сопротивления заземлителей пользуются специальными расчетными формулами (табл. 8, стр. 45), при этом необ-

Таблица 9

Почва	Удельное сопротивление ρ , $\Omega/\text{см}$	
	При влажности 10 ÷ 20% к весу грунта	Пределы колебаний величин ρ
Песок	7	$(4 \div 7)10^4$
Супесок	3	$(1,5 \div 4)10^4$
Суглинок	1	$(0,4 \div 1,5)10^4$
Глина	0,4	$(0,08 \div 0,7)10^4$
Чернозем	2,0	$(0,096 \div 5,3)10^4$

ходимо знать удельное сопротивление почвы ρ .

Под удельным сопротивлением почвы подразумевается электрическое сопротивление в Ω , измеренное между двумя гранями 1 см² почвы. Если определить ρ опытным путем невозможно, приходится пользоваться данными, имеющимися в литературе (табл. 9).

В течение года сопротивление почвы изменяется в довольно широких пределах в зависимости от метеорологических условий, влияющих на влажность, температуру ее и т. д.; наличие солей значительно

увеличивает проводимость почвы. Часто для увеличения проводимости производят искусственную обработку почвы.

Сопrotивление заземлителей также изменяется в зависимости от указанных условий. Наименьшим оно будет в дождливое время года, когда почва содержит наибольшее количество влаги.

Многочисленные исследования ВЭИ показывают, что зимой сопротивление трубчатых и полосовых заземлителей увеличивается по сравнению с самым дождливым временем года (табл. 10).

Таблица 10

Заземлитель	Северная часть СССР	Средняя часть СССР	Южная часть СССР
Трубчатые длиной 2—3 м, верхний конец трубы на глубине 0,8 м от поверхности земли	в 2,3 раза	в 1,6 раза	в 1,5 раза
Полосовые на глубине 0,3 м	в 21 раз	в 5,5 раза	—
Полосовые на глубине 0,4 м	в 16 раз	в 4,5 раза	в 2,5 раза
Полосовые на глубине 0,8 м	в 7 раз	в 4,0 раза	—

Из таблицы следует, что сопротивление полосовых заземлителей, уложенных на меньшей глубине, подвержено большим колебаниям с изменением состояния почвы. Этот момент практически чрезвычайно важен, и его необходимо учитывать при устройстве защитного заземления.

Для трубчатых заземлителей обычно используют газовые трубы диаметром 25—50 мм (1—2") и длиной 2—3 м.

Полосовые заземлители рекомендуется изготовлять из полосового железа сечением не менее 50 мм² при толщине 4 мм.

Пластины для заземлителей — медные или железные — берутся толщиной не менее 3 мм при площади с одной стороны не менее 0,5 м².

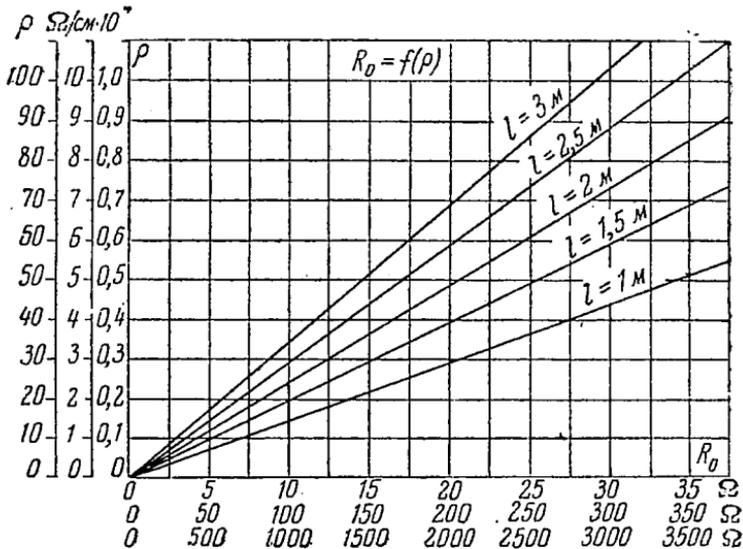
Увеличивать размеры заземлителей сверх указанных пределов нецелесообразно, так как при этом сопротивление их уменьшается незначительно.

Ориентировочные величины сопротивления заземлителей в Ω приведены в табл. 11.

Таблица 11

Род почвы	Труба длиной 3 м, диаметром 25—50 мм	Пластина площадью 1 м ² (с одной стороны)	Лента на глубине 0,5 м длиной		
			25 м	50 м	100 м
Глинистая средней влажности . .	30	25	8	5	3
Влажный песок	150	125	40	25	15
Сухой песок	300	250	80	50	30

Весьма ценны графики ВЭИ (фиг. 14 и 15), которые дают возможность непосредственно получить сопротивление растеканию трубчатых заземлителей для различных почвенных условий.



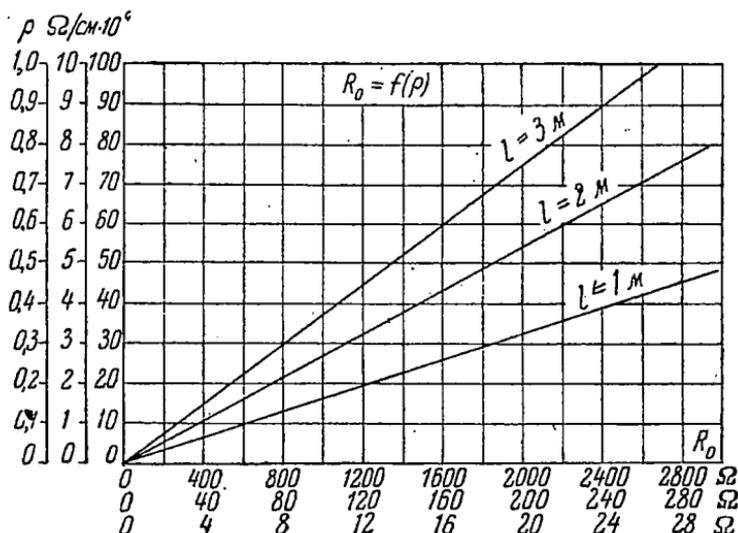
Фиг. 14. Сопротивление растеканию трубчатого заземлителя R_0 при различной длине его l и диаметре $d=5$ см в функции от удельного сопротивления грунта ρ (верхний конец трубы у поверхности земли).

Определив необходимую величину сопротивления защитного заземления R_3 и величину сопротивления электрода (трубчатого или другого типа) $R_{эл}$, находят число заземлителей n , удовлетворяющее требованиям расчета, а именно:

$$n = \frac{R_{эл}}{\eta R_3}, \quad (15)$$

где η — коэффициент экранирования, учитывающий взаимное влияние электродов на величину результирующего сопротивления заземления.

Значения этих коэффициентов можно взять по табл. 12 и 13, составленным по работам ВЭИ.



Фиг. 15. Сопротивление растеканию трубчатого заземлителя при различной длине его l и диаметре $d = 5$ см в функции от удельного сопротивления грунта ρ (верхний конец трубы на глубине 1 м от поверхности земли).

При помощи данных этих таблиц легко определить значение $n\eta$ или η . Это позволит уже совершенно обоснованно взять необходимое количество трубчатых заземлителей в зависимости от местных условий. Кроме того, необходимо учесть влияние времени года.

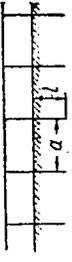
7. ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАЗЕМЛЕНИЙ И ЗАНУЛЕНИЙ

Всякий объект, подлежащий заземлению, должен быть включен параллельно на общие полосы магистрали заземления, которые должны быть присоединены к заземлителям, заземлители в свою очередь также объединяются токопроводящей полосой в общую систему. Для большей надежности заземляющей системы связь общих полос заземления с заземлителями должна быть осуществлена при помощи нескольких соединений.

Должно быть также предусмотрено устройство специальных штепсельных розеток, обеспечивающих защитное заземление или зануление переносных электроприборов при включении в сеть (фиг. 16).

Конструкция штепсельного соединения должна исключать возможность включения заземляющего штифта в гнездо, предназначенное для включения рабочего штифта. В противном случае при ошибочном включении кожух переносного электрического прибора окажется под фазовым напряжением, что может вызвать смертельное поражение работающего.

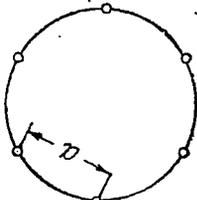
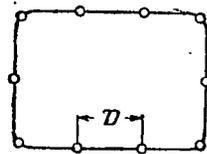
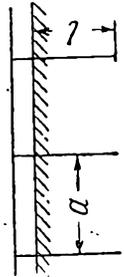
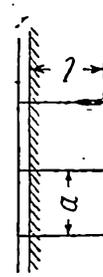
Таблица 1
 Коэффициенты использования трубчатых заземлителей, размещенных в ряд, без учета влияния полюсы связи

Расположение заземлительного устройства в земле		$\frac{a}{l}$	n	$\eta = \frac{R_{эл}}{nR_3}$	$n\eta$	$\frac{a}{l}$	n	$\eta = \frac{R_{эл}}{nR_3}$	$n\eta$	$\frac{a}{l}$	n	$\eta = \frac{R_{эл}}{nR_3}$	$n\eta$
План	Разрез												
		1	2	0,84—0,87	1,69—1,75	3	10	0,79—0,83	7,9—8,3				
		2	2	0,90—0,92	1,81—1,85	1	15	0,51—0,56	7,7—8,5				
		3	2	0,93—0,95	1,86—1,89	2	15	0,66—0,73	10,0—11,0				
		1	3	0,76—0,80	2,3—2,4	3	15	0,76—0,8	11,5—12,1				
		2	3	0,85—0,88	2,55—2,65	1	20	0,47—0,50	9,5—10,5				
		3	3	0,90—0,92	2,70—2,75	2	20	0,65—0,70	12,9—14,0				
		1	5	0,67—0,72	2,35—3,59	3	20	0,74—0,79	14,8—15,8				
		2	5	0,79—0,83	3,95—4,15	1	50	0,38—0,43	19,0—21,5				
		3	5	0,85—0,88	4,25—4,42	2	50	0,56—0,63	28,0—31,5				
		1	10	0,56—0,62	5,6—6,2	3	50	0,68—0,74	34,0—37,0				
		2	10	0,72—0,77	7,2—7,7								

$R_{эл}$ — сопротивление растеканию одного трубчатого заземлителя при отсутствии экранирования другими электродами;
 R_3 — сопротивление растеканию ряда трубчатых заземлителей с учетом взаимного экранирования;
 a — расстояние между трубами;
 l — длина трубы;
 n — число труб;
 d — диаметр трубы;
 $\eta = \frac{R_{эл}}{nR_3}$;

коэффициенты η даны для $\frac{l}{d} = 20 \div 68$.

Таблица 13
 Коэффициенты использования трубчатых заземлителей, размещенных по контуру, без учета влияния полосы связи

Расположение заземлительного устройства в земле		$\frac{a}{l}$	n	$\eta = \frac{R_{эл}}{n \cdot R_s}$	$n\eta$	$\frac{a}{l}$	n	$\eta = \frac{R_{эл}}{n \cdot R_s}$	$n\eta$
План		1	3	0,73—0,77	2,2—2,31	1,0	60	0,36—0,42	21,6—25,2
		1,5	3	0,77—0,79	2,31—2,37	1,5	60	0,45—0,51	27,0—30,5
Разрез		2,0	3	0,81—0,84	2,43—2,52	2,0	60	0,52—0,58	31,2—34,8
		3,0	3	0,86—0,89	2,58—2,67	3,0	60	0,62—0,67	37,2—40,2
		1,0	4	0,66—0,72	2,66—2,87	1,0	100	0,33—0,39	33—39
		1,5	4	0,71—0,75	2,84—3,00	1,5	100	0,42—0,48	42—48
		2,0	4	0,76—0,80	3,04—3,20	2,0	100	0,49—0,55	49—55
		3,0	4	0,84—0,86	3,36—3,44	3,0	100	0,59—0,65	59—65
		1,0	6	0,58—0,65	3,5—3,90	1,0	140	0,32—0,37	44,8—51,8
		1,5	6	0,64—0,70	3,84—4,20	1,5	140	0,41—0,46	57,4—64,4
		2,0	6	0,71—0,75	4,26—4,50	2,0	140	0,47—0,53	65,8—74,2
		3,0	6	0,78—0,82	4,68—4,72	3,0	140	0,57—0,63	79,8—88,2
		1,0	10	0,52—0,58	5,2—5,8	1,0	200	0,30—0,35	60—70
		1,5	10	0,59—0,65	5,9—6,5	1,5	200	0,39—0,44	78—88
		2,0	10	0,66—0,71	6,6—7,1	2,0	200	0,45—0,52	90—104
		3,0	10	0,74—0,78	7,4—7,8	3,0	200	0,55—0,62	110—124
		1,0	20	0,44—0,50	8,8—10	1,0	260	0,29—0,34	75,4—88,4
		1,5	20	0,53—0,59	10,6—11,8	1,5	260	0,36—0,43	95—111,8
		2,0	20	0,61—0,66	12,2—13,2	2,0	260	0,44—0,50	114,4—130
		3,0	20	0,68—0,73	13,6—14,6	3,0	260	0,54—0,61	140,4—158,6
		1,0	40	0,38—0,44	15,2—17,6	1,0	300	0,28—0,33	84—99
		1,5	40	0,48—0,56	19,2—21,6	1,5	300	0,37—0,42	111—126
		2,0	40	0,55—0,61	22,0—24,4	2,0	300	0,43—0,49	129—147
		3,0	40	0,64—0,69	25,6—27,6	3,0	300	0,53—0,60	159—180

$R_{эл}$ — сопротивление растеканию одного трубчатого заземлителя при отсутствии экранирования другими электродами;
 R_s — сопротивление растеканию системы трубчатых заземлителей с учетом взаимного экранирования;
 a — расстояние между трубами;
 l — длина труб;
 n — число труб;
 d — диаметр трубы;
 $R_{эл} = \frac{R_{эл}}{nR_s}$; коэффициенты η даны для $\frac{l}{d} = 20 \div 68$.

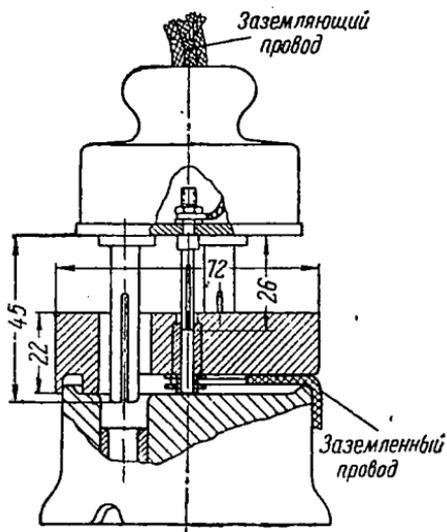
При устройстве зануления каждый зануленный объект независимо от того, является ли он приемником однофазного или трехфазного тока, должен быть занулен при помощи отдельного зануляющего провода.

Если зануляющий провод будет соединен непосредственно с рабочим нулевым проводом приемника, то в случае обрыва этого провода кожух прибора окажется под фазовым напряжением установки.

Для уменьшения экранирования расстояние между трубами должно быть не менее 2,5—3 м и между лентами—не менее 1,5 м.

Глубина заложения заземлителей зависит от их типа. Для трубчатого заземлителя она составляет около 3 м, причем верхний конец трубы находится на глубине от 0,3 до 0,8 м. Ленточные заземлители закладываются на глубину 0,3—0,9 м.

Обычно для заземления применяют железо. При этом сечения нужно брать соответственно величине и длительности тока короткого замыкания, который может возникнуть в установке и пройти через данную заземляющую или зануляющую систему. Наименьшее сечение круглого железа для присоединения объектов к магистрали заземления составляет не менее 10 мм^2



Фиг. 16. Схема штепсельного соединения.

и полосового—не менее 25 мм^2 при толщине полосы не менее 2 мм.

Для магистрали заземления применяют полосовое железо сечением не менее 50 мм^2 . Для заземляющего провода, проложенного в земле, сечение железа должно быть не менее 50 мм^2 при толщине полосы не менее 4 мм.

При устройстве зануления можно применять также медь. Наименьшие сечения для меди устанавливаются: для прокладки над землей без защитного покрытия 4 мм^2 и под землей 25 мм^2 . Если заземляющий или зануляющий провод находится в общей оболочке с рабочими проводами, сечение его должно быть не менее 1 мм^2 .

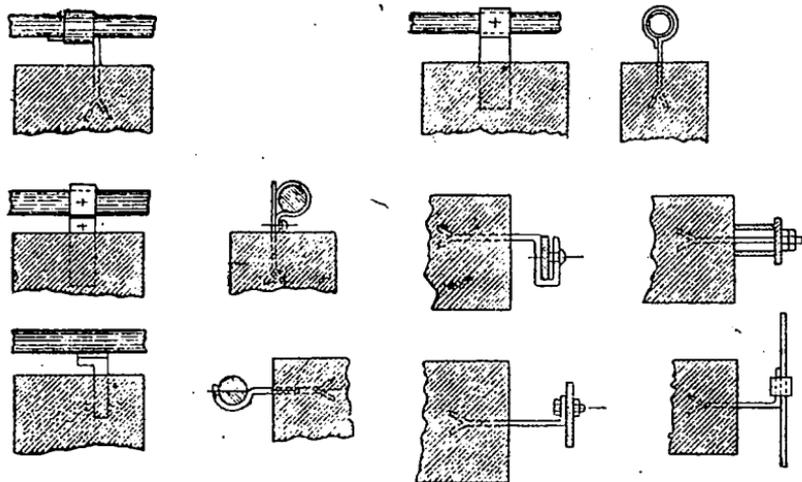
Для обеспечения хорошего контакта все соединения заземляющих или зануляющих проводов должны быть выполнены вполне надежно сваркой или свинчиванием, под землей допускается соединение только сваркой. Места соединения должны быть доступны для осмотра и проверки.

Во избежание коррозии под влиянием влаги, едких паров и т. п. все железные части заземляющих или зануляющих устройств, находящихся как над землей, так и внутри помещения, должны быть оцинкованы, освинцованы или покрыты асфальтовым лаком.

Все железные части заземляющего или зануляющего устройства, прокладываемые в земле, должны быть оцинкованы или освинцованы.

В производственных помещениях, кроме взрывоопасных, для удешевления защитного заземления в качестве звена заземляющего устройства могут быть использованы металлические части здания.

При этом напряжение прикосновения к таким металлическим частям при однофазном замыкании в установках с заземленным нулем и двухфазном замыкании в установках с изолированным нулем не должно превышать 65 В. Использование для защитного заземления арматуры железобетонных зданий не рекомендуется.



Фиг. 17. Крепление заземления.

В качестве заземляющих или зануляющих соединений могут быть использованы металлические трубы электропроводки, но только в том случае, если винтовые соединения будут надежными. Использование металлических оболочек кабеля для этих же целей не допускается ввиду трудности обеспечения постоянного надежного контакта между заземляющим проводом и оболочкой кабеля.

Все заземляющие и зануляющие провода должны быть защищены от механических и химических повреждений. Они должны быть положены на специальных скобах на некотором расстоянии от стен (фиг. 17).

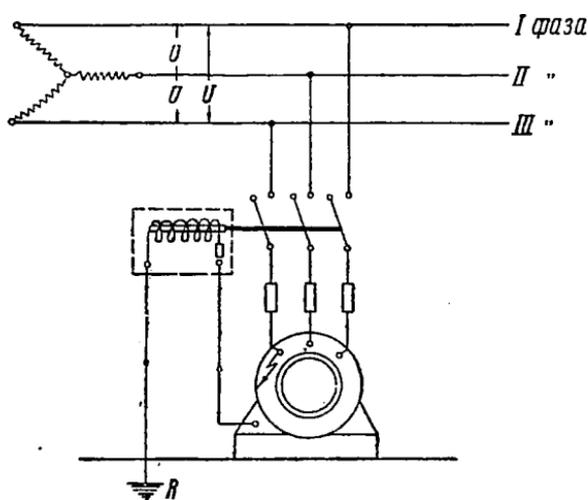
Для удешевления устройства защитного заземления в качестве заземлителей рекомендуется использовать металлическую оболочку кабеля. При этом должны быть учтены все условия отключения кабелей, могущие увеличить сопротивление защитного заземления в целом.

В качестве заземлителей целесообразно использовать водопроводы, причем должна быть исключена возможность разрыва цепи заземления при ремонте водопровода. Для этой цели должны быть устроены обходные токопроводящие соединения всех водомеров, фланцевых соединений и т. п.

В этом случае заранее нужно определить величину сопротивления растеканию водопровода. Контакты в местах присоединения к водопроводу заземляющих проводов нужно выполнять особенно тщательно, обеспечивая достаточную плотность и поверхность соединения.

8. ЗАЩИТНОЕ ВЫКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее совершенным способом, предотвращающим появление опасного напряжения на объектах, является защитное выключение. Для этой цели служат специальные защитные выключатели (фиг. 18), которые автоматически мгновенно отключают поврежденный объект,



Фиг. 18. Защитное выключение.

как только напряжение на корпусе его достигнет предельной опасной величины. Защитные выключатели состоят из электромагнитной катушки, сердечник которой связан с приводом рубильника или автоматического выключателя. Катушка включается на корпус защищаемого объекта (в данном случае корпус мотора) и землю. Электромагнит отрегулирован так, что при появлении на защищаемом объекте напряжения порядка 65 В через обмотку катушки проходит ток, при котором происходит втягивание сердечника электромагнита и в связи с этим отключение рубильника. Таким образом обеспечивается быстрое отключение дефектного участка.

Устройство заземления R выключателя не встречает никаких затруднений, так как оно может быть выполнено с большим сопротивлением порядка сотен ом.

Защитный выключатель может быть выполнен в соединении с обыкновенным рубильником, с максимальным или нулевым автоматом и, наконец, независимо от них.

По сравнению с защитным заземлением и занулением защитное выключение имеет следующие существенные преимущества:

1. Напряжение прикосновения на защищаемом объекте, если правильно установлен выключатель, ни при каких условиях не превышает 65 В. Оно может быть даже меньше (12—24 В) в зависимости от конструкции выключателя.

2. На выключение требуется значительно меньше времени (0,02—0,04 сек.), чем для сгорания предохранителя.

3. Сопротивление заземления выключателя может быть весьма высоким, что позволяет легко осуществить заземление.

4. Защитные выключатели можно применять в установках и с заземленным и с изолированным нулем.

Несомненные преимущества защитного выключения дают основание полагать, что оно найдет широкое применение в качестве основной меры защиты в электроустановках.

Примеры расчета заземлений

Пример 1. Рассчитать защитное заземление в установке с изолированной нейтралью напряжением 380/220 В, состоящей из 200 электродвигателей средней мощностью 10 кВт. Сеть имеет 500 участков с общей протяженностью воздушных линий 10 км и кабельных 30 км. Почва — глинистая.

Ток утечки через несовершенную изоляцию электродвигателей определяем по формуле (2):

$$I_{y. м} = \frac{(P + 1000) n}{\sqrt{3} \cdot 0,2 \cdot 10^6} = \frac{(10 + 1000) 200}{\sqrt{3} \cdot 0,2 \cdot 10^6} = 0,58 \text{ А.}$$

Ток утечки через несовершенную изоляцию сети определяем по формуле (3):

$$I_{y. с} = \frac{\sqrt{3} n_c}{0,2 \cdot 10^3} = \frac{\sqrt{3} \cdot 500}{0,2 \cdot 10^3} = 4,3 \text{ А.}$$

Ток утечки через емкость сети определяем по формуле (4):

$$I_{y. ем} = \frac{\sqrt{3} U_{\phi} (I_B + 25 I_K)}{350 \cdot 10^3} = \frac{\sqrt{3} \cdot 220 (10 + 25 \cdot 30)}{350 \cdot 10^3} = 0,82 \text{ А.}$$

Ток замыкания на землю по формуле (5):

$$I_{зам} = \sqrt{(I_{y. м} + I_{y. с})^2 + I_{y. ем}^2} = \sqrt{4,88^2 + 0,82^2} \approx 5 \text{ А.}$$

Защитное сопротивление определяем по формуле (1), полагая $K = 0,75$ для заземлений, не образующих замкнутый контур:

$$R_3 \leq \frac{65}{I_{зам} K_{пр}} \leq \frac{65}{5 \cdot 0,75} = 17,3 \text{ }\Omega.$$

Сопротивление растеканию трубы длиной 3 м и диаметром 50 мм находим по формуле табл. 8 при глинистой почве:

$$R_{тр} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} = \frac{0,1 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 300} \ln \frac{4 \cdot 300}{5} \approx 30 \text{ }\Omega.$$

Задаемся отношением расстояния между электродами к их длине $\frac{a}{l} = 1$ и определяем из формулы (15)

$$n\eta = \frac{R_{тр}}{R_3} = \frac{30}{17,3} = 1,73 \text{ }\Omega.$$

По табл. 12 находим, что ближайшей величине $n\eta = 1,69-1,75$ соответствует число труб $n = 2$. Итак, параллельно соединенными достаточно иметь две трубы.

Пример 2. Рассчитать рабочее и защитное заземление мотора 10 kW, присоединенного к установке с заземленным нулем напряжением 380/220 V. Рабочий ток мотора при $\cos \varphi = 0,76$ и к. п. д., равном 0,85, равен

$$I_M = \frac{10 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,76 \cdot 0,85} = 23,5 \text{ A.}$$

При защите мотора инертными предохранителями, выдерживающими пусковой ток мотора, выбираем предохранители номинального тока 25 A.

Сопrotивление рабочего заземления из условия осуществления плавнения предохранителя при коротком замыкании

$$R_0 \leq \frac{65}{2,5 \cdot 25} = 1,03 \Omega \approx 1 \Omega.$$

Сопrotивление рабочего заземления определяем из условия перехода высокого напряжения в сеть низкого напряжения. Принимаем напряжение кабельной сети 6,3 kV, а ее протяжение 20 км.

Емкостный ток сети высокого напряжения

$$I_{em} = \frac{UI}{10} = \frac{6,3 \cdot 20}{10} = 12,6 \text{ A.}$$

$$R_0 = \frac{65}{12,6} = 5,15 \Omega.$$

Следовательно, величину сопротивления рабочего заземления нужно взять по расчету сети низкого напряжения.

Замкнутое сопротивление выбираем из условия получения тока хорошего замыкания, достаточного для плавнения предохранителя:

$$R_3 + R_0 \leq \frac{U_\Phi}{I_{max}} = \frac{220}{2,5 \cdot 25} = 3,5 \Omega;$$

откуда

$$R_3 = 3,5 - R_0 = 3,5 - 1,0 = 2,5 \Omega.$$

Сопrotивление трубы определяем, как в примере 1:

$$R_{тр} = 30 \Omega.$$

По формуле (15) находим для рабочего заземления:

$$n\eta = \frac{R_{тр}}{R_0} = \frac{30}{1} = 30.$$

Задаваясь $\frac{a}{l} = 1,5$, по табл. 13 находим, что величине $n\eta = 27-30,6$ соответствует 60 труб.

Для защитного сопротивления находим

$$n\eta = \frac{R_{тр}}{R_3} = \frac{30}{2,5} = 12.$$

По табл. 13 величине $n\eta = 10,6-11,8$ соответствует 20 труб.

Из этого примера следует, что уже для небольших мощностей заземления получаются громоздкими и дорогими. При больших мощностях устройство заземлений может оказаться практически невыполнимым, и тогда надо переходить к устройству занулений.

Пример 3. Рассчитать устройство зануления установки 380/220 В для мотора 80 кВт, работающего с полной нагрузкой при $\cos \varphi = 0,76$.

Рабочий ток мотора при к. п. д. 0,87 равен

$$I_p = \frac{80 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,76 \cdot 0,87} = 185 \text{ А.}$$

Принимая во внимание, что пуск мотора производится с реостатом, выбираем предохранитель с плавкой вставкой $I_{н. п} = 200 \text{ А}$.

Длина линий к мотору 100 м. Сечение фазового провода $s = 70 \text{ мм}^2$, а нулевого $s_0 = 10 \text{ мм}^2$. Определяем рабочее сопротивление по формуле (11), полагая сопротивление в месте замыкания на землю $R_3 = 5 \text{ }\Omega$:

$$R_0 = 5 \frac{65}{220 - 65} = 2,1 \text{ }\Omega.$$

Предполагая выполнить это заземление при помощи труб, которые, как и в предыдущих примерах, имеют сопротивление $R_{тр} = 30 \text{ }\Omega$, определяем по формуле (15):

$$n\eta = \frac{R_{тр}}{R_0} = \frac{30}{2,1} = 14,3.$$

Задаваясь $\frac{a}{b} = 3$, по табл. 13 находим число труб $n = 20$.

Проверяем условия сгорания предохранителя.

Активное сопротивление фазового провода

$$r = \frac{\rho l}{s} = \frac{0,0175 \cdot 100}{70} = 0,025 \text{ }\Omega$$

и нулевого

$$r_0 = \frac{0,0175 \cdot 100}{10} = 0,175 \text{ }\Omega.$$

Индуктивное сопротивление петли, образованной из фазового и нулевого проводов, можно учесть для воздушных линий низкого напряжения по среднему значению

$$x' = 0,3 \text{ }\Omega/\text{км},$$

что составит

$$x = 0,3 \cdot 0,1 = 0,03 \text{ }\Omega.$$

Ток короткого замыкания по формуле (13)

$$I_k = \frac{220}{\sqrt{(0,025 + 0,175)^2 + 0,03^2}} = 610 \text{ А.}$$

Отношение I_k к номинальному току предохранителя составит

$$\frac{I_k}{I_{н. п}} = \frac{610}{200} \approx 3,$$

что обеспечивает сгорание предохранителя.

III. ЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА

При работах в электроустановках для защиты людей от поражения током, ожогов, механических и прочих повреждений применяют специальные защитные средства.

В зависимости от назначения различают следующие защитные средства: эксплуатационный инструмент, изолирующие защитные средства, указатели или индикаторы напряжения, специальные приспособления для заземления и закорачивания токоведущих частей установки, защитные средства для глаз, приспособления для работы на высоте.

В зависимости от степени надежности защитные средства разделяются на основные и дополнительные.

I. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ

К эксплуатационному инструменту относят штанги, клещи и инструмент для ремонта и монтажа. При надлежащем изготовлении указанный инструмент позволяет безопасно выполнять необходимые операции и работы под напряжением.

Штанги являются основным средством защиты в установках высокого напряжения и служат для включения и выключения разъединителей, а также для наложения заземления на токоведущие части. Кроме того, применяют специальные штанги для испытания высоковольтных установок, для работ под напряжением по очистке установки от пыли, гололеда и т. д.

Штанги применяют для всех высоких напряжений. Предел напряжения, при котором допускается применение штанг, не устанавливается.

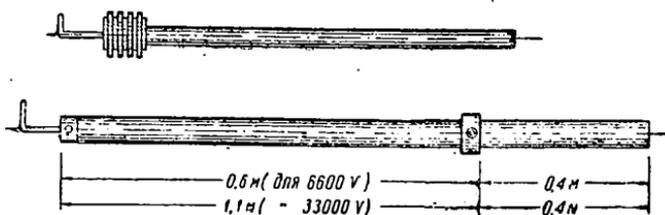
Штанги должны быть изготовлены только из изолирующего материала (дерево или обработанная специальным образом бумага—бакелит).

Для обеспечения стойкости против сырости дерево нужно хорошо проварить под вакуумом в соответствующем изолирующем составе (масло, парафин) и хорошо обработать по поверхности.

Поверхность бакелитовых штанг полируют и покрывают изолирующим бакелитовым лаком.

Металлические части допускаются только для соединения изолирующих частей и крючков штанг.

Для ограничения длины захвата рукой устраивается специальный упор или шайба. Ограничение длины захвата только путем нанесения пограничной черты не допускается.



Фиг. 19. Штанги для отключения.

Штанга должна быть достаточно легкой и удобной для пользования. Размер ее выбирают соответственно величине рабочего напряжения, при котором штанга будет применяться (фиг. 19 и табл. 14).

Таблица 14

Минимальные размеры отключающих штанг

Номинальное напряжение электрических устройств, кV. В системе с заземленной нулевой точкой—фазовое, с незаземленной нулевой точкой—междуфазовое	Длина рабочей части м	Длина захвата м	Полная длина м
	Для внутренних устройств		
До 10	0,6	0,4	1,0
» 35	1,1	0,4	1,5
	Для наружных устройств		
До 10	1,1	0,4	1,5
» 35	1,5	1,0	2,5

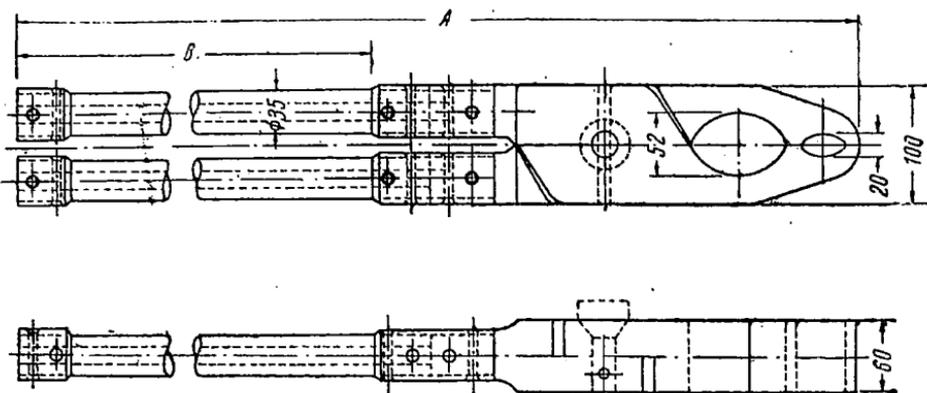
Практиковавшееся ранее заземление штанг не допускается (кроме специально заземляющих), так как заземляющий провод может коснуться токоведущих частей и послужить причиной поражения током и аварий.

Штанги нужно хранить в сухом месте, располагая их в вертикальном положении на специальных приспособлениях, не допускающих непосредственного соприкосновения со стеной.

Клещи являются основным средством защиты в установках высокого напряжения и служат для постановки и снятия под напряжением трубчатых предохранителей, а также используются при измерении тока (специальные клещи Дитце).¹

Клещи применяются для напряжения не свыше 35 000 V.

В качестве материала для клещей используется дерево, хорошо обработанное для придания необходимой стойкости против сырости. Металлические части допускаются только для соединения.



Фиг. 20. Клещи для трубчатых предохранителей до 35 кV.

Напряжение кV	Размеры, мм	
	A	B
10	615	215
25	1050	650

Конструкция клещей должна обеспечивать удобство и безопасность работы; размеры их устанавливаются соответственно напряжению, для которого они предназначены (фиг. 20—22 и табл. 15).

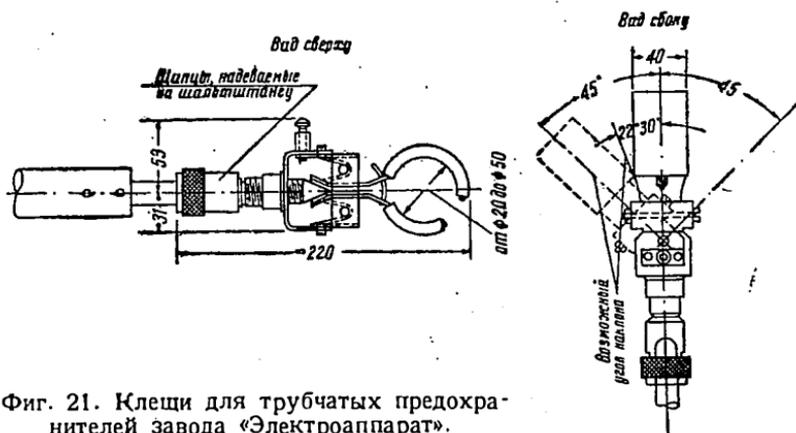
Таблица 15

Минимальные размеры клещей

Номинальное напряжение электрических устройств, кV. В системе с заземленным нулем—фазовое, при незаземленном нуле—междуфазовое	Длина рабочей части м	Длина захвата м	Полная длина м
До 3 » 10 » 35	Для внутренних устройств		
	0,30	0,10	0,4
	0,45	0,15	0,6
	0,75	0,15	0,9
До 10 » 35	Для наружных устройств		
	0,75	0,15	0,9
	1,3	0,2	1,5

Рабочая часть клещей отделена от части, захватываемой рукой, упором.

Заземление клещей по причинам, указанным выше, не допускается



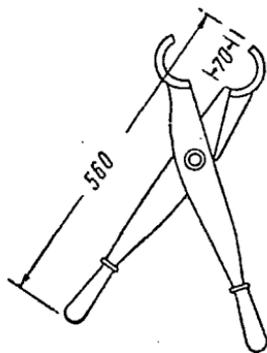
Фиг. 21. Клещи для трубчатых предохранителей завода «Электроаппарат».

Клещи хранятся в сухом месте на специальном приспособлении исключающем возможность соприкосновения со стеной.

К монтажному инструменту относятся клещи, торцовые ключи, отвертки, напильники и т. п. Этот инструмент должен иметь изолированные ручки, позволяющие при соблюдении известной предосторожности выполнять работу под напряжением.

Указанный инструмент можно применять только в установках низкого напряжения. Изоляция его должна быть достаточно механически прочной и электрически надежной, чтобы возможность поражения от пробоя, перекрытия или механического повреждения изоляции была исключена.

Инструмент нужно хранить в специальном рабочем ящике с гнездами.



Фиг. 22. Деревянные клещи для фарфоровых предохранительных вставок (для напряжения не выше 500 V).

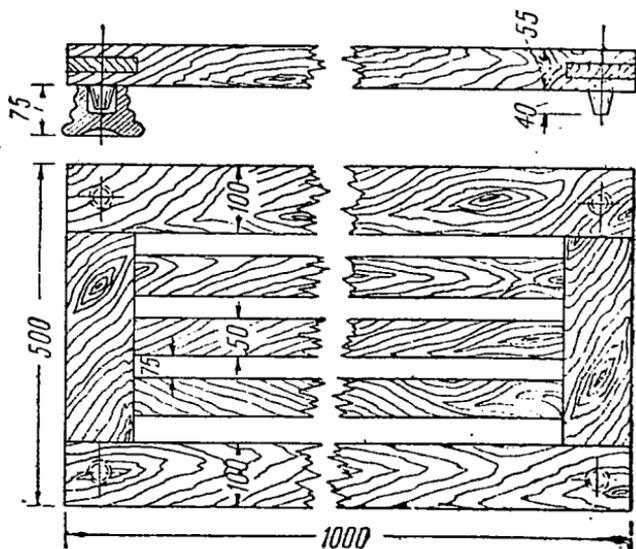
2. ИЗОЛИРУЮЩИЕ ЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА

Изолирующие подставки, являющиеся основным средством защиты в установках с напряжением до 500 V, служат для изоляции человека от земли при работах под напряжением.

Изолирующие подставки нужно применять при всех операциях включения разъединителей, масляных выключателей и постановки предохранителей в установках высокого напряжения, а также при выполнении монтажных работ в установках низкого напряжения.

Изолирующие подставки представляют собой деревянный настил, покоящийся на четырех изолирующих ножках (фиг. 23).

Материалом для настила служит дерево без сучков, хорошо высушенное, окрашенное масляной краской или изолирующим лаком. Настил делается из планок, которые располагаются одна от другой на расстоянии не более 2,5 см, или сплошным. В качестве ножек используются специальные изоляторы высотой 5 см при низких напряжениях и 8 см — при высоких. Металл для соединений не допускается. В виде исключения разрешается крепление изоляторов к настилу металлическими болтами.



Фиг. 23. Деревянная решетка на фарфоровых изоляторах.

Для большой устойчивости подставки края настила не должны выступать за пределы ножек. Подставки должны обладать достаточной механической прочностью, допускающей нагрузку 750 кг/м^2 .

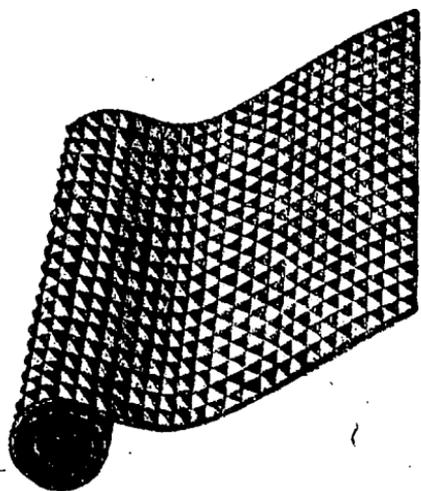
Наименьшие размеры подставок для установок с напряжением 1000 В $0,75 \times 0,4 \text{ м}$ и выше 1000 В $0,75 \times 0,75 \text{ м}$.

В открытых установках подставку нужно устанавливать на твердое основание (бетон, дерево), не допускающее погружения изоляторов в грунт.

Резиновые коврики (маты) (фиг. 24) являются основным средством защиты только в установках низкого напряжения и дополнительным в установках высокого (до 6000 В). Так же как и подставки, они предназначены для изоляции человека от земли. Резиновые коврики изготавливаются толщиной 3—5 мм из специальной резины, с прослойками из бумажной ткани для увеличения прочности.

Для установок высокого напряжения толщина коврика должна быть не менее 7—8 мм. Во избежание скольжения поверхность ковриков делается шероховатой различных рисунков (рифленая, решетчатая и др.). Обычно коврики выпускаются в виде дорожек размером 1 × 10 м.

По изоляционным и механическим свойствам коврики далеко



Фиг. 24. Изолирующий коврик.



Фиг. 25. Резиновые калоши.

уступают подставкам. Они легче подвергаются механическим повреждениям (проколам, порезам) и в сырых и грязных помещениях быстрее теряют изоляционные качества.

Резиновые калоши (фиг. 25) являются основным средством защиты в установках низкого напряжения и дополнительным в установках высокого (до 6000 V).

Они более надежно изолируют от земли, чем коврики, так как, сойдя с коврика, человек подвергается опасности поражения. Однако калоши быстрее изнашиваются и легко повреждаются.

Резиновые калоши изготавливаются двух сортов: для работ под напряжением не выше 750 и до 6000 V. Материалом для калош служит специальная резина. По форме и внешнему виду эти калоши отличаются от обычных. Дождевые калоши в качестве защитных при обслуживании электроустановок не допускаются.

Резиновые перчатки (фиг. 26) являются основным средством защиты в установках низкого напряжения и дополнительным в установках высокого. Они служат для изоляции человека при соприкосновении



Фиг. 26. Резиновые перчатки.

с. токоведущими частями, находящимися или могущими оказаться под напряжением.

Перчатки нужно применять при всех операциях, выполняемых под напряжением, например испытательные, измерительные и другие работы, а также электромонтажные работы в установках низкого напряжения; в последнем случае перчатки заменяют изоляцию рукояток электромонтажного инструмента.

Перчатки изготавливаются из специальной резины соответствующего качества, толщиной не менее 1,3 мм. По виду они отличаются от других типов резиновых перчаток.

Применение для защиты от тока перчаток, изготовляемых для других целей (химические, медицинские), не допускается. Резиновые перчатки нужно брать такого размера, чтобы их можно было надевать на бумажные или шерстяные перчатки для предохранения рук от холода.

Электротехнические калоши и перчатки должны удовлетворять специальным требованиям в отношении электрической и механической прочности. Они должны храниться в сухом месте на специальных полках; складывать перчатки одна на другую нельзя.

Все защитные изолирующие средства из резины нужно хранить в темном, не слишком сыром помещении (при температуре $5 \div 20^\circ$ и влажности 50—60%).

В качестве примера укажем несчастные случаи, происшедшие при работе без резиновых перчаток. 1) При ремонте воздушной телефонной сети оборвавшийся провод упал на провода осветительной сети 220 В. Монтер, работавший без резиновых перчаток, коснулся провода и упал, получив ожог лица и рук. Помощник механика, спасавший монтера, был убит электрическим током, так как не имел резиновых перчаток и стоял на сырой земле. 2) При работе на неотключенной воздушной линии, находящейся под напряжением 220 В, электромонтер, работавший без резиновых перчаток и изолированного инструмента, во время обрезки концов проводов замкнул через себя две фазы линии и получил смертельное поражение.

Переносные ограждения. К изолирующим средствам следует отнести также переносные временные ограждения, применяемые для защиты от случайного прикосновения к частям установок, находящимся под напряжением и расположенным вблизи отключенного от напряжения участка работ. Ограждения изготовляются в виде переносных щитов или ширм из сухого дерева без металлических креплений.

Конструкция их должна быть достаточно устойчивой, удобной и безопасной в работе. При пользовании ограждениями нужно каждый раз предварительно проверять их состояние.

3. УКАЗАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

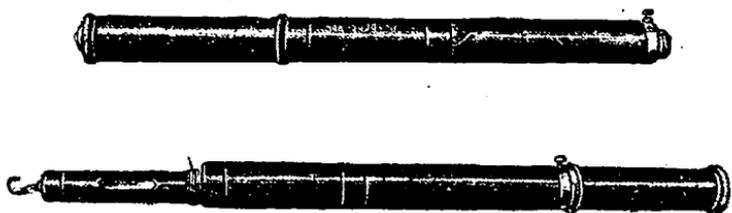
Существенным средством, обеспечивающим безопасность работ, производимых на отключенных участках установки (со снятым напряжением), являются указатели или индикаторы напряжения, слу-

жащие для обнаружения наличия или отсутствия напряжения. В зависимости от величины рабочего напряжения установки применяют различные типы указателей. По конструкции и изолирующим свойствам они должны соответствовать величине рабочего напряжения.

В установках с напряжением до 500 В допускается непосредственное прикосновение контактных наконечников указателя напряжения к частям установки, находящейся под напряжением.

Простейшим типом указателя для установок низкого напряжения являются вольтметр и контрольные электрические лампочки, снабженные электрической сеткой.

Провода указателей должны иметь повышенную изоляцию (типа «магнето») и специальные наконечники, укрепленные на изолирующих рукоятках, общей длиной не менее 500 мм с длиной захвата 100 мм, обеспечивающих безопасное пользование указателями.



Фиг. 27. Трубка Циппа.

При пользовании контрольной лампой для напряжения выше 220 В во многих случаях применяют так называемые батарейки, представляющие несколько ламп, смонтированных на общем основании.

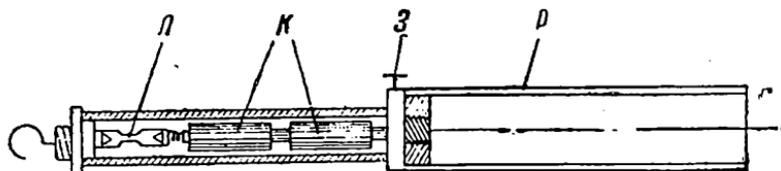
Обычно такие батарейки громоздки, выполняются кустарно и не обеспечивают удобства и безопасности, а поэтому не должны применяться.

В установках выше 500 В для обнаружения наличия напряжения применяют указатели, работающие от емкостного тока. Поэтому они могут соприкасаться только с одной фазой и даже действовать на некотором расстоянии от токоведущих частей.

К таким приборам относятся широко распространенная трубка Циппа (фиг. 27) и трубка ВЭО (фиг. 28), отличающиеся только материалом и размерами. В корпусе, сделанном в виде трубки из изоляционного материала (эбонита, бакелита), помещается стеклянная трубочка с впаянными электродами, наполненная неоном. Один из электродов соединяется с металлическим крючком, укрепленным на изоляционном основании корпуса, а другой электрод — с двумя последовательно соединенными конденсаторами в виде лейденских банок, расположенных внутри корпуса. Наружная обкладка послед-

него конденсатора соединяется с заземляющим зажимом, выведенным на поверхность трубки прибора.

Если приблизить прибор на несколько сантиметров к частям, находящимся под напряжением, неоновая лампочка начинает светиться вследствие прохождения емкостного тока. Свечение лампочки наблюдают через вырез в трубке.



Фиг. 28. Трубка ВЗО: Л—лампа; К—конденсатор; З—зажим] для заземления; Р—рукоятка.

При пользовании к рабочей части трубки привинчивают рукоятку; после употребления рукоятку навинчивают на часть трубки, содержащую лампочку, для предохранения ее от повреждения.

Размеры трубок должны соответствовать напряжению (табл. 16):

Таблица 16

Минимальные размеры указателей напряжения

Рабочее напряжение указателя, кV	Расстояние от конца, прикладываемого к токоведущим частям, до места захвата мм		Длина захвата мм	Общая длина мм	
	для закрытых установок	для открытых установок		для закрытых установок	для открытых установок
10	350	350	150	500	700
35	750	1000	150	900	1150

Непосредственного прикосновения прибора к токоведущим частям не требуется; оно допускается на самое короткое время во избежание повреждения трубки. Заземление трубки необходимо только при пользовании ею на большой высоте (при работе на мачтах и т. п.), когда вследствие небольшой емкости трубка не может светиться. В обычных условиях трубки не заземляют по тем же причинам, что штанги и клещи.

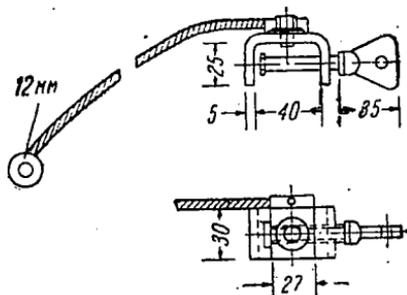
Попытки пользоваться вместо индикатора напряжения лампой накаливания с последовательно включенным карборундовым сопротивлением для напряжений 3000 V и выше должны быть прекращены, потому что такие приборы представляют большую опасность.

4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАКОРАЧИВАНИЯ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ

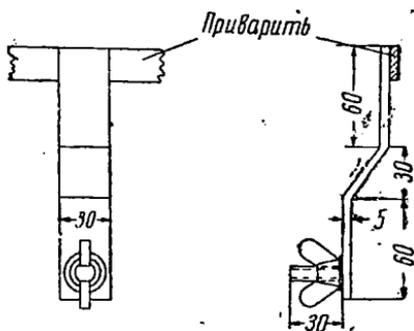
Переносные временные защитные заземления являются основным средством защиты при возможном появлении напряжения вследствие ошибочных включений отключенных участков установки, где производится работа.

Эти заземления состоят из гибких медных проводов, снабженных специальными зажимами для присоединения к токоведущим частям (фиг. 29 и 30).

Конец провода, предназначенного для заземления, снабжается кабельным наконечником для возможности и удобства присоединения к зажимам заземляющего устройства установки.



Фиг. 29. «Закоротки» для временного заземления токоведущих частей.



Фиг. 30. Клемма для заземления типа Мосэнерго.

По условиям механической прочности сечение провода должно быть не менее 25 мм^2 . Болты зажимов должны иметь диаметр не менее 10 мм . Кроме того, сечение заземляющего провода должно допускать нагрев провода до 600° при прохождении через него тока двухфазного короткого замыкания. При этом за ток двухфазного короткого замыкания нужно принимать ток, который может возникнуть в защищаемой установке при одновременном замыкании на землю двух фаз.

Время прохождения тока двухфазного короткого замыкания будет определяться временем, необходимым для отключения соответствующего масляного выключателя либо автомата, или временем, необходимым для сгорания соответствующего предохранителя. В соответствии с этим сечение проводов для временных заземлений и закорачивания выбирается для каждой электроустановки в зависимости от ее технических параметров и меняется с изменением их. Для проверки сечения заземляющих проводов на нагрев можно пользоваться формулой Биндера-Кизера:

$$s = \sqrt{\frac{I^2 t}{K \theta}},$$

где s — сечение провода в мм^2 ;

I — ток, протекающий через провод, в А;

t — длительность тока в сек.;

ϑ — допускаемое повышение температуры в градусах Цельсия;

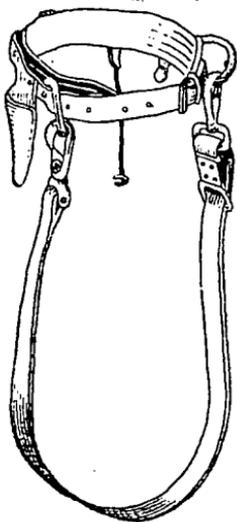
K — постоянная; для медных проводов $K=172$, для алюминиевых $K=74$ и для железных $K=21$.

Заземляющие приспособления нужно осматривать не реже одного раза в 3 месяца, обращая внимание на целостность проводов и надежность контактов клемм.

5. СРЕДСТВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ГЛАЗ

Защитные очки являются основным средством защиты глаз от ожогов вольтовой дугой, расплавленным металлом, кислотой, а также и от засорения глаз при операциях с разъединителями и предохранителями, при работах, связанных с резкой кабеля и вскрытием кабельных муфт, при работах, связанных с пайкой и заливкой кабельной мастикой, при заливке аккумуляторов, при шлифовании контактных колец и т. д.

Защитные очки изготавливаются специальной конструкции с боковыми или другими чешуйчатыми обоями, обеспечивающими вентиляцию. Очки должны давать поле зрения не менее 1,5 м. Стекла должны быть достаточно прозрачными, золотисто-желтого или желто-зеленого цвета и обладать устойчивостью против механических воздействий (типа триплекс).



Фиг. 31. Предохранительный пояс треста «Техника безопасности».

6. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ РАБОТ НА ВЫСОТЕ

Предохранительные пояса служат для защиты от падения при работах на высоте. Пояс состоит из кушака, стропы и замка. Кушак изготавливается из прочного материала, шириной не менее 100 мм. Крепительная стропа представляет собой ремень, канат или цепь достаточной длины. Крепление стропы к поясу и сама стропа должны иметь тройной запас прочности, т. е. выдерживать нагрузку $3 \cdot 80 = 240$ кг. Конструкция замка должна быть вполне надежной и не допускать самопроизвольного открывания. Вся конструкция пояса в целом должна обеспечивать безопасность работы.

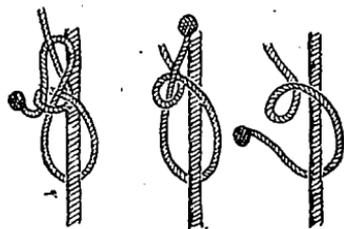
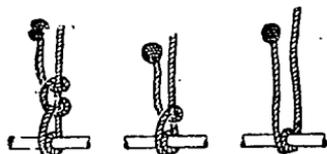
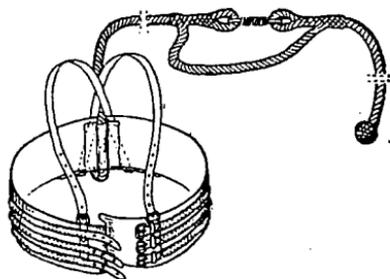
Однако следует отметить, что применяемые до сего времени предохранительные пояса треста «Техника безопасности» (фиг. 31) предназначены для строительных работ в условиях спокойной статической нагрузки.

При электромонтажных работах, где возможна значительная динамическая нагрузка (например, рывок при работе на высоте вслед

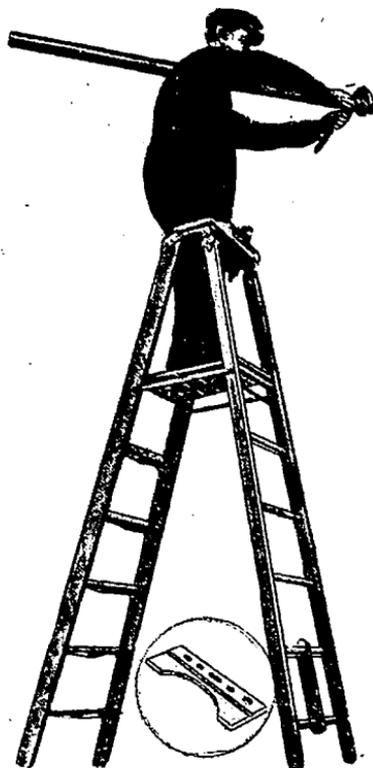
ствии случайного попадания под ток или по другим причинам), эти пояса не обеспечивают необходимой безопасности.

Таким образом динамическое испытание совершенно необходимо для проверки надежности и безопасности применяемых поясов.

Институтом охраны труда (старший научный сотрудник В. П. Полянин) рекомендуется пояс, показанный на фиг. 32.



Фиг. 32. Рекомендуемый предохранительный пояс.



Фиг. 33. Лестница.

Пояс должен быть замкнутым, шириной 200 мм с тремя круговыми тренчиками шириной по 40 мм из двух слоев свиной сыромятной кожи с двумя такими же ляжками. Веревка должна быть диаметром 13—15 мм из пеньки первого сорта по ОСТ длиной 5 м с шаровым узлом-амортизатором. Крепление веревки указано на фиг. 32. Качество всех частей пояса должно быть стандартизовано.

Кроме того, все предохранительные пояса необходимо испытывать динамически путем пятикратного сбрасывания груза в 100 кг, подвешенного к поясу, с высоты 2 м при длине веревки в 5 м, причем 1 м используется для свободного конца. Статическое испытание, как не гарантирующее надежности поясов, не обязательно.

Однако пояс удобен не для всех работ на высоте.

Л е с т н и ц ы. При обслуживании распределительных пунктов, расположенных на высоте, необходимо пользоваться портативными легкими переносными лестницами типа стремянок (фиг. 33), обеспечивающими устойчивое положение работающего.



Фиг. 34. Автоматический подъемник для ремонта сети.

Специальные приспособления. Для работы на высоте или при обслуживании светильников наружного освещения, например, при смене электроламп, чистке осветительной арматуры,

целесообразно применять специальные площадки, перемещаемые на небольшой автомашине и поднимаемые на нужную высоту (фиг. 34).

7. ПЛАКАТЫ

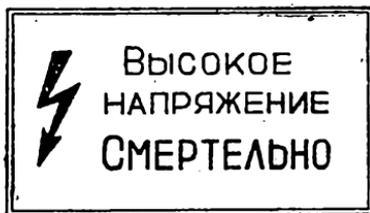
К защитным средствам могут быть отнесены также специальные плакаты, предупреждающие об опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановки, а также об опасности, возникающей при включении под напряжение части установки, где производятся работы. Плакаты оформляются соответственно назначению.

На фиг. 35 и 36 изображены плакаты, обычно вывешиваемые в установках высокого напряжения.

На фиг. 37 и 38 изображены плакаты, обычно применяемые при

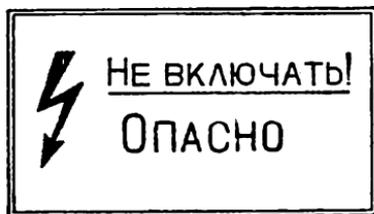


Фиг. 35. Плакат, вывешиваемый снаружи помещения.

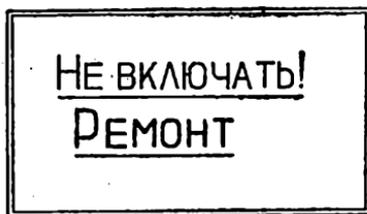


Фиг. 36. Плакат, вывешиваемый внутри помещения.

работах в электроустановках, когда ошибочное включение под напряжение участка работ связано с опасностью поражения людей.



Фиг. 37. Плакат.



Фиг. 38. Плакат.

Плакаты, применяемые в установках низкого напряжения, содержат только предупреждающие надписи без знака молнии, который ставится на плакатах для установок высокого напряжения.

Плакаты должны иметь достаточные размеры (не менее 20 × 10 см), так как в противном случае они могут остаться незамеченными.

Нормы, способы и сроки испы

Наименование защитных средств	Осмотр и его сроки	Испытательные напряжения кV	Продолжительность нахождения под полным напряжением мин.
1. Электронструмент Отключающие штанги, клещи и трубки: а) бакелитовые, б) с фарфоровым изолятором	Осмотр для установления механической прочности, отсутствия трещин, изломов, поврежденный на поверхности и лакового покрытия—раз в 3 месяца. При осмотре производится протирка	3 U_n , но не ниже 40 кV и повышается не более 1 кV/сек.	Бакелитовые—5, фарфоровые—2
2. Изолирующие средства Изолирующие подставки: а) высокого напряжения, б) низкого напряжения	Тщательный осмотр для выявления повреждений настила и изоляторов раз в 3 месяца с одновременной очисткой и протиркой их	40 10	2 2
Резиновые коврики, дорожки и прокладки	Тщательный осмотр для выявления проколов, трещин, а также состояния поверхности раз в 3 месяца. При обнаружении сырости или грязи коврики должны быть тщательно очищены и высушены	15	Не менее 5 (см. последнюю графу)
Резиновые калоши: а) в установках с напряжением до 6000 V, б) в установках до 1000 V	Тщательный осмотр перед каждым употреблением. Очистка от загрязнения всякий раз после пользования в открытых установках и раз в 3 месяца в закрытых	15 35	15 15

тания защитных средств

Таблица 17

Максимальный допустимый ток утечки mA	Сроки и периодичность испытания	Способы испытаний и пояснения
15	Бакелитовые раз в 6 месяцев, фарфоровые раз в 1 год	Электроды присоединяются к наконечнику штанги или клещей и к ограничивающему упору, отделяющему рабочую часть от рукоятки, т. е. от места захвата
15	1 раз в 2 года	Испытанию подвергаются изоляторы, служащие ножками для подставок. Решетка испытывается на механическую прочность распределенной нагрузкой 750 кг/м ² . При испытании на механическую прочность настил подставки не должен прогибаться и давать деформации.
15	1 раз в 6 месяцев	Испытуемые коврики, дорожки, прокладки пропускаются между двумя вращающимися электродами. Скорость движения не свыше 0,5 м/мин. Коврики, дорожки, прокладки не бракуются, если количество пробоев не превышает одного на 1 м
0,5 mA 1000 V	1 раз в 6 месяцев	Обувь, наполненная водой, или с металлической прокладкой внутри погружается в воду так, чтобы вода не доходила до края бот 6—7 см, а до края калош 2—3 см. Вода снаружи является одним электродом, другим электродом будет вода или металлическая колодка внутри обуви. Напряжение к электродам подводится от трансформатора. Одновременно измеряется утечка тока в mA

См. продолжение

Наименование защитных средств	Осмотр и его сроки	Испытательные напряжения кV	Продолжительность нахождения под полным напряжением мин.
Резиновые перчатки	Тщательный осмотр перед каждым употреблением. Очистка от загрязнения раз в 3 месяца	15	2
3. Указатели напряжения	Проверка перед каждым употреблением в установках, находящихся под напряжением	$2,5 U_n$	5
4. Приспособления для работы на высоте			
Предохранительные пояса	Осмотр для установления прочности замка и стропы и крепления ее перед каждым употреблением	—	—

Максимальный допустимый ток утечки mA	Сроки и периодичность испытания	Способы испытаний и пояснения
10	1 раз в 6 месяцев	Перчатки погружают в ванну с водой (недистиллированной) так, чтобы уровень воды не доходил на 5 см до края перчаток, внутрь перчаток также наливается вода до этой же высоты. Напряжение подводится от трансформатора к электроду, опущенному в воду, находящуюся внутри перчатки. Ванна с водой соединяется с землей. Подъем напряжения производится со скоростью 1000 В/сек. Определение напряжения производится по вольтметру. Ток утечки регистрируется миллиамперметром
$2,5 U_n$, но не более 10 mA	1 раз в 6 месяцев	Электроды присоединяются к наконечнику собранного указателя и к ограничивающему упору. Для указателей, имеющих отдельные провода, провода и приборы испытываются предварительно отдельно таким же напряжением; провода испытываются так же, как резиновые перчатки, но при напряжении $2,5 U_n$. Суммарный максимальный ток утечки для указателей, применяемых в распределительных устройствах без заземления ограждающего упора, не должен превышать 15 mA, для указателей, применяемых на линии при обязательном заземлении ограничивающего кольца, ток утечки определяется $\frac{2,5 U_n}{2}$
—	1 раз в 6 месяцев	Производится испытание на механическую прочность усилием в 240 кг (см. стр. 69).

Плакаты лучше всего изготавливать из жести, покрытой белым лаком. Для закрытых помещений допускаются плакаты из прочного картона.

Надписи на плакатах должны быть четкими, доступными для прочтения на расстоянии, для чего их лучше всего выполнять белой или красной краской на черном фоне.

Для установок высокого напряжения плакаты должны вполне соответствовать установленным стандартам.

Размещать постоянные и временные плакаты нужно так, чтобы они привлекали внимание и предупреждали возможность необдуманных действий как в отношении прикосновения к токоведущим частям установок, так и в отношении ошибочных включений под напряжение.

8. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЗАЩИТНЫМ СРЕДСТВАМ, И НОРМЫ ИСПЫТАНИЙ

Все защитные средства, применяемые в электростанциях, должны полностью удовлетворять предъявляемым к ним требованиям и подвергаться периодическим осмотрам и испытаниям согласно табл. 17. Если организовать испытания непосредственно на месте невозможно, защитные средства нужно передавать в соответствующие испытательные лаборатории.

Для систематического и планового контроля доброкачественности защитных средств результаты осмотров и испытаний заносят в специальный журнал, в котором указываются дата и фамилия лица, производившего испытание.

Защитные средства, оказавшиеся при испытании удовлетворительными, отмечают клеймом «годен к употреблению» с указанием даты и места испытания; не выдержавшие — отмечают клеймом «брак».

Все защитные средства, не выдержавшие испытаний, а также средства с дефектами, обнаруженными при осмотре, подлежат немедленному изъятию из употребления.

Обезопасить персонал, обслуживающий электроустановки под напряжением, можно в известной мере только при систематических осмотрах и испытаниях защитных средств в указанные сроки согласно установленным правилам. Это, обеспечит с одной стороны, надлежащее состояние защитных средств, а с другой—изъятие из обращения дефектных.

IV. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМ

1. ВНУТРЕННЯЯ ПРОВОДКА

Для проводки внутри производственных помещений допускается только изолированный провод или кабель. Голые провода допускаются лишь как исключение в тех случаях, когда применение изолированного провода или кабеля практически невозможно, например, в качестве контактных проводов электрокранов, в некоторых химических производствах, где нельзя защитить резиновую изоляцию от быстрого разрушения, и в аккумуляторных помещениях. Голую проводку нужно либо располагать на недоступной высоте, либо ограждать для предупреждения случайного прикосновения.

Конструкции проводов и способ прокладки должны удовлетворять требованиям электрической и механической прочности.

Выбор проводки соответственно производственным условиям является весьма важным и ответственным моментом. Правильно выбрать проводку можно только при учете всех особенностей и влияний данного производственного помещения.

Провода могут быть проложены на роликах, изоляторах и в металлических трубах. Наиболее безопасным и совершенным типом проводки является кабельная, выполненная бронированным или оцинкованным кабелем.

Подводку тока к распределительным пунктам и щиткам нужно выполнять оцинкованным бронированным и оцинкованным кабелем или проводами с резиновой изоляцией в металлических трубах, подводку на производственных машинах к пусковой аппаратуре — проводами в металлических трубах.

Долговечность электропроводки в металлических трубах обеспечивается герметическим соединением труб между собой, с электроаппаратурой, электромашинами и т. д. Это достигается применением соединительных муфт, фланцевых соединений и специальных зажимов. Во избежание попадания пыли, грязи, проникания влаги открытые концы труб должны быть снабжены втулками и залиты кабельной массой или чатертоном.

При прокладке кабеля непосредственно в полу производственного помещения должны быть сделаны специальные каналы, закрываемые сверху съемными железными или бетонными плитами, сделанными

заподлицо с полом и плотно закрывающими каналы. При этом радиус закругления должен быть не менее 10 диаметров для кабеля с напряжением до 1000 V и не менее 15 диаметров для кабеля выше 1000 V.

Глубина каналов должна быть не меньше 30—50 см. Ширину канала принимают, учитывая число кабелей, при допустимом расстоянии между ними в 60 мм. Минимальная ширина канала должна быть не менее 150 мм.

Бронированные кабели напряжением до 1000 V можно прокладывать непосредственно на внутренней и наружной стороне здания.

Джутовую обмотку кабелей, прокладываемых в производственных помещениях открыто или в каналах, нужно снимать.

Прокладка кабелей в общих тоннелях с газопроводами и водопроводом не должна допускаться.

Все металлические части проводки должны быть надежно заземлены или занулены.

Вся электропроводка должна быть защищена от химических и механических повреждений. В установках с напряжением до 1000 V кабели и провода в металлических трубах защищены от механических повреждений. Они могут нуждаться в дополнительной защите в виде специальных ограждений только в местах, особенно опасных в этом отношении, например, в проездах, проходах и т. п., где возможны перемещения громоздких предметов и тяжестей и в связи с этим повреждения.

При напряжении свыше 1000 V бронированные и небронированные кабели должны иметь защитное покрытие из материала, противостоящего действию вольтовых дуг.

Все открыто проложенные провода (на изоляторах или роликах), находящиеся на высоте до 2,5 м, должны быть защищены от механических повреждений специальным ограждением (из огнестойкого материала).

В зависимости от характера помещений открыто проложенные изолированные провода нужно размещать на достаточном расстоянии от стен, потолка, защитных покрытий:

в сухих помещениях	не менее 1 см
в сырых »	» » 2 »
в особенно сырых »	» » 3 »

Прокладывать провода в полу необходимо в сплошных трубопроводах достаточной толщины.

В основном схема и способ электропроводки должны обеспечивать наибольшую надежность и бесперебойность в снабжении электроэнергией цехов предприятия и возможность быстро заменить кабель или провод при необходимости.

Неисправное состояние изоляции внутренней проводки приводит к несчастным случаям. Например, при очистке котельных люков слесарь случайно коснулся неисправного осветительного провода, находившегося под напряжением 220 V, и, получив удар током,

упал вниз с высоты 11 м. В результате — тяжелые повреждения со смертельным исходом.

Во время разговора по телефону дежурный насосной станции коснулся босой ногой голой обмотки электрической печи, включенной в сеть напряжением 380/220 V, и получил смертельное поражение током.

Несчастный случай произошел из-за неудовлетворительного устройства электропечи с открытой токоведущей частью, совершенно недопустимого в подобных условиях.

2. ВОЗДУШНЫЕ ПРОВОДА И НАРУЖНЫЕ УСТРОЙСТВА

Для предотвращения возможности поражения током при применении голых воздушных проводов необходимо, чтобы провода были недоступными для прикосновения как с земли, так и с крыш, балконов и других мест; одновременно должна быть исключена возможность механического обрыва проводов. Согласно электротехническим правилам и нормам высота подвеса провода при наибольшем провисании в установках с напряжением до 1000 V должна быть не менее 5 м, а свыше 1000 V — не менее 6 м.

На территории промышленных предприятий и населенных пунктов высота подвеса провода увеличивается до 6 м для установок с напряжением до 1000 V и до 7 м для напряжения выше 1000 V.

Провода, как правило, должны быть многопроволочными, однако для линий с напряжением не свыше 1000 V допускается применение однопроволочных железных и стальных проводов сечением не выше 28,3 мм², а из иных металлов — сечением не более 16 мм².

Алюминиевые провода должны быть всегда многопроволочными. Минимальные сечения проводов указаны в табл. 18.

Воздушная проводка напряжением свыше 1000 V на территории предприятий должна быть выполнена многопроволочными прово-

дами и обладать трехкратным запасом механической прочности. Изоляция воздушной линии должна быть также усиленной (при штыревых изоляторах путем применения изоляторов следующего высшего напряжения, при подвесных — путем увеличения числа изоляторов в гирлянде).

Таблица 18

Минимальное сечение проводов (в мм²)

Провода	Напряжение	
	высокое	низкое
Медные и бронзовые, однопроволочные и многопроволочные	10	6
Стальные и железные многопроволочные	10	6
Стальные и железные однопроволочные	10	10
Алюминиевые многопроволочные	25	16

Весьма важное значение имеет способ подвески провода. При применении штыревых изоляторов провода должны быть закреплены способом двойного крепления. При подвесных изоляторах гирлянды должны иметь на обоих концах защитные кольца или рога и обладать четырехкратным запасом прочности.

Проводки воздушных проводов над зданиями общего назначения следует избегать. Над складами или цехами огнеопасных и взрывчатых веществ или над зданиями, в которых выделяются газы, разрушительно действующие на материал проводки, прокладка категорически воспрещается.

По существующим правилам применение оттяжек для поддержания и усиления конструкции опор не разрешается.

В случаях особой необходимости допускается подвешивание под проводом высокого напряжения не свыше 10 000 V на одних опорах проводов низкого напряжения (не свыше 500 V). При этом необходимо соблюдать следующие условия:

- 1) расстояние между проводами высокого и низкого напряжений должно быть не менее 1,3 м;
- 2) нулевые провода и провода наружного освещения должны быть верхними в группе проводов низшего напряжения;
- 3) трансформаторы установки должны иметь необходимую защиту от перехода высокого напряжения на низкое.

Линии более высокого напряжения в местах пересечения воздушных линий нужно, как правило, располагать выше линий более низкого напряжения.

Опоры пролетов следует применять анкерные, за исключением случаев, когда напряжение обеих линий не выше 1000 V.

Расстояние между пересекающимися проводами нужно брать не менее указанных ниже значений:

Номинальное напряжение верхней линии, кV.	до 0,5	0,5	2—10	20—35
Наименьшее расстояние по вертикали, м	1,2	1,5	2,0	3,0

Совместная подвеска проводов сильного тока и проводов связи на одних и тех же опорах не допускается. При пересечениях наименьшее расстояние между проводами сильного тока и проводами связи не должно быть меньше 2 м. При пересечении линии сильного тока низкого напряжения с линией связи расстояние между проводами можно уменьшить до 1 м. Угол пересечения проводов сильного тока с проводами связи должен быть не менее 45°.

Пересечение проводов связи проводами сильного тока высокого напряжения допускается только в пролете. При этом механическая прочность пролета обеспечивается трехкратным запасом прочности проводов. Пересечение линии связи проводами низкого напряжения может быть осуществлено непосредственно на одной опоре. При пересечениях провода связи должны быть подвешены ниже проводов сильного тока.

Подземные кабели сильного тока и кабели связи должны отстоять друг от друга не менее чем на 50 см. При неизбежных пересечениях

или сближении на расстояние меньше 50 см один из кабелей нужно уложить в железные трубы или бетонные каналы. Эти предохранительные устройства укладывают на расстоянии не менее 1 м в каждую сторону от места пересечения и на всем протяжении, если расстояние между кабелями меньше 50 см.

При устройстве установки связи в помещении электроустановок сильного тока необходимо, чтобы все части этой установки, включая и земляной провод, отстояли от проводов сильного тока низкого напряжения не менее чем на 0,5 м.

Наружные провода, укрепляемые обычно на наружных стенах здания, представляют такую же опасность в отношении возможности поражения током, как и воздушные. Поэтому к наружным проводам и устройствам предъявляют ряд обязательных требований, согласно которым незащищенные провода низкого напряжения должны быть недоступными без особых приспособлений и во всяком случае должны отстоять от земли по меньшей мере на 2,5 м. Эта высота подвеса относится также и к изолированным проводам; в случаях особой опасности ее нужно соответственно увеличивать.

Незащищенные провода высокого напряжения (нижние точки их) нужно удалять от земли по крайней мере на 6 м. Расстояние проводов от наружных стен здания при напряжении до 1000 В не должно быть менее 12 см. При напряжениях свыше 1000 В оно должно быть увеличено из расчета не менее 1 см на каждые 1000 В.

Это требование не распространяется на свинцованный кабель и провода в металлических трубах, так как в этом случае они прокладываются непосредственно по стене с необходимым ограждением.

Изолированные провода низкого напряжения прокладываются на расстоянии не менее 2 см от стен. Указанное расстояние может быть допущено только при условии, что провода имеют специальную изоляцию, противостоящую атмосферным влияниям.

Кроме приведенных требований, весьма целесообразно при переходах с воздушных линий к проводам внутри зданий или для спусков, где это необходимо, применять изолированные провода, проложенные в трубах. При этом для защиты проводов от влаги верхний конец трубы снабжается специальным вводом. При устройстве таких переходов на крышах стойки, несущие провода, должны иметь достаточную высоту для предотвращения прикосновения к голым проводам.

Провода в металлических трубах или металлических защитных оболочках можно непосредственно прокладывать по стенам зданий, частям машин и аппаратов, принимая меры для защиты их от химических и атмосферных влияний.

3. ЭЛЕМЕНТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

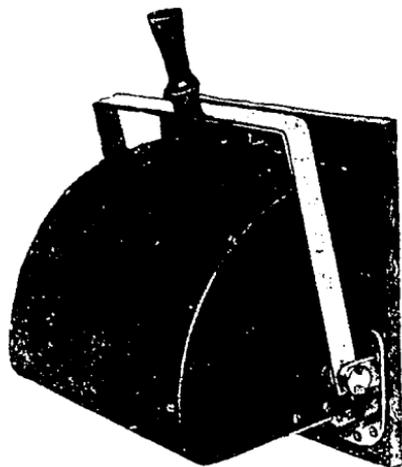
Выключатели

Неотъемлемой частью электроустановок являются выключатели, при помощи которых замыкаются и размыкаются электрические цепи.

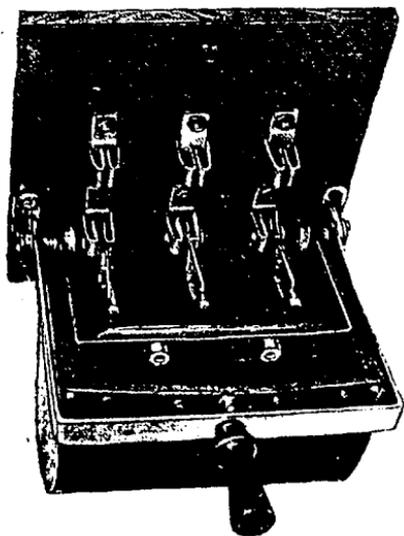
Из опыта эксплуатации электрических установок известно, что размыкание электрических цепей под током связано с неизбежным возникновением вольтовой дуги. При этом, чем больше величина прерываемого тока и чем выше напряжение установки, тем больше вольтова дуга.

В зависимости от напряжения и величины выключаемого тока выключатели изготовляются различных конструкций в виде воздушных и масляных выключателей.

Воздушные выключатели в свою очередь выполняются в виде рубильников и выключателей коробчатого типа.



Фиг. 39. Закрытый рубильник конструкции Института охраны труда.



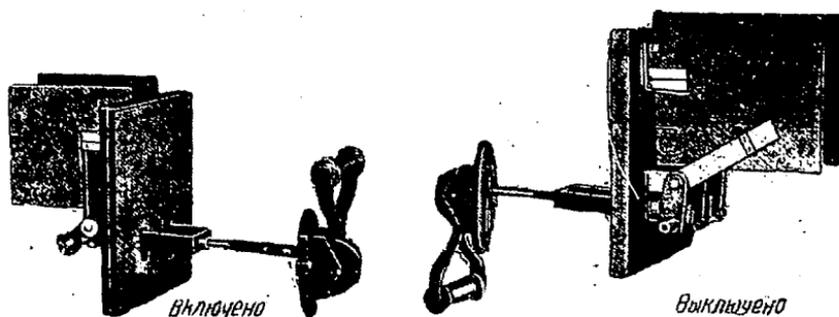
Фиг. 40. Блокированный рубильник со снятым кожухом конструкции Института охраны труда.

Рубильники применяют при напряжении не свыше 500 В, при больших напряжениях размыкание электрической цепи рубильником представляет большие трудности вследствие возникновения дуг. Рубильник нужно устанавливать на высоте, доступной для обслуживания вручную. Вследствие этого наличие открытых токоведущих частей рубильника создает опасность поражения электрическим током. Кроме того, при включении и выключении рубильника возможны электрические ожоги вследствие возникновения вольтовой дуги. Поэтому открытый рубильник совершенно непригоден для установки в производственных помещениях и на щитах распределительных устройств.

Неограждение рубильника приводит к несчастным случаям. Например, на одном заводе во время мытья окна в овощном отделении цеха питания, пол в котором был залит водой, работница случайно коснулась рукой открытого рубильника, находившегося под напряжением 220 В, и получила смертельный электрический удар.

Рубильники, устанавливаемые в производственных и других подобных помещениях, доступных для неквалифицированного персонала, нужно снабжать защитным кожухом без щелей для перемещения рукоятки, изготовленным из огнестойкого прочного материала (фиг. 39 и 40). Доступные для прикосновения металлические кожухи должны быть заземлены или занулены; при отсутствии заземления (зануления) применяют кожухи и рукоятки из изолирующего материала.

В электромашинных помещениях для установки на распределительных щитах широко применяют рубильники с задним выключением (фиг. 41), у которых токоведущие части расположены за щитом. Вследствие этого в нормальных условиях эксплуатации при управлении рубильником с лицевой стороны щита возможность ожогов и поражения током исключена.



Фиг. 41. Рубильник с задним выключением типа РП-1 на 400 А.

Кроме выключателей типа рубильников, включаемых и отключаемых вручную, в электрических установках за последние годы получили широкое распространение автоматизированные воздушные выключатели, или а в т о м а т ы. В зависимости от принципа действия различают автоматы максимального тока и минимального напряжения.

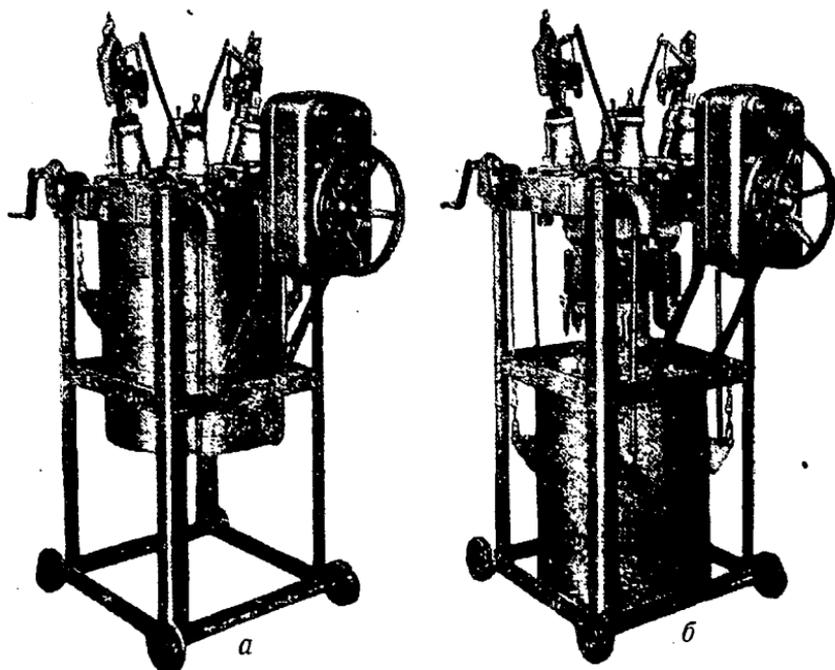
Вследствие применения электромагнитов размыкание происходит автоматически, как только величина тока или напряжения изменится по сравнению с установленной.

Автоматы включают вручную или дистанционно при помощи кнопок.

Автоматы могут представить опасность в том случае, если токоведущие части их окажутся доступными при прикосновении. Автоматы обычно устанавливают либо на распределительных пунктах подстанций с выводом управления их на лицевую сторону щита, либо в производственных помещениях в закрытых распределительных ящиках.

Выключатели комнатного типа, или так называемые коробчатые выключатели, служат для выключения небольших токов (отдельные электролампы или небольшие группы их).

Все токоведущие части выключателя закрыты коробкой или крышкой, через середину которой проходит рукоятка. Крышка и верхняя часть рукоятки — ручка — должны быть сделаны из изолирующего материала. На практике приходится часто встречать выключатели с металлической крышкой. При попадании пыли внутрь выключателя металлическая крышка и плохо изолированная металлическая ручка могут оказаться под напряжением и привести к поражению током.



Фиг. 42. Масляный выключатель на 12 000 В 200 А разрывной мощностью 200 000 кВА: а—в рабочем состоянии; б—с опущенным баком для ремонта.

Поэтому во всех помещениях промышленных предприятий необходимо применять коробчатые выключатели из огнестойких изолирующих пластмасс. Выключателей с металлическими крышками или ручками не следует применять, так как осуществить надежное заземление или зануление большого количества выключателей затруднительно.

Масляные выключатели являются самыми ответственными аппаратами в установках высокого напряжения (фиг. 42). Они предназначены для включения и отключения цепей, а также для автоматического отключения установки при возникновении коротких замыканий.

Перегорание предохранителей и выключение простого или автоматического воздушного выключателя происходят при любом значении тока и могут иметь место в момент его максимального значе-

ния, что связано с появлением более или менее мощной дуги. В масляных же выключателях вследствие конструкции их и наличия масла разрыв цепи происходит в момент прохождения тока через нулевое значение, и таким образом гашение дуги чрезвычайно облегчается.

Масляные выключатели позволяют безопасно для обслуживающего персонала и окружающего оборудования разрывать или выключать не только нормальный рабочий ток, но и ток короткого замыкания, величина которого в зависимости от мощности установки может достигать десятков тысяч ампер. Поэтому разрывная мощность масляного выключателя должна прежде всего соответствовать мощности короткого замыкания данной установки, так как в противном случае может произойти взрыв выключателя, ведущий к тяжёлым последствиям для обслуживающих лиц и самой установки.

Масляные выключатели обслуживаются вручную, автоматически с ручным включением и дистанционным выключением и полностью автоматически.

В первом случае все операции производят непосредственно от руки при помощи маховиков или рукояток, связанных со штангами выключающего механизма. Масляные выключатели с ручным обслуживанием применяют в качестве масляных рубильников.

Второй способ обслуживания не только предусматривает возможность нормальных эксплуатационных переключений, но и обеспечивает защиту установки от тока короткого замыкания. Включение производится исключительно от руки. В тех случаях, когда распределительный щит находится на сравнительно большом расстоянии от выключателя, в целях удобства применяют дистанционное выключение, которое осуществляется замыканием вспомогательной цепи тока, питающей электромагнит выключения, при помощи кнопки, смонтированной на распределительном щите.

Этот способ может найти широкое применение на подстанциях промышленных предприятий в 6 и 30 kV.

При автоматическом способе обслуживания предусматривается не только автоматическое отключение масляного выключателя при нарушении нормального режима работы установки, но и обеспечивается дистанционное включение и выключение его на расстоянии при помощи электромагнитного привода или электромотора.

Этот способ применяется в фабрично-заводских установках, требующих относительно мощных выключателей, включение которых от руки представляет значительные трудности.

Масляные выключатели могут представлять: 1) опасность взрыва и пожара, если разрывная мощность их меньше отключаемой, в случае короткого замыкания в установке или если вследствие неудовлетворительного изолирующего качества масла может произойти перекрытие между фазами в баке выключателя; 2) опасность ожога обслуживающего персонала в случае выплескивания масла при бурном выключении масляного выключателя; 3) непосредственную опасность поражения током при соприкосновении с токоведущими частями электроподводки и изоляторов выключателей.

Для предотвращения указанных опасностей прежде всего необходимо:

1) следить, чтобы разрывная мощность короткого замыкания выключателей была выше мощности короткого замыкания установки, зависящей от энергосистемы, которая питает данную установку;

2) при мощности короткого замыкания до 100 000 кВА и выше устанавливать масляные выключатели в отдельных ячейках, изолированных одна от другой и от коридора управления; ячейки могут иметь выход либо непосредственно наружу, либо в общий взрывной коридор;

3) для защиты обслуживающего персонала от ожога пламенем горящего масла в случае взрыва при коротком замыкании, а также для защиты от соприкосновения с токоведущими частями предусматривать защитную стенку, изолирующую масляный выключатель от обслуживающего персонала;

4) для предупреждения об опасности при входе в ячейку масляного выключателя устанавливать сигнальные лампы, загорающиеся только при отсутствии напряжения в ячейке;

5) двери ячейки делать огнестойкими и снабжать предупредительным плакатом «осторожно, высокое напряжение». Масляный выключатель, являясь важнейшим оперативным и защитным аппаратом, в установках высокого напряжения, несмотря на ряд усовершенствований, при известных обстоятельствах может представлять опасность в отношении взрыва и пожара.

Необходимо постоянно осуществлять самый тщательный контроль за состоянием масла. Ухудшение электрических свойств масла или замедленное расхождение контактов масляного выключателя могут быть причиной аварий и несчастных случаев. Поэтому понятно стремление сконструировать выключающий аппарат, работающий не на масле, а на каком-либо совершенно безопасном веществе.

В производственных помещениях допускается установка только неавтоматических масляных выключателей, причем необходимо соблюдать следующие требования:

1) отсутствие вблизи необученного персонала;

2) покрытие выключателя и его проводки сплошным кожухом из дугостойкого материала;

3) наличие вокруг ящика свободного прохода шириной не менее 2 м.

Разъединители

Разъединители представляют собой воздушные выключатели, предназначенные для отключения или включения тех участков электроустановки, которые находятся под напряжением, но через которые не проходит ток.

Разъединители позволяют осмотреть соответствующий участок, машину или аппарат, не выключая всей установки, причем обслуживающий персонал не подвергается опасности попадания под напряжение.

В установках высокого напряжения, где имеются две или более параллельно работающие линии или трансформаторы, последовательно с масляным выключателем обычно включают и разъединитель. При отсутствии разъединителей осмотр масляного выключателя был бы невозможен, так как втулки его всегда находились бы под напряжением.

Наиболее опасно отключение или включение разъединителя под нагрузкой, когда через него проходит рабочий ток установки. Это неизбежно связано с появлением вольтовой дуги, тем более мощной, чем выше напряжение установки и чем больше величина тока.

Для предотвращения возможности ожогов и поражения током нужно отключение производить весьма осторожно, внимательно проверяя всякий раз, выключен ли масляный выключатель.

Для включения и отключения разъединителей применяют изолированную штангу с крючком, служащим для зацепления за ушко ножа разъединителя. Одновременно при этом пользуются существующими защитными средствами.

В некоторых случаях для обслуживания разъединителей используют рычажную или цепную передачу. В этом случае привод должен быть изолирован соответствующим образом от токоведущих частей.

Наилучшим средством защиты от возможности возникновения вольтовой дуги при ошибочных переключениях разъединителя является механическая блокировка масляного выключателя и разъединителя, при которой отключение разъединителей возможно только при отключенном масляном выключателе.

При дистанционном управлении масляными выключателями и разъединителями для этой же цели должна быть предусмотрена электрическая блокировка масляного выключателя со своими разъединителями.

В качестве дополнительной меры защиты в ячейках разъединителя целесообразно устанавливать сигнальные лампы, показывающие положение включения соответствующих масляных выключателей.

Предохранители

Плавкие предохранители служат для защиты установки от возможного возникновения чрезмерных токов короткого замыкания и токов перегрузки, которые вызовут разрушение и воспламенение изоляции и оборудования, если не будут своевременно прерваны.

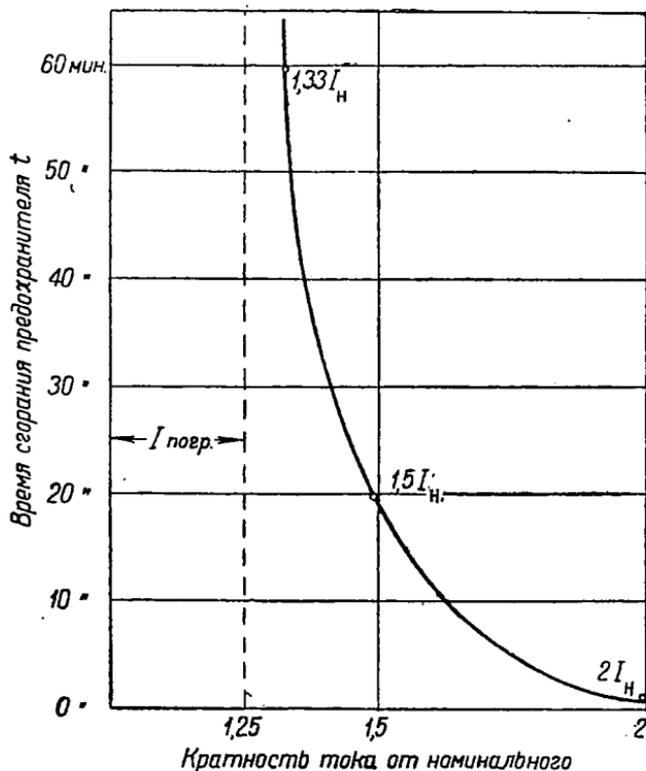
Назначение предохранителя и заключается в своевременном прерывании чрезмерного для данной части установки тока. Это достигается плавлением и сгоранием самого предохранителя.

Для защиты от чрезмерных токов можно также применять максимальные автоматы или автоматические масляные выключатели. Однако защита плавкими предохранителями нашла широкое применение как более дешевый и простой способ, хотя и менее совершенный.

Главную часть предохранителя составляет плавящаяся часть, называемая обычно плавкой вставкой, которая включается после-

довательно в цепь. Как только величина тока в защищаемой цепи превысит допустимый предел, вставка расплавится и прервет ток, т. е. дефектный участок автоматически отключится.

Для того чтобы предохранители своевременно реагировали на увеличение тока сверх допустимого предела, они должны соответствовать сечению проводов данной установки или мощности защищаемых ими ламп и электрических машин. Предохранители обычно характеризуются номинальным током I_H и током плавления $I_{пл}$.



Фиг. 43. Характеристика плавкого предохранителя $I = f(t)$: $I_{погр}$ — ток, длительно выдерживаемый предохранителем; I_H — номинальный ток предохранителя; $I_H = 0,8 I_{погр}$.

Время сгорания предохранителей зависит от многих факторов. Чем меньше ток, протекающий через предохранитель, по сравнению с номинальным, тем длительнее процесс нагревания и расплавления одного и того же предохранителя, наоборот, чем больше ток $I_{пл}$, тем быстрее сгорает предохранитель (фиг. 43).

Характеристика предохранителей меняется в зависимости от материала вставки, размеров ее, формы и т. д.

Необходимо строго следить за исправным состоянием предохранителей, правильным выбором и установкой их, не допуская применения самодельных или отремонтированных вставок. Предохранители с такими вставками не смогут защитить установку и послужат причиной аварии, повреждения электроустановки и пожара.

При выборе предохранителей (согласно проекту новых электротехнических правил и норм) необходимо руководствоваться следующими соображениями.

Предохранители для защиты проводов, кабелей с резиновой изоляцией должны соответствовать данным графы 3 табл. 19.

Таблица 19

При защите кабелей с пропитанной изоляцией наибольшее значение тока, длительно допустимого для кабелей, следует брать по данным ОСТ 6260, умножая их на коэффициент 0,8.

Для защиты приемников, у которых пусковой ток превышает номинальный в 3—4 раза, следует применять предохранители с плавкими вставками, обладающими большей тепловой инерцией, т. е. выдерживающими 2,5-кратный ток по сравнению с номинальным в течение 10 сек.

Плавкие вставки для защиты магистральных проводов (кабелей) с силовой нагрузкой должны соответствовать рабочему току этих проводов.

Для защиты ответвлений к мотору с короткозамкнутым ротором плавкие вставки, обладающие тепловой инерцией, выбирают по номинальному току электромотора без учета пускового тока и с округлением в большую сторону по шкале.

Предохранители изготовляются различных конструкций: пробочные, пластинчатые и трубчатые.

Во избежание образования дуги пробку заполняют асбестом. При ввинчивании пробки до конца замыкается контакт между токоведущими частями патрона и пробки и электрическая цепь оказывается замкнутой через плавкую вставку.

Сечение проводов, мм ²	При продолжительной работе	
	наибольшая допустимая длительная сила тока при температуре окружающего пространства не выше 30° и повышении температуры провода на 20°, А	номинальная сила тока соответствующих плавких предохранителей, А
0,75	9	6
1,0	11	6
1,5	14	10
2,5	20	15
4,0	25	20
6,0	31	25
10	43	35
16	75	60
25	100	80
35	125	100
50	160	125
70	200	160
95	240	190
120	280	225
150	325	260
185	380	300
240	450	360
300	525	430

Так как все токоведущие части закрыты, а пробка изготовлена из изолирующего материала, то опасность поражения током при указанной схеме включения патрона практически исключается.

При обратном включении патрона, т. е. когда винтовая нарезка патрона непосредственно соединяется с сетью, а внутренняя часть — с приемником тока, не исключена возможность поражения током вследствие прикосновения к цоколю пробки в момент ввинчивания ее в патрон, находящийся под напряжением установки. При смене предохранителя под напряжением не устранена также возможность ожога вольтовой дугой, если возникшее в сети короткое замыкание, послужившее причиной сгорания предохранителя, не будет предварительно устранено.

Пробочные предохранители изготавливаются для тока от 4 до 60 А и до 500 В. При больших токах находят применение пластинчатые предохранители (от 10 до 2000 А и до 500 В).

Пластинчатый предохранитель состоит из плавкой вставки, выполненной в виде определенного количества проволок в зависимости от величины тока; проволочки впаяны в медные наконечники, которые обеспечивают необходимый контакт при включении предохранителя в установку.

Пластинчатые предохранители монтируют на изолирующих основаниях; во избежание опасности поражения током и ожогов они должны быть надежно закрыты кожухами. Обычно применяют кожухи из прессованного картона, покрытые лаком.

Эти предохранители ставят, главным образом, на распределительных щитах низкого напряжения и располагают их с задней стороны щита во избежание ожогов или других повреждений.

В тех случаях, когда применение пробочных предохранителей не представляется возможным, в производственных помещениях ставят трубчатые предохранители.

Трубчатый предохранитель состоит из плавкой вставки, помещенной внутри фарфорового патрона. На концах патрона укрепляются металлические хомутики, с которыми соединена плавкая вставка. Хомутики имеют ножевые контакты, позволяющие включить предохранитель в защищаемый участок установки. Контактные гнезда, в которые врубаются ножевые контакты предохранителя, монтируют на изоляторах. Тип изолятора выбирают соответственно рабочему напряжению установки.

Какую опасность могут представить подобные предохранители, видно из описания конструкции. Поэтому применять их в производственных помещениях можно, только устанавливая в запирающихся металлических ящиках, имеющих достаточные размеры и хорошее заземление. Трубчатые предохранители нужно обслуживать при помощи специальных клещей, соблюдая целый ряд предосторожностей.

Во всех случаях, где это возможно, перед предохранителем нужно устанавливать рубильник или выключатель для размыкания электрической цепи. Таким образом достигается смена предохранителя при снятом напряжении.

Моторы

Электромотор, так же как любая часть электроустановки, в зависимости от выполнения может быть в большей или меньшей степени подвержен разрушающим воздействиям окружающей среды (влаги, пыли, газов и пр.).

Надежная и безопасная работа обеспечивается применением моторов такой конструкции, при которой они достаточно защищены от внешних повреждений и разрушающих влияний. В зависимости от этого различают открытые, закрытые, герметичные и взрывобезопасные моторы.

Открытым называется мотор, у которого все токоведущие части не имеют специальных покрытий.

Такие моторы являются наиболее дешевыми и имеют наименьшие размеры. Вследствие отсутствия защитных кожухов здесь обеспечиваются хорошая естественная вентиляция и хороший отвод тепла и, следовательно, высокое использование материала.

Однако применять такие моторы можно только в сухих, не пыльных и не содержащих паров, кислот и других вредных выделений помещениях.

Наличие открытых токоведущих частей создает, с одной стороны, опасность поражения током при случайном прикосновении, а с другой — возможность коротких замыканий при случайном попадании на них каких-либо токопроводящих предметов. Поэтому указанный тип моторов может найти ограниченное применение.

При возможности повреждения от проникновения посторонних предметов, влаги или пыли следует применять электромоторы в защищенном выполнении или со специальной изоляцией обмоток. В зависимости от рода защиты различают просто защищенные моторы, защищенные от водяных капель (капель масла) и защищенные от водяных брызг. От пыли и газов указанные типы не защищены, так как охлаждаются они воздухом, притекающим из окружающей среды через зазоры между мотором и защитными покрытиями.

В помещениях с загрязненным воздухом, от проникания которого должен быть защищен мотор, применяют закрытые электромоторы.

В зависимости от способа охлаждения закрытые электромоторы изготавливаются с трубным присоединением, с охлаждающей рубашкой и наглухо закрытые.

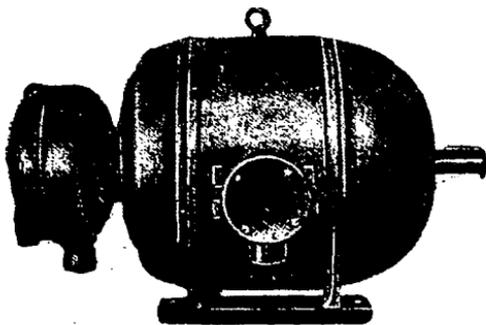
Закрытые электромоторы с трубным присоединением имеют специальные места для приключения труб, подводящих и отводящих охлаждающий воздух. Для циркуляции воздуха моторы внутри кожуха имеют вентилятор.

Электромоторы с охлаждающей рубашкой заключены в металлический кожух. Между кожухом и корпусом мотора имеется зазор для циркуляции воздуха, служащего для охлаждения мотора. Воздух всасывается при помощи вентилятора, устанавливаемого снаружи за подшипниковым щитом.

Наглухо закрытые моторы совершенно закрыты и не имеют ни подвода, ни отвода охлаждающего воздуха. Охлаждение происходит исключительно вследствие теплоотдачи через металлический корпус мотора и естественного омывания воздухом.

Поэтому мощность совершенно закрытых электромоторов составляет 35—60% мощности открытых моторов таких же размеров.

Кроме закрытых моторов, изготовляют специальные моторы во взрывобезопасном выполнении (фиг. 44), которые устанавливаются в помещениях, где не исключена возможность взрыва. Обеспечить полную герметичность мотора в отношении проникновения газа внутрь кожуха практически невозможно. Поэтому взрывобезопасным следует признать такое выполнение мотора, при котором он может противостоять взрывам газа внутри корпуса и не передавать пламени воспламеняющемуся газу вне корпуса, и наоборот.



Фиг. 44. Взрывобезопасный мотор типа УТМ Харьковского электромеханического завода им. Сталина.

Изготавливают также моторы в герметическом выполнении, хорошо защищенные от действия влаги, но не взрывобезопасные. Таким образом для производственных помещений наилучшими типами моторов следует признать закрытые и взрывобезопасные.

Установка защищенных моторов как более дешевых по сравнению с закрытыми и взрывобезопасными совершенно не оправдывается.

Очень часто на производствах защищенные моторы для предохранения от токопроводящей пыли, образующейся при производственном процессе (например, при работе на металлорежущих станках), покрывают специальными железными кожухами. Это нарушает вентиляцию и затрудняет теплоотдачу мотора. Изоляция обмотки мотора перегревается и разрушается, создавая условия для перехода напряжения на корпус со всеми вытекающими из этого последствиями, если корпус мотора не имеет защитного заземления или зануления.

Очевидно, подобная экономия на стоимости моторов сводится к нулю, так как требуются дополнительные расходы в связи с повреждением моторов, неизбежными материальными потерями, вызванными простоем производственных механизмов, невыполнением плана, ремонтом моторов и т. д. Кроме того, ухудшаются условия безопасности. При установке же закрытых или взрывобезопасных моторов, требующих больших первоначальных затрат, обеспечиваются удовлетворительная работа и долговечность моторов в самых неблагоприятных условиях и сводятся к минимуму расходы на ремонт мотора.

Для механизмов, работающих с эмульсией, целесообразно предусмотреть эмульсионные насосы, работающие через передачу от

электропривода. Практика показала, что индивидуальный электропривод насоса, подающего эмульсию, работает в очень тяжелых условиях и обеспечить долговечность такого мотора без значительного удорожания конструкции невозможно.

Индивидуальная защита электропривода от тока короткого замыкания и перегрузки достигается устройством отдельного выключателя на машине, позволяющего быстро отключить ток.

Независимо от типа мотора необходимо обеспечить надлежащее качество монтажа электроподводки к нему. Очень часто при прекрасной конструкции мотора вследствие исключительно неудовлетворительного монтажа должная надежность и безопасность не обеспечиваются. Так, например, клеммовые дощечки остаются открытыми, доступными для прикосновения и загрязнения их, что может вызвать поражение током, короткое замыкание или замыкание на землю. Наконец, изоляция проводов может быть неудовлетворительной.

Всю электроаппаратуру для пуска мотора и защиты от токов короткого замыкания во избежание загрязнения и возможности перехода напряжения на корпус нужно защищать достаточно герметичными кожухами.

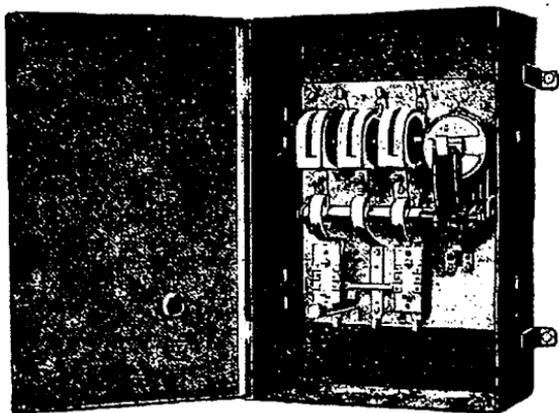
Магнитные пускатели

В качестве пусковой аппаратуры для непосредственного включения электромоторов с коротко замкнутым ротором широкое распространение получили так называемые магнитные пускатели. Они обладают тем огромным достоинством, что обслуживаются дистанционно при помощи кнопочного управления, располагаемого независимо от пускателя в наиболее удобном и безопасном месте.

Магнитный пускатель представляет собой металлический ящик с трехполюсным контактором переменного тока и двухполюсным тепловым реле, смонтированными на изоляционной плите (фиг. 45).

При падении или исчезновении напряжения контактор автоматически отключается. Для включения его необходимо нажать пусковую кнопку. Защита от перегрузки обеспечивается тепловым реле, которое, однако, не предусматривает защиты от токов короткого замыкания. Частота включения допускается до 500 раз в час.

Магнитные пускатели изготавливают обычно в железном или в пыленепроницаемом чугунном кожухе.



Фиг. 45. Магнитный пускатель типа ПМ-2 в железном кожухе.

Конструкция пусковой аппаратуры не должна допускать пуска и работы мотора при открытых дверцах или снятых крышках защитных кожухов пусковых устройств.

Электрическая схема и конструктивное выполнение пускателя должны исключать возможность случайного включения мотора в работу при случайном замыкании накоротко проводов в цепи дистанционного управления пускателем.

Все электрифицированные производственные механизмы должны иметь автоматическое выключение холостого хода.

Кнопки для управления мотором должны быть также либо закрытого выполнения, либо взрывобезопасного.

Кнопки нужно изготовлять из механически прочной цветной изоляционной пластмассы.

Во избежание включения мотора при случайном нажатии кнопки последние должны выбираться утопленного типа.

Для быстрой ориентировки при работе кнопки окрашивают несмываемой краской: «пуск» — зеленой или черной, «стоп» — красной.

Кроме того, назначение кнопок должно быть указано металлическими трафаретами с соответствующими надписями: «пуск», «стоп» «вперед», «назад» и т. п.

Если надежное защитное заземление коробки кнопочного управления трудно выполнимо, например, для электротранспортных приспособлений (электрокошки, электротали), следует применять коробки из изоляционных пластмасс, обеспечивающие большую безопасность и не требующие заземления.

Электрические лампы

Основное требование, предъявляемое к лампам, — безопасность лампового патрона. Наибольшую опасность представляет смена электрических ламп под напряжением, особенно если она производится на металлической, хорошо заземленной конструкции.

При ввертывании лампы возможно попадание под напряжение вследствие прикосновения к находящемуся под напряжением цоколю лампы или металлической оболочке патрона, которая при неисправности патрона может оказаться под напряжением.

Для ограждения токоведущих частей в обыкновенных металлических ламповых патронах сверху устраивают медный корпус, изолированный от патрона при помощи фарфорового кольца. При недостаточной высоте кольца человек, меняющий лампу, прикоснувшись к цоколю ее, может оказаться под напряжением и получить поражение током.

Практика показывает, что фарфоровые кольца при неосторожном обращении легко повреждаются. Отсутствие колец создает опасность соприкосновения винтовой части патрона с корпусом. Вследствие этого весь корпус оказывается под напряжением и опасность поражения увеличивается.

Существуют разнообразные конструкции безопасных ламповых патронов, но все они довольно сложны и у нас не получили распространения. Наилучшими следует признать патроны из изоляционных пластмасс, которые вследствие достаточной глубины исключают опасность соприкосновения с цоколем лампы и находящимся под напряжением патроном.

При недостаточно чистой поверхности колбы, при наличии токопроводящих отложений прикосновение к ней может быть опасным. Поэтому наряду с правильным выбором и установкой осветительной арматуры нужно следить за содержанием ее в чистоте. Конструкция светильника в целом должна быть рациональной и отвечать условиям его применения в различных производственных помещениях.

В производственных помещениях со средней запыленностью могут применяться обычные осветительные приборы. Если в помещении имеется большое количество пыли или выделяющаяся пыль опасна в отношении взрыва или пожара, допускается установка водопыленепроницаемых светильников.

В помещениях сырых и содержащих едкие пары нужно применять только достаточно герметичные светильники, защищенные от проникновения влаги и едких паров, вызывающих разрушение изоляции и токоведущих частей. Материал арматуры должен быть устойчивым против разрушающего влияния влаги и едких паров.

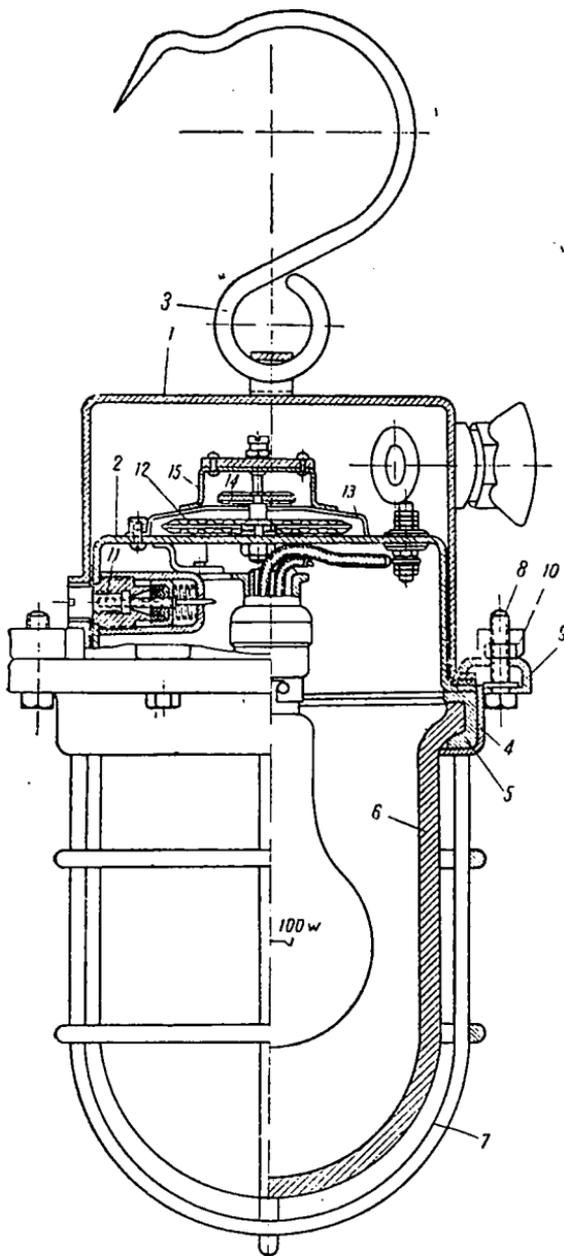
В помещениях огне- и взрывоопасных нужно применять только такие светильники, в которых токоведущие части и колба лампы совершенно недоступны для проникновения воздуха из окружающей огне- или взрывоопасной среды; кроме того, при повреждении защитного колпака ток должен автоматически выключаться. Чаще всего в таких условиях применяют пневматические светильники.

На фиг. 46 представлен такой светильник завода «Электросвет». Светильник помещен в герметическом стеклянном колпаке, в котором поддерживается давление 2—3 ат. В том же колпаке находится механизм, благодаря которому ток выключается раньше, чем давление в колпаке достигнет наружного, что может произойти либо в случае поломки колпака, либо в случае утечки воздуха из колпака и снижения давления. Таким образом исключается опасность пожара или взрыва.

В тех случаях, когда пневматические светильники использовать невозможно, прибегают к устройству наружного освещения. Для этого применяют арматуру «кососветы» или прожекторы, устанавливаемые снаружи взрывоопасных помещений в особых нишах, устраиваемых в стенах и защищенных достаточно прочными стеклами с металлическими решетками.

Кроме стационарных электрических ламп применяют подвижные лампы для местного освещения, которые для удобства наблюдения за рабочим процессом, например при работе на станке, можно перемещать на соответствующих приспособлениях.

Приведенное требование к безопасности ламповых патронов имеет в этом случае еще большее значение вследствие непосредственной близости



Фиг. 46. Светильник взрывобезопасный РВП-100 для помещений, опасных в отношении взрыва:

1 и 2 — железный корпус; 3—крючок для подвешивания; 4—железное кольцо; 5 — резиновая прокладка; 6—стеклянный колпак; 7—предохранительная сетка; 8—болты; 9—кольцо; 10—стягивающие гайки; 11—вентильный клапан для накачивания воздуха; 12—мембрана; 13—крышка; 14—металлическое контактное кольцо; 15—герметическая чашечка.

сти заземленного станка или какой-либо другой машины. Поэтому здесь можно допускать только лампы, у которых токоведущие части патрона и цоколь ограждены от случайных прикосновений надежно укрепленными и особенно прочными защитными покрытиями. Корпус патрона должен быть из изолирующего материала.

Требования безопасности к ручным переносным лампам, используемым в самых разнообразных условиях работы, должны быть еще более повышены.

Ручные лампы часто обуславливают поражения током. Редко приходится видеть вполне безопасную ручную лампу. Во многих случаях пользуются ламповым патроном, присоединенным к источнику тока простым шнуром.

Существует ряд требований к конструкции и выполнению переносных ламп. Корпуса и рукоятки переносных ламп нужно изготавливать из огнестойкого изолирующего материала достаточной прочности, все токоведущие части должны быть защищены от возможности случайного прикосновения. Конструкция лампы должна выдерживать падение и удары.

Металлические части патрона также должны быть защищены от прикосновения. Это обычно достигается при помощи металлических сеток со стеклянным колпаком, одновременно защищающим лампу.

Стеклянные колпаки необходимы в том случае, когда лампы применяются в очень сырых или содержащих едкие пары помещениях. Сетки нужно укреплять на изолирующей рукоятке лампы так, чтобы снятие их без специального приспособления было невозможно.

Если стеклянного колпака нет, нужно применять патрон из изолирующего материала, чтобы исключить возможность прикосновения к токоведущим частям. Место присоединения проводов к патрону не должно испытывать механических усилий, так как при этом возможно ослабление контактов внутри переносной лампы и замыкание проводов на корпус.

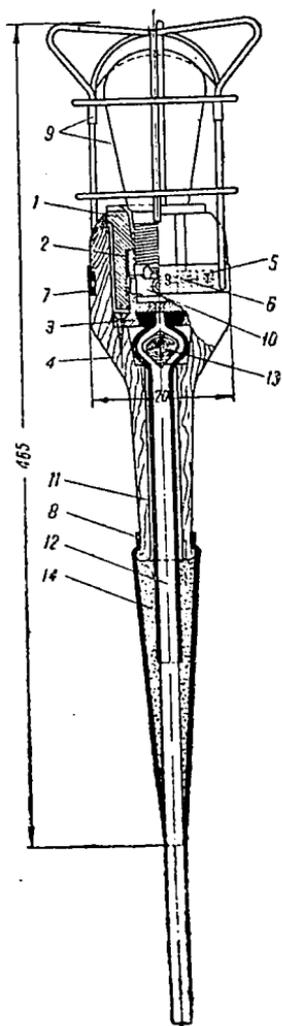
Патроны с ключом для переносных ламп не допускаются, потому что ключ усложняет конструкцию и нередко является причиной несчастных случаев.

Ввод проводов внутрь переносной лампы нужно устраивать так, чтобы исключалась возможность излома их даже при неосторожном обращении.

В этом случае следует применять гибкие специальные провода. Необходимо устраивать в месте ввода специальную защиту при помощи манжет или гибких оболочек достаточной прочности, надетых на провод (фиг. 47). Манжеты должны надежно закрепляться на рукоятке лампы.

Металлические сетки и крючки нужно крепить на изолирующих частях переносной лампы.

Однако при самой совершенной конструкции лампы провода при износе изоляции представляют источник значительной опасности. Поэтому правильным решением вопроса, как и предусматривают



Фиг. 47. Безопасная ручная лампа:

1—капсюль патрона (эбонит); 2—уплотняющее кольцо (эбонит); 3—опорное кольцо (эбонит); 4—корпус лампы (дерево); 5—угольник для замка (железо); 6—винт для замка (железо); 7—пластинка для замка (железо); 8—конус (кожа); 9—сетка (железо); 10—патрон; 11—резиновая трубка; 12—шнур двужилый; 13—кулак; 14—асбестовая набивка.

электротехнические правила и нормы для сырых и других особенно опасных помещений, является применение для ручных ламп безопасного напряжения 12—24 V, получаемого от понижающих трансформаторов.

Применение обычных ламп вместо безопасных ручных, а также неисправность ламп приводит к несчастным случаям. При осмотре зольного бункера слесарь пользовался вместо ручной переносной электрической лампы обыкновенным ламповым патроном. Патрон не имел защитного фарфорового кольца, а питающий лампу провод включался непосредственно в патрон. Вследствие этого пострадавший находился под напряжением 110 V и был насмерть поражен током.

При ремонте насоса в шахте водопроводной станции на глубине 9 м пользовались неисправной переносной электрической лампой при напряжении 220 V. Вследствие этого слесарь получил смертельное поражение.

Понижающие трансформаторы

Наибольшее распространение имеют понижающие трансформаторы треста «Техника безопасности» (фиг. 48).

Конструкция этого трансформатора отличается простотой, дешевизной и относительной легкостью, но не может быть признана вполне безопасной.

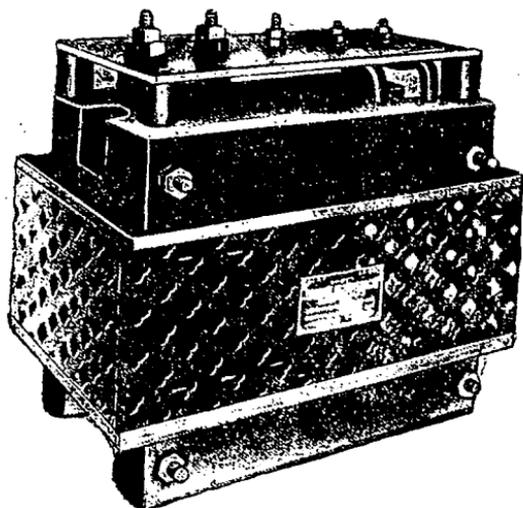
Включение трансформатора в сеть посредством штепсельного соединения, выполненного на кожухе трансформатора, представляет серьезную опасность и не исключает возможности попадания людей под напряжение установки.

Наличие открытых токоведущих частей на стороне низкого напряжения может быть причиной коротких замыканий и в результате этого неизбежного сгорания трансформатора при отсутствии защиты. Наличие открытых токоведущих частей на стороне

высокого напряжения создает прямую опасность поражения током.

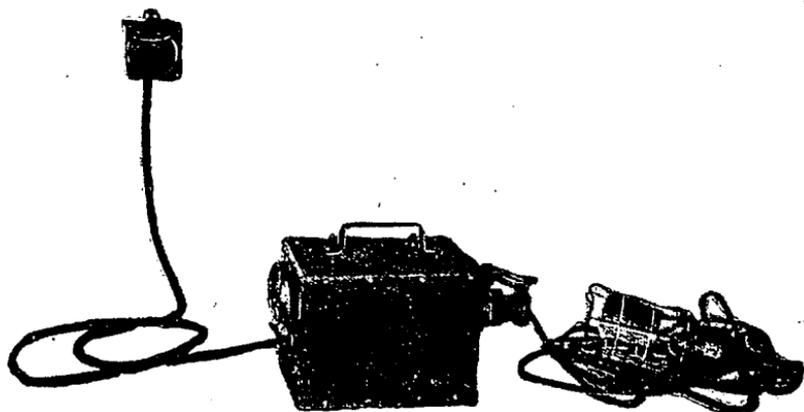
Всесоюзный институт охраны труда (ВЦИЭОТ) поставил задачу создать современную конструкцию понижающего трансформатора, не только надежно обеспечивающую наличие безопасного напряжения (12 V) для пользования переносными лампами, но и рациональную с точки зрения производственных и эксплуатационных требований.

В основу конструкции института положены требования максимальной надежности в смысле электробезопасности с учетом всех остальных моментов: защиты от короткого замыкания, от потерь холостого хода, максимальной экономичности и обеспечения нормального напряжения на лампе.



Фиг. 48. Трансформатор треста «Техника безопасности».

Конструкция представляет собой однофазный трансформатор стержневого типа (фиг. 49), заключенный в железный кожух, закрытый крышкой. Кожух снабжен ручкой, что позволяет легко и удобно



Фиг. 49. Трансформатор ВЦИЭОТ 220/12 V, 100 VA:

переносить его. Крышка кожуха и расположенные на нем розетки и шпильки, входящие в крышку, уплотнены резиновыми прокладками, что позволяет отнести данный трансформатор к классу закрытых

переносных трансформаторов, защищенных от брызг воды, согласно проекту стандарта на трансформаторы для ручных переносных ламп.

Трансформатор обладает высокой электрической прочностью; все токоведущие соединения сделаны внутри и недоступны для прикосновения. Принятая конструкция трехполюсного штепсельного соединения обеспечивает неременное и постоянное заземление кожуха трансформатора. Кроме того, предусмотрена защита от короткого замыкания, что обеспечивает долговечность трансформатора. Наконец, автоматическое выключение тока холостого хода также является известным достижением, так как при наличии в установках большого количества трансформаторов последние при работе вхолостую снижают $\cos \varphi$ установки, что в общем итоге потерь электроэнергии является несомненно отрицательным показателем эксплуатации.

Ручной электрифицированный инструмент

Вопрос о безопасности ручного электрифицированного инструмента (электродрелей, электровертов, метчиков, шлифовальных электроаппаратов, электрических пил и т. д.) приобретает исключительно большое значение в связи с широким применением его в промышленности и на строительстве.

Повышенная опасность при пользовании таким инструментом обусловлена: 1) длительным контактом между металлическим корпусом прибора и руками и телом рабочего; 2) нахождением вблизи металлических, хорошо заземленных предметов; 3) работой в сырых помещениях или на открытом воздухе.

Очевидно, наиболее надежным способом защиты от поражения током было бы применение безопасных напряжений, связанное с установкой специальных понижающих трансформаторов для каждого инструмента или для группы инструментов. В обоих случаях конструкция инструмента при относительно больших мощностях получилась бы тяжелой, громоздкой и неудобной. Поэтому электроинструменты, работающие при безопасном напряжении, практически могут найти применение для небольших мощностей.

Эксплуатация ручного инструмента при нормальных эксплуатационных напряжениях от 110 В и выше представляет определенную опасность поражения током при несоблюдении мер предосторожности.

Все токоведущие части должны быть надежно закрыты и недоступны для прикосновения, все изоляционные расстояния должны быть взяты с необходимым запасом электрической прочности. Все токоведущие соединения и контакты должны быть механически прочными.

Конструкцию электроинструмента нужно испытывать на электрическую прочность напряжением не ниже 1500 В. Ручки выключателя и корпус самого электроинструмента целесообразно выполнять из прочных изоляционных пластмасс. Подводящие ток провода должны быть защищены от механических повреждений и иметь соответствующую

шее приспособление, предохраняющее их от быстрого изнашивания в местах ввода в корпус электроинструмента.

Под влиянием производственных и атмосферных условий изоляция электрической части с течением времени разрушается, и металлическая часть электроинструмента, предназначенная для ограждения электромотора и его токоведущих частей, может оказаться под напряжением и вызвать смертельное поражение. Поэтому прежде всего необходимы устройство надежного защитного заземления металлических частей инструмента и периодическая проверка его состояния. Кроме того, электроинструмент должен быть защищен плавкими предохранителями. В связи с этим штепсельное соединение для включения электроинструмента в сеть вместе с плавкими предохранителями следует рассматривать как неотъемлемую часть электроинструмента.

Наиболее рациональным решением вопроса об электрификации ручного труда с точки зрения чисто производственной является применение высокочастотного электроинструмента, работающего на токе частотой 150—300 пер/сек. Основное преимущество высокочастотного инструмента—высокая производительность и значительно меньший вес по сравнению с электроинструментом, работающим на токе нормальной частоты (50 пер/сек).

По данным ряда заграничных журналов удельная мощность электроинструмента переменного тока при 50 пер/сек. равна 30 W/кг, а высокочастотного 50—110 W/кг. Вес ручной электрошлифовальной машины переменного тока 50 пер/сек. составляет 13 кг, а при токе 150 пер/сек. — всего 5 кг. Аналогичные данные мы имеем и для электродрелей: при токе 50 пер/сек. вес 4,4 кг, а при токе 150 пер/сек. 1,1 кг.

Кроме того электроинструмент высокой частоты имеет некоторое преимущество и в отношении безопасности труда.

Безопасность электроинструмента обеспечивается не только конструкцией, но также правильной эксплуатацией и надзором за его состоянием. В рабочей инструкции о пользовании электроинструментом должны быть четко отмечены все моменты, связанные с опасностью электротравм, а именно: необходимость предварительного защитного заземления или зануления кожуха, возможность включения в сеть соответственно напряжению, указанному на щитке электроинструмента, недопустимость пользования поврежденным инструментом или проводами с поврежденной изоляцией и т. д. В этой же инструкции должны быть указаны сроки сдачи инструмента на осмотр и проверку.

Электроинструмент вместе с проводами целесообразно закреплять за определенным лицом, например, за бригадиром, на ответственности которого должно лежать наблюдение за исправным его состоянием. Работающие должны быть хорошо знакомы с опасностями электрического тока, связанными с использованием электроинструментом, а также с мерами защиты от опасности поражения и оказания первой помощи.

Независимо от характера помещений и условий работы все электроинструменты, работающие при напряжении свыше 40 В, должны быть заземлены (занулены или иметь защитное выключение).

В соответствующих точках цеха должно быть предусмотрено устройство специальных штепсельных розеток с заземляющими контактами для возможности включения в сеть переносных электроприборов (электроинструментов, пылесосов, электросварочных трансформаторов) с одновременным обеспечением их защитного заземления.

4. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Распределительные устройства подстанций

Распределительные устройства предназначены для распределения и направления электроэнергии, поступающей или непосредственно от электромашин или из сети, по отдельным цехам предприятия, а в цехах — по отдельным приемникам тока (моторам, нагревательным аппаратам, освещению). В зависимости от назначения различают распределительные устройства электростанций, подстанций и производственных помещений.

Не останавливаясь на устройстве и оборудовании подстанций, отметим основные требования, которые предъявляются к распределительным устройствам и щитам.

Распределительный щит является той частью распределительного устройства, где сосредоточены вся аппаратура и измерительные приборы и которая благодаря наличию их позволяет производить все необходимые включения, выключения, переключения для бесперебойного, наиболее надежного снабжения электрической энергией данного предприятия.

Помещения распределительных устройств подстанций относятся к электромашинным. Доступ в них разрешается только лицам специальной квалификации, обслуживающим данную установку.

Для возможности быстрой ориентировки в схеме электроустановки, а также для предупреждения поражений током вследствие ошибочных действий применяется маркировка.

Для указанной цели токоведущие части и заземляющие провода окрашивают. Согласно стандарту рабочие провода трехфазного тока окрашивают: I фаза — в желтый цвет, II — в зеленый, III — в красный; провода однофазного тока окрашивают в желтый и зеленый цвета. У проводов постоянного тока положительный полюс окрашивают в красный цвет, а отрицательный — в синий.

Провода защитного заземления окрашивают в черный цвет, нанося зеленые полоски, а рабочего заземления — в черный цвет с красными полосками.

Кроме того, для выключающей аппаратуры, находящейся в защитных кожухах или недоступной для непосредственного наблюдения, устраивают специальную маркировку положений включения или выключения при помощи соответствующих надписей, указателей или световой сигнализации.

Специальная окраска, а также наличие соответствующих надписей позволяют быстро разобраться в электрических схемах установки и принять необходимые меры. Это особенно важно при поражениях током и авариях, когда всякое промедление может быть губельно.

Приведем основные требования, обеспечивающие безопасность обслуживания распределительных устройств.

Проходы должны быть достаточно широкими для возможности безопасного обслуживания со стороны токоведущих частей. В установках низкого напряжения при расположении токоведущих частей на высоте менее 2,5 м расстояние между токоведущими частями и противоположной стеной должно быть не менее 1 м. Если токоведущие части расположены на доступной высоте (ниже 2,5 м), расстояние между токоведущими частями в проходе должно быть не менее 2 м.

При высоком напряжении токоведущие части, расположенные на высоте до 2,5 м, должны быть защищены со стороны прохода дверьми, сетками и решетками.

В установках с напряжением до 6000 В расстояние между токоведущими частями и противоположной стеной должно быть не менее 1,5 м, если же токоведущие части расположены с обеих сторон прохода, то не менее 2 м.

При напряжении свыше 6000 В расстояние между токоведущими частями и противоположной стеной увеличивается на 1 см, а расстояние между токоведущими частями, расположенными по обеим сторонам прохода, — на 2 см на каждые 1000 В сверх 6000 В.

При устройстве ограждения необходимо выдерживать определенные расстояния до токоведущих частей в зависимости от величины напряжения установки (табл. 20).

Это необходимо как для защиты от непосредственного прикосновения к токоведущим частям, так и от возможности разряда через воздух в виде вольтовой дуги.

Все части, находящиеся под напряжением и доступные для прикосновения, должны быть надежно ограждены. Металлические части приборов и корпусов щитов, электропроводки и прочие части, которые могут оказаться под напряжением, должны быть заземлены.

Выключатели и все приборы, служащие для прерывания электрического тока, должны иметь безопасную конструкцию. Располагать их нужно так, чтобы в случае возникновения вольтовой дуги или искр при выключении они не могли причинить ожогов обслуживающему персоналу или вызвать воспламенение либо короткое замыкание на землю.

Масляные выключатели по мощности должны соответствовать мощности короткого замыкания данной установки. Кроме того, для ограничения возможного разрушения в случае взрыва масляные выключатели нужно устанавливать в изолированных ячейках, имеющих выход непосредственно наружу (при мощности выключателей от 100 000 kVA и выше), или во взрывном коридоре, изолированном от остального помещения (при мощности выключателей 25 000—100 000 kVA).

Таблица 20

Расстояние в свету от токоведущих частей до покрытий и ограждений (в см).

Для установок напряжением до 1000 В

Ограждение / Напряжение	Сплошное, огнестойкое и токонепроводящее	Прочих типов
Низкое	2	5
Высокое	3	10

Для установок напряжением выше 1000 В

Ограждения	Расстояние, см
Перила, поручни, барьеры	$a + 20$, но не менее 50
Сетки и сетчатые двери с ячейками не крупнее 3×3 см	$a + 10$
Сплошные ограждения и металлические двери	$a + 3$

Примечание. Величины a указаны в табл. 21

Таблица 21

Рабочее напряжение кВ	Наименьшее расстояние a от токоведущих частей до окружающих объектов см
1	5,0
3	7,5
6	10,0
10	12,5
20	18,0
35	26,0

части, связанные с его корпусом (например, прибор для зажигания, возбуждения, нагрева ртутного насоса), находятся по отношению к земле под полным потенциалом выпрямленного тока, то соприкосновение с корпусом выпрямителя представляет опасность поражения током.

Имеющиеся в подстанции силовые и осветительные трансформаторы также должны быть установлены в отдельных ячейках.

Все помещение должно быть огнестойким согласно специальным правилам. При этом нужно обеспечить достаточное количество выходов как с задней стороны щитов, так и непосредственно из самого помещения.

Ртутные выпрямители. Вследствие высокого к. п. д., простоты обслуживания, нечувствительности к коротким замыканиям, колебаниям частоты, а также невысокой стоимости ртутные выпрямители за последние годы нашли широкое применение, вытеснив мотор-генераторы и одноякорные преобразователи.

Ртутные выпрямители обычно устанавливают в подстанциях тех предприятий, где для нужд производства требуется выпрямленный ток. Они применяются также для зарядки аккумуляторов, но главным образом используются для целей электротяги.

Так как все внешние металлические части выпрямителя, а также

Для защиты от этой опасности необходимо или ограждение выпрямителя или расположение его в особых помещениях.

Для ограждения обычно применяют металлические решетки высотой не менее 1,8 м, чтобы возможность случайного прикосновения рукой или ногой была исключена; для этого расстояние между нижним краем решетки и полом должно быть не более 0,15 м.

Для возможности доступа к выпрямителю решетки должны иметь двери с блокировкой, благодаря которой открывание двери возможно при отключенном напряжении, а включение под напряжение — только при закрытой двери. Кроме того, целесообразно устанавливать сигнальные лампочки, предупреждающие об опасности. Все приборы управления (рукоятки, выключатели, реостаты и т. д.) должны быть надежно изолированы от корпуса выпрямителя и выведены за решетку.

В случае установки нескольких выпрямителей между ними необходимо устанавливать изолирующие перегородки, а также обеспечивать возможность индивидуального отключения.

При отсутствии ограждения устраивают изолирующий пол со всех сторон выпрямителя на расстоянии 1 м от частей его, находящихся под напряжением.

Если выпрямитель расположен ближе чем на 1,5 м от стен помещения, то стены также нужно покрывать изолирующим материалом на высоту 1,8 м.

Для предотвращения возможности одновременного прикосновения к корпусу выпрямителя и частям, находящимся под различным потенциалом (статор электромотора для воздушного насоса, водопроводные трубы), эти части должны быть либо покрыты изолирующим слоем, либо ограждены решеткой, соединенной с корпусом выпрямителя.

Так как трубопровод охлаждающей воды, связанный непосредственно с корпусом выпрямителя, может оказаться также под полным потенциалом выпрямленного тока, его необходимо частично выполнять из резинового шланга, длину которого устанавливают в зависимости от напряжения.

Ртутные выпрямители, размещенные в помещениях, доступных для лиц, не имеющих непосредственного отношения к обслуживанию их, кроме изоляции от пола, должны быть соответствующим образом ограждены.

При установке стеклянных ртутных выпрямителей в металлических шкафах последние необходимо надежно заземлять.

Металлические ограждения решетки должны быть заземлены; при устройстве защитного заземления нужно принять меры против попадания выпрямленного тока в арматуру железобетонных частей здания.

Кроме того, необходимо обеспечить надлежащую вентиляцию для очистки помещения от ртутных паров, которые могут вызвать отравление обслуживающего персонала.

Аккумуляторные помещения должны быть закрыты и доступны только обслуживающему персоналу.

Аккумуляторные помещения представляют опасность взрыва, так как при зарядке аккумуляторов выделяется водород. Поэтому необходимо устраивать непрерывно действующую естественную или принудительную вентиляцию, исключаящую возможность образования гремучего газа (смесь водорода с воздухом). Выводить вентиляционные каналы в действующие дымоходы или в общую вентиляционную систему здания воспрещается.

Ввиду опасности взрыва при отоплении аккумуляторных помещений печами топка их допускается только снаружи помещений.

Предохранители, штепсельные соединения, а также осветительные приборы нужно применять только во взрывобезопасном выполнении.

В отношении проводки и арматуры к этим помещениям предъявляются те же требования, что и к помещениям с едкими парами.

Аккумуляторные помещения должны быть хорошо изолированы от производственных помещений во избежание попадания в них газов и паров кислоты, выделяющихся при зарядке аккумуляторов. Поэтому вход в аккумуляторные помещения устраивают непосредственно снаружи или через специальные тамбуры.

Ввиду наличия голой проводки и связанной с этим опасности поражения током обслуживание аккумуляторных помещений может быть доверено только хорошо проинструктивированному персоналу.

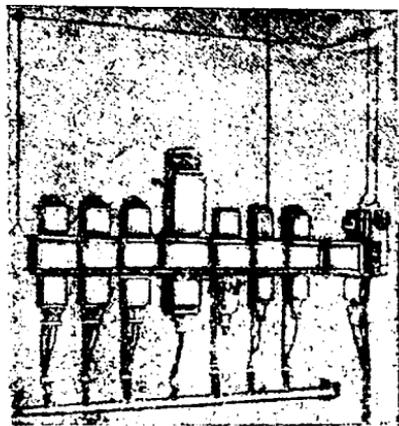
Распределительные устройства в производственных помещениях

Распределительные устройства, устанавливаемые непосредственно в цехах промышленных предприятий, выполняют не в виде открытых щитов, как в трансформаторных подстанциях, а собирают или из отдельных элементов — распределительных ящиков (фиг. 50), или делают в

виде одного общего металлического ящика, в котором монтируется все необходимое электрооборудование (собираательные шины, предохранители, выключатели) для распределения электроэнергии между отдельными приемниками тока.

Обычно устраивают несколько таких распределительных пунктов, размещая их в разных местах цеха так, чтобы питание отдельных производственных механизмов и освещения цеха осуществлялось наиболее экономично и надежно.

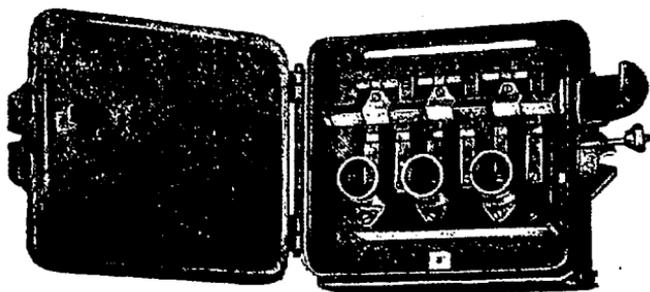
Конструкция распределительных ящиков видоизменяется в зависимости от назначения.



Фиг. 50. Распределительный ящик.

На фиг. 51 изображен распределительный ящик типа ЯР-25 Харьковского электромеханического завода им. Сталина.

В ящик встроены предохранители и роликовый выключатель, управляемый рукояткой. Дверца заблокирована с выключателем так,



Фиг. 51. Ящик типа ЯР-25.

что ее нельзя открыть при включенном выключателе, а выключатель нельзя включить при открытой крышке. Кроме того, распределительные ящики изготавливаются с максимальными, минимальными и нулевыми автоматами.

Во многих случаях распределительные ящики снабжают измерительными приборами — амперметром или вольтметром.

На фиг. 52 представлено внутреннее устройство распределительного ящика с автоматом Харьковского электромеханического завода им. Сталина.

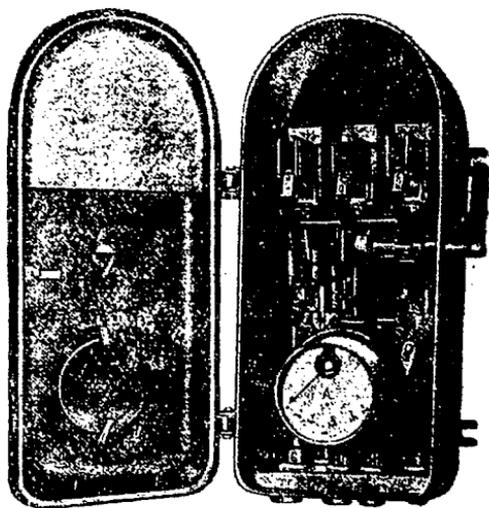
В металлический кожух встроены трехполюсный автомат и амперметр. Ящик выключается обычно вручную при помощи выведенной сбоку рукоятки.

По особому требованию, кроме ручного, может быть устроено дистанционное выключение.

Дверца ящика заблокирована с выключателем, как и в предыдущем случае.

Корпуса ящиков изготавливают из чугуна с плотно закрывающейся чугунной крышкой.

Распределительное устройство можно составить из любого числа подобных элементов, причем оно получается весьма компактным и



Фиг. 52. Внутреннее устройство распределительного ящика на 600 А.

удобным для установки в любом месте цеха; токоведущие части совершенно недоступны для прикосновения, так как включение и отключение тока производится при закрытом ящике при помощи рукоятки.

Смену предохранителя производят при отключенном напряжении, хотя при этом и приходится открывать дверцу ящика, так как благодаря блокировке цепь тока предварительно размыкается. В некоторых конструкциях устраивают дверцы только для смены предохранителей, что совершенно исключает возможность прикосновения к токоведущим частям.

Распределительные ящики герметичны, не имеют отверстий и таким образом хорошо защищены от вредных влияний влаги, пыли и газов. Это является большим преимуществом.

Распределительные ящики могут применяться для переменного тока до 600 А при напряжении 500 В.

Применять чугунные распределительные ящики при более мощных установках не представляется возможным, так как они получаются дорогими и громоздкими.

Кроме закрытых распределительных устройств, в производственных помещениях весьма часто применяют распределительные щитки открытого типа (фиг. 53).

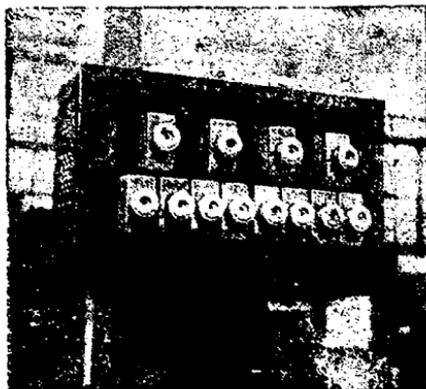
Конструкция их должна гаранти-

ровать недоступность прикосновения к токоведущим частям.

Установка распределительных, силовых и осветительных щитков не должна производиться со стороны проездов, а также над рольгангами, конвейерами и в местах склада деталей. Располагать эти щитки нужно так, чтобы обслуживание их было безопасным и удобным. Распределительные щитки должны иметь надежный замок в виде специальной защелки.

Для обеспечения безопасности осмотра и ремонта силовых щитков необходимо перед щитком предусмотреть установку специального рубильника, позволяющего в случае надобности сразу включить питание щитка.

На внешней стороне кожуха щитка должен быть четко указан номер щитка и сделана предостерегающая надпись (в установках высокого напряжения с изображением черепа) «Н е т р о г а т ь — с м е р т е л ь н о». На внутренней стороне нужно указать приемники тока и предохранители в полном соответствии с электрической схемой цеха.



Фиг. 53. Осветительные щиты.

V. ИНСТРУКТАЖ И ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ

1. ИНСТРУКТАЖ

Необходимым условием сознательного и правильного отношения к требованиям безопасности является совершенно ясное и отчетливое представление об опасностях электрического тока в данных условиях. Поэтому подготовка и систематический инструктаж лиц, обслуживающих электроустановку, и рабочих, связанных с эксплуатацией электрооборудования, имеют исключительно важное значение в деле повседневной профилактической работы по борьбе с электротравматизмом. Методы инструктажа могут быть разнообразными в зависимости от его целевых установок; лекции, беседы, практические занятия, разбор несчастных случаев, печатных инструкций, листовок, брошюр и стенгазет, популяризирующих вопросы безопасности электрических установок.

Инструктаж персонала, обслуживающего электроустановки, нужно вести по специально разработанной программе и периодически повторять, чтобы получаемые сведения не только усваивались, но и служили повседневным руководством.

В качестве основного материала при инструктаже нужно использовать электротехнические правила безопасности, предназначенные для данной установки, а также «Руководящие указания по оказанию первой помощи пострадавшим от тока» и «Инструкцию по борьбе с пожарами, возникающими в электроустановках и вблизи них». Рабочие, работающие на электрифицированных машинах, должны быть проинструктированы об опасностях электрического тока и необходимости в связи с этим немедленно сообщать о всех замеченных неисправностях в электрооборудовании для немедленного устранения их.

Все лица, которым поручается эксплуатация, а также плановый и аварийный ремонт оборудования электроустановок, должны иметь соответствующую квалификацию, хорошо знать правила безопасности и специальные инструкции по выполнению поручаемой им работы и полностью выполнять все предписываемые требования.

Для широкого ознакомления с правилами безопасности при эксплуатации, монтаже и ремонтных работах в электроустановках, кроме специального инструктажа и выдачи указанных правил на руки под расписку, в наиболее подходящих местах установки нужно

вывешивать схему электрических соединений данной установки, правила безопасности, «Руководящие указания по оказанию первой помощи пострадавшим от электрического тока» и инструкцию по борьбе с пожарами.

Администрация обязана составить подробные инструкции по каждому виду работ с указанием в них безопасных приемов работы.

В электроустановках, монтируемых для новых предприятий и в процессе монтажа электрически не связанных с существующими электроустановками, опасность поражения током могут представлять только применяемые при работах электрические лампы, электрифицированный инструмент и временная проводка. Поэтому все требования безопасности, предъявляемые к осветительным установкам, ручным переносным электрическим лампам, инструменту и проводке, остаются в силе и для данных условий.

Если же необходимость в электромонтажных и других работах возникает в установке, уже находящейся под напряжением, то в зависимости от напряжения и характера работ могут быть предъявлены различные требования, и такие работы могут выполняться при полном или частичном отключении напряжения.

2. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ И РЕМОНТНЫХ РАБОТАХ

Все электромонтажные и прочие работы, требующие непосредственного соприкосновения с токоведущими частями, находящимися под напряжением, или выполняемые вблизи этих частей, воспрещаются:

- 1) во всех электроустановках высокого напряжения;
- 2) в сырых, особенно сырых, с токопроводящей пылью, с едкими парами, огне- и взрывоопасных помещениях установок низкого напряжения;
- 3) на кабельных линиях высокого и низкого напряжений;
- 4) на воздушных линиях высокого и низкого напряжений.

Работа в указанных условиях может быть допущена только после снятия напряжения с участка, на котором должна производиться работа, а также после заземления и закорочения токоведущих частей непосредственно у места работы.

Части установки, которые не могут быть выключены, нужно надежно ограждать деревянными щитами с плакатами «Н е т р о г а т ь — с м е р т е л ь н о» или подобными надписями.

Если в установках высокого напряжения с частично отключенным напряжением работают чернорабочие, маляры и рабочие других профессий, то за ними нужно установить неослабный надзор, выделив для этого лицо достаточной квалификации. При этом допускаются только такие работы, при которых не требуется приближения к токоведущим частям, а также длительное пребывание рабочих в помещении.

Отключение тока и напряжения для безопасного выполнения работы производится только по письменному или устному распоряжению уполномоченного администрацией лица.

Только в исключительных случаях стихийных бедствий или при несчастных случаях можно произвести то или иное отключение без предварительного распоряжения, но об этом должен быть обязательно уведомлен ближайший начальник.

Наблюдение за безопасностью производимых работ и предупреждение неправильных действий должны быть возложены на специальное лицо, выделенное для этой цели, или на производителя работ.

При отключении установки для производства тех или иных работ необходимо следить, чтобы напряжение было отключено всесторонне, обращая при этом особое внимание на невозможность подачи напряжения в установку со стороны низкого напряжения трансформаторов через обратную трансформацию. Для этой цели необходимо полностью отключать трансформаторы как со стороны высокого, так и низкого напряжения на всех фазах.

На всех штурвалах, приводах масляных выключателей, разъединителей, на предохранителях, при помощи которых к месту работы может быть дано напряжение, нужно вешать плакаты: «Не включать — работают люди».

После всестороннего отключения участка работ необходимо при помощи соответствующих указателей напряжения проверить, отсутствует ли напряжение на всех фазах. При этом на воздушных линиях на деревянных опорах указатель необходимо заземлять, так как в противном случае он может не показать напряжения, хотя линия фактически будет находиться под напряжением.

Установив отсутствие напряжения на участке работ, необходимо заземлить токоведущие части. Для этого предварительно заземленным проводником сечением не менее 25 мм^2 соединяют накоротко токоведущие части всех трех фаз. При этом заземление осуществляется в такой последовательности: заземляющий провод сначала соединяют с землей, а затем при помощи штанги провод накладывают на токоведущие части установки или линии всех трех фаз.

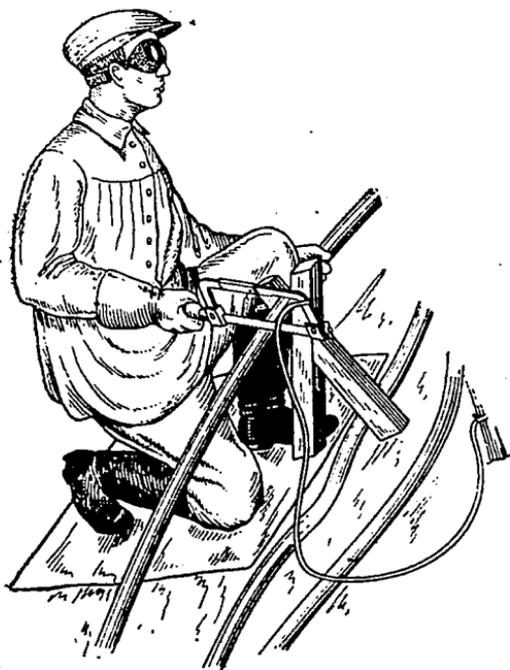
Это мероприятие является основной и единственно надежной мерой защиты работающих от случайного появления напряжения при работах в электроустановках, на кабельных и воздушных линиях.

При наложении заземления место присоединения его к существующему заземляющему устройству или специально для этой цели заземленному металлическому лому нужно выбирать так, чтобы заземление было видно с места работы. Наложение заземления необходимо предусматривать у места работы со всех сторон, откуда может быть дано напряжение. Заземляющий провод должен иметь надежные контакты с токоведущими частями, которые не должны нарушаться во время работы.

При невозможности использовать для заземления существующее заземляющее устройство установки (например, в кабельных и воздушных сетях) в землю на глубину 1 м забивают лом и при помощи гибкого изолированного провода сечением не менее 25 мм^2 осуществляют заземление.

Операции по проверке отсутствия напряжения и наложению заземления нужно производить, имея на руках резиновые перчатки и стоя на изолированной подставке или резиновом коврикe.

Лицо, производящее резку кабеля или вскрытие кабельных муфт, может приступать к работе только после получения от производителя работ четкого указания, что напряжение снято, кабель разряжен и заземлен и работа не представляет опасности.



Фиг. 54. Резка кабеля.

Так как при разрезке кабелей или вскрытии кабельных муфт вследствие ошибочного отключения другого кабеля они могут оказаться под напряжением, нужно заземлить металлическую часть ножовки (при разрезке кабеля) или ножа (при вскрытии муфт). Кроме этого для изоляции от земли нужно постелить резиновый коврик или чистые сухие деревянные доски, надеть перчатки и предохранительные очки и затем приступить к работе. Ножовку или нож необходимо держать за изолирующую деревянную рукоятку (фиг. 54).

При вскрытии кабельных муфт следует осторожно вскрыть кожух муфты, при помощи указателя напряжения проверить, отсутствует ли напряжение, разрезать предварительно заземленным ножом изоляцию, металлической частью ножа замыкая накоротко все три фазы. Убедившись в отсутствии напряжения, можно снять перчатки и работать без них.

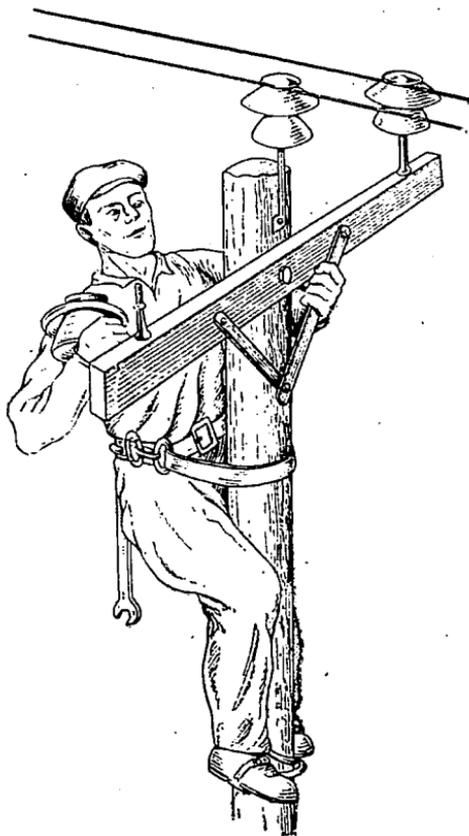
При работах на воздушных линиях после получения извещения, что линия всесторонне отключена, лицо, ответственное за безопасность выполняемых работ (производитель работ), обязано лично удостовериться в отсутствии напряжения при помощи указателя напряжения, наложить заземление непосредственно у места работ и закоротить.

Перед допуском к работе производитель работ обязан удостовериться в исправном состоянии всех защитных, подъемных и вспомогательных средств, необходимых для безопасного выполнения работ, а при работе на деревянных опорах убедиться в полной исправности опоры.

При работах на опорах необходимо (Фиг. 55 и 56) работать на двух когтях; привязывать себя к опоре предохранительным поясом.

Работы на линии во время грозы или при ее приближении воспрещаются.

Включение под напряжение электроустановок может быть произведено лишь после того, как лицо, ответственное за безопасность работ, проверит и установит, что все работы выполнены, люди, инструменты и материалы с места работ удалены, заземление и закорочение снято. Плакаты «Не включать» должны быть сняты.



Фиг. 55. Работа на высоте.



Фиг. 56. Работа на высоте.

При снятии заземления необходимо сперва снять заземляющий провод с токоведущих частей, а затем отсоединить его от земли.

После снятия заземления производить какие-либо работы и прикасаться к токоведущим частям воспрещается.

Включение установки под напряжение можно производить только по распоряжению уполномоченного администрацией лица. При этом лицо, производящее включение, обязано проверить, что все указанные выше требования полностью выполнены.

В установках низкого напряжения в помещениях сырых, особенно сырых, жарких, с токопроводящей пылью, с едкими парами, опасных в пожарном отношении, электромонтажные и ремонтные работы под напряжением не допускаются.

В нормальных помещениях электромонтажные и ремонтные работы под напряжением могут быть допущены при обязательном использовании защитных средств:

1) электромонтажного инструмента с изолирующими рукоятками или резиновых перчаток для изоляции от токоведущих частей установки;

2) изолирующих подставок, резиновых ковриков или калош для изоляции от земли;

3) деревянных щитов для ограждения от частей установки, находящихся под напряжением, или заземленных металлических конструкций;

4) предохранительных поясов для защиты от падения при работах на высоте.

Все защитные средства должны вполне соответствовать своему назначению и удовлетворять установленным для них требованиям. Без применения указанных средств или при наличии неисправных работы под напряжением должны быть воспрещены.

3. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

В объем работы по эксплуатации электроустановок входят:

1) осмотры для выяснения состояния установок и принятия необходимых мер в случае обнаружения каких-либо неисправностей;

2) необходимые переключения, вызванные изменением электрической схемы установки или режима работы;

3) измерения и испытания.

Для каждой электроустановки высокого и низкого напряжения должны быть специально выделены лица, имеющие достаточную электроквалификацию, ответственные за удовлетворительное состояние и безопасность вверенных им электроустановок и электрооборудования.

О с м о т р ы нужно производить регулярно в сроки, устанавливаемые в зависимости от характера установки, ее ответственности и производственных условий. Электрооборудование, находящееся в производственных помещениях, осматривают в установленные сроки в порядке планово-предупредительного ремонта.

Кроме того, на каждом отдельном участке цеха лица, ответственные за состояние электрооборудования, обязаны производить осмотры ежедневно при приеме и сдаче смены.

При осмотрах необходимо обращать внимание на:

1) исправность замков, дверей и окон;

2) чистоту помещения и электрооборудования;

3) наличие и исправность осветительных установок, в частности щитков, выключателей, электрических ламп, осветительной арматуры;

4) незагроможденность проходов и удобство доступа к электромашинам, выключателям, приборам, распределительным устройствам, щитам и т. п.;

5) наличие и соответствие предохранителей сечению защищаемой ими проводки и мощности электромашин;

6) отсутствие мест с поврежденной изоляцией;

7) правильность работы электрооборудования и соответствие его производственным условиям, отсутствие перегрева электромашин, пусковой аппаратуры, электропроводки;

8) наличие и удовлетворительное состояние защитного заземления — отсутствие разрывов в заземляющей системе;

9) достаточное наличие и исправное состояние штепсельных розеток с заземляющим контактом для присоединения электроинструмента и переносных трансформаторов;

10) достаточное наличие и исправное состояние защитных средств.

При осмотрах электроустановок необходимо следить, чтобы посторонние лица не имели доступа к электрооборудованию; помещение высокого напряжения при этом нужно закрывать на замок.

При осмотрах производство каких-либо работ воспрещается.

Если при осмотре воздушных линий будет обнаружен оборванный провод, лежащий на земле или свесившийся и доступный для прикосновения с земли, необходимо принять срочные меры для ограждения места обрыва, не допуская к нему людей до отключения линии и устранения повреждения. С этой целью на расстоянии 8—10 м нужно либо устроить ограждение, либо, если это невозможно, поставить предупреждающие плакаты «Не трогать провод — смертельно» на все время до устранения указанного повреждения. Лицо, производящее осмотр, не должно подходить к месту обрыва ближе, чем на указанное расстояние.

Все операции по переключениям, отключениям и т. д. могут производиться только по распоряжению ответственных за это лиц.

Все отключения рабочего тока в установках высокого напряжения (с напряжением свыше 500 V) нужно производить при помощи масляных выключателей, для чего при наличии разъединителя сначала отключают масляный выключатель, а затем разъединитель. При включении, наоборот, сначала нужно включить разъединитель, а затем — масляный выключатель.

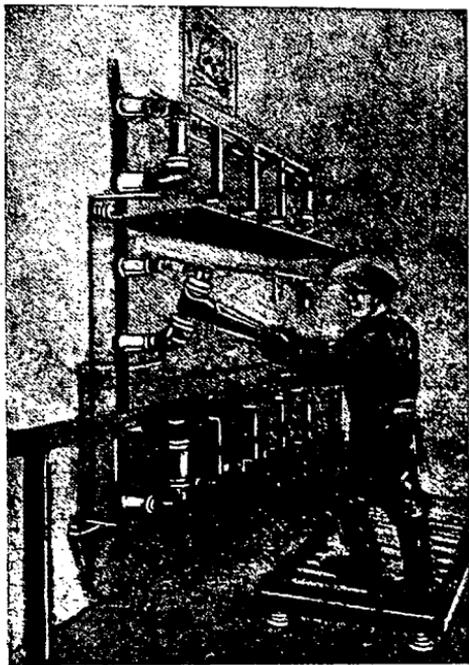
При случайном соединении с землей токоведущей части высокого напряжения необходимо отключить при помощи масляных выключателей ту часть установки, где произошло указанное соединение.

Включение или отключение рабочего тока разъединителями или предохранителями в установках высокого напряжения воспрещается. Как исключение допускается включение и отключение при помощи разъединителей или предохранителей только для трансформаторов мощностью не свыше 180 kVA.

Все эксплуатационные операции с масляными выключателями, разъединителями (предохранителями) в установках высокого напря-

жения необходимо производить, имея на руках резиновые перчатки и стоя на изолирующей подставке или резиновом коврике (фиг. 57).

При отключении разъединителей необходимо пользоваться соответствующей изолирующей штангой, а при снятии и постановке предохранителей — клещами. В обоих случаях нужно надевать предохранительные очки.



Фиг. 57. Выключение клещами предохранителя высокого напряжения.

Включать разъединители необходимо быстро, а отключать — медленно.

В установках низкого напряжения в помещениях сырых, особенно сырых, жарких, с едкими парами, токопроводящей пылью, опасных в пожарном отношении, смена предохранителей под напряжением воспрещается. В нормальных производственных помещениях смену трубчатых предохранителей под напряжением рекомендуется производить в предохранительных очках, имея на руках резиновые перчатки или пользуясь клещами.

Измерение тока в установках высокого напряжения допускается при помощи клещей Дитце с амперметром, укрепленным непосредственно на изолирующих рукоятках при помощи штепсельного соединения.

Для установок низкого напряжения допускаются клещи

Дитце с отдельным амперметром, присоединенным шнуром.

Изолирующие рукоятки клещей должны быть совершенно чистыми и сухими, соприкосновение их с какими-либо металлическими предметами должно быть исключено.

При измерениях не следует приближаться к установке на расстояние меньше длины клещей.

Измерение тока клещами Дитце на воздушной линии высокого напряжения воспрещается, а на воздушной линии низкого напряжения допускается, но при условии наличия резиновых перчаток на руках и прикрепления к опоре предохранительным поясом.

При измерении тока при помощи переносных приборов перед включением прибора необходимо полностью отключить от напряжений часть установки, где будет производиться измерение. После присоединения прибора установку включают под напряжение.

При измерении напряжений допускается включение вольтметра под напряжением (в установках не свыше 1000 V) при условии, что соединительные провода вольтметра имеют изоляцию типа магнето и снабжены изолирующими рукоятками для контактных наконечников достаточной длины (не менее 500 мм при длине рукоятки не менее 300 мм).

Деревянные корпуса переносных приборов должны быть хорошо изолированы от земли, а металлические, напротив, хорошо заземлены.

Измерения под напряжением нужно производить в предохранительных очках, имея на руках резиновые перчатки и стоя на изолирующей подставке. При этом необходимо соблюдать особую осторожность ввиду непосредственной близости к частям установки, находящимся под напряжением.

Измерение изоляции при помощи меггера в установках высокого и низкого напряжения допускается после всестороннего отключения напряжения и проверки отсутствия напряжения. В кабельных сетях после разряда кабеля лицо, производящее измерение, должно быть в резиновых перчатках и находиться на изолированном основании. Корпус меггера должен быть также изолирован от земли.

Измерение изоляции воздушных линий во время грозы или при ее приближении воспрещается.

Все обнаруженные при осмотрах и измерениях недостатки электроустановок нужно немедленно устранять, предварительно известив об этом ближайшего начальника.

Результаты осмотров и измерений должны быть записаны в соответствующие журналы с указанием принятых мероприятий, сроков и результатов их реализации.

VI. ПРОИЗВОДСТВО ИЗМЕРЕНИИ

1. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Изоляция электроустановки, вполне удовлетворяющая требованиям норм при сдаче в эксплуатацию, с течением времени под воздействием влажности, пыли, едких паров, температуры и других факторов может притти в совершенную негодность и вызывать постоянные замыкания на землю. При этом следует отметить, что в установках с заземленным нулем замыкание на землю провода какой-либо части оборудования из-за повреждения изоляции фактически приводит к однофазному короткому замыканию.

В установках с изолированным нулем при отсутствии надлежащего наблюдения за состоянием изоляции длительное соединение с землей какой-либо части установки является весьма серьезным источником опасности в отношении возможности поражения током, а также пожара. Поэтому необходимо систематически следить за состоянием изоляции.

Всякая новая электроустановка или часть ее после окончания монтажа или ремонта перед пробным включением под напряжение и сдачей в эксплуатацию после тщательного наружного осмотра должна быть испытана для устранения дефектов изоляции проводов, электромашин, электроаппаратуры. Установка может быть принята в эксплуатацию только в том случае, если измерения сопротивления изоляции токоведущих частей отдельных фаз как по отношению друг к другу, так и относительно земли дадут вполне удовлетворительные результаты. Изоляцию установок, уже находящихся в эксплуатации, также нужно периодически проверять, производя измерения при помощи меггера. Сроки проверки устанавливает эксплуатационный персонал на месте в зависимости от ответственности и характера производства и производственных помещений. При этом в нормальных производственных помещениях проверку нужно производить не реже одного раза в год, в особенно сырых — не реже двух раз в год. Сроки измерения сопротивления изоляции для помещений, особенно опасных в отношении пожара и взрыва, устанавливаются по согласованию с пожарной охраной в зависимости от ответственности и характера производства.

Результаты осмотра и измерения изоляции заносятся в специальный журнал, в котором отмечаются все обнаруженные неисправности; устранять дефекты нужно в кратчайший срок, записывая в журнале

принятые мероприятия и результаты этого. В этот же журнал дежурный персонал должен заносить показания земляных вольтметров, служащих для контроля состояния изоляции установки в процессе эксплуатации.

Целесообразно прежде всего измерить общее сопротивление изоляции установки, так как при этом первое измерение уже дает представление о состоянии изоляции в целом. При получении неудовлетворительных результатов измеряют сопротивление изоляции отдельных участков, последовательно отделяя их от источника к приемникам тока. Показания прибора укажут дефектный участок.

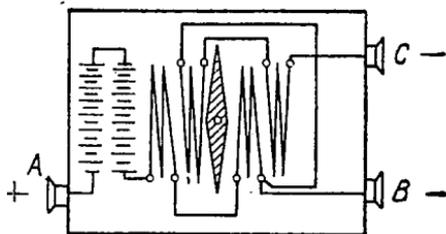
2. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Простейшим и весьма распространенным прибором для определения состояния изоляции является г а л ь в а н о с к о п (фиг. 58), схема которого представлена на фиг. 59.

Действие гальваноскопа основано на отклонении магнитной стрелки, помещенной вблизи катушек прибора, создающих магнитное поле. Чем больше ток, проходящий через катушку, т. е. чем больше повреждение изоляции измеряемого участка (фиг. 59), тем больше угол отклонения магнитной стрелки.



Фиг. 58. Гальваноскоп.



Фиг. 59. Схема гальваноскопа.

В качестве источника тока используется батарейка, помещенная в корпусе прибора. На крышке прибора помещается шкала, градуированная непосредственно в омах или мегомах. Стрелка прибора, отклоняясь при измерении, непосредственно укажет на шкале сопротивление изоляции измеряемого участка. При помощи гальваноскопа можно определить только грубые дефекты изоляции различных участков электроустановки, не находящихся под напряжением, например, сопротивление изоляции проводов по отношению к земле, по отношению друг к другу.

Сопротивление изоляции следует измерять по возможности при напряжении, равном рабочему напряжению, но во всяком случае не ниже 100 V.

Поэтому вместо гальваноскопа применяют меггер, или индуктор, являющийся более совершенным (фиг. 60). Источником тока

служит магнитоэлектрическая динамомашинка, приводимая в вращение вручную при помощи рукоятки и дающая напряжение до 1000 В.

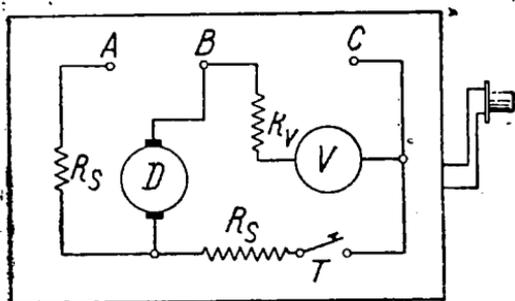
Последовательно с машинкой включен вольтметр (с вращающейся катушкой), позволяющий измерять напряжение. Прибор снабжен шкалой, градуированной в мегомах и позволяющей по отклонению стрелки прибора определять сопротивление изоляции.

Меггеры изготовляются на различные пределы измерения в зависимости от напряжения, для которого они предназначены.

Универсальный меггер отличается от обыкновенного наличием второго вольтметра переменного тока, что позволяет применять его также для измерения напряжения и сопротивления изоляции в установках переменного тока.

Меггер следует включать по схеме, указываемой обычно на крышке корпуса.

При измерении напряжения в установках постоянного тока (фиг. 60) следует пользоваться зажимами В и С, присоединяя отрицательный провод к зажиму В и положительный к зажиму С и включая, таким образом, вольтметр прибора между проводами установки. Рукоятку прибора при этом нельзя вращать, кнопку Т не следует нажимать.



Фиг. 60. Схема меггера:

V—вольтметр; D—магнитоэлектрический генератор постоянного тока; R_S —защитное сопротивление; R_V —сопротивление вольтметра; Т—кнопка; А, В и С—зажимы для присоединения прибора при измерениях.

При измерении сопротивления изоляции установки постоянного тока, находящейся в работе, сначала измеряют напряжение установки, как указано выше, а затем напряжение между каждым из проводов и землей.

Зная показания вольтметра для трех замеров, а также сопротивление самого вольтметра R_V , сопротивление изоляции подсчитывают по следующим формулам:

сопротивление изоляции положительного провода

$$R_+ = R_V \left(\frac{U - U_+}{U_-} - 1 \right);$$

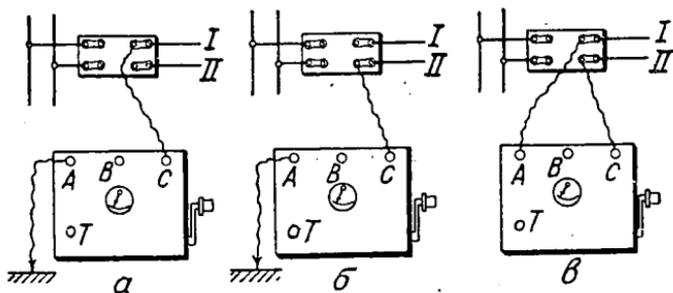
сопротивление изоляции отрицательного провода

$$R_- = R_V \left(\frac{U - U_-}{U_+} - 1 \right);$$

сопротивление изоляции всей установки

$$R_{уст} = R_V \left(\frac{U - U_+ - U_-}{U_+ + U_-} \right);$$

где U — измеренное напряжение между проводами;
 U_+ — то же между положительным проводом и землей;
 U_- — то же между отрицательным проводом и землей.

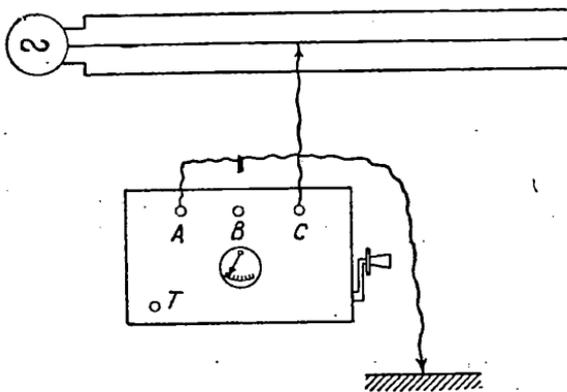


Фиг. 61. Схема измерения сопротивления изоляции меггером:

а—провода *I* относительно земли; *б* — провода *II* относительно земли; *в*—провода *I* относительно провода *II*.

При измерении сопротивления изоляции проводов, не находящихся под напряжением, прибор включают, как показано на фиг. 61.

Затем нажимают кнопку *T* и вращают рукоятку прибора с равномерной скоростью так, чтобы стрелка стала на нуле. После этого отпускают кнопку *T*, продолжая вращать с той же скоростью рукоятку. Отклонение стрелки прибора даст непосредственно сопротивление изоляции в мегомах. Так же поступают и при испытании изоляции обмотки электромашин и электрооборудования. Испытуемую обмотку соединяют с зажимом *C*, а корпус, по отношению к которому производится испытание изоляции обмотки, с зажимом *A*.

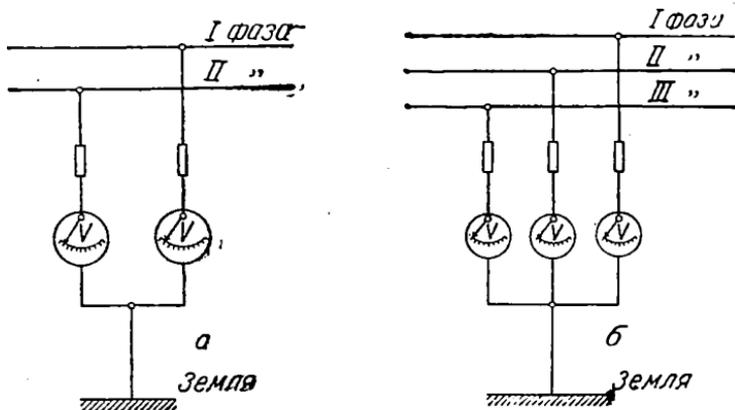


Фиг. 62. Измерение сопротивления изоляции в установках трехфазного тока.

В установке трехфазного тока, находящейся в работе, можно определить только общее сопротивление изоляции всей установки. Включение прибора осуществляется по схеме, приведенной на фиг. 62, причем зажим *C* можно присоединять к любому проводу. Измерение выполняется аналогично предыдущему. Производство измерений возможно лишь при условии, что напряжение установки не превышает пределов измерения прибора.

Сопротивление изоляции следует определять не только между проводами и землей, но и между каждым двумя проводами разного потенциала. При этом все лампы, электродвигатели и прочие приемники тока, а также трансформаторы должны быть отключены от сети, а все части арматуры, наоборот, должны быть присоединены, все плавкие части предохранителей вставлены, а выключатели замкнуты. Цепи с последовательным включением приемников при измерении изоляции, однако, должны быть разомкнуты лишь в одном месте, по возможности ближе к середине.

При измерении сопротивления изоляции необходимо отрицательный зажим прибора соединять с испытуемым проводом, а положительный — с землей. Это обуславливается тем, что вследствие электролиза в почве при прохождении тока на отрицательном полюсе прибора



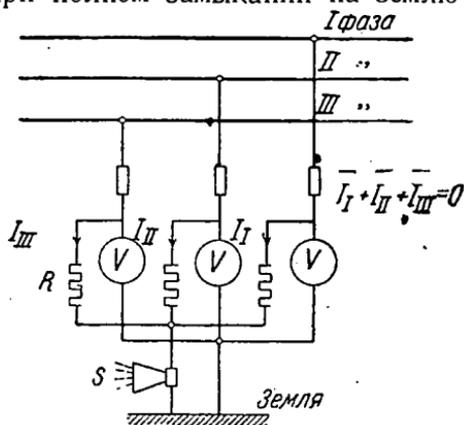
Фиг. 63. Схема включения указателей земляного сообщения.

происходит окисление металла, увеличивающее сопротивление контакта между полюсом и землей. Ухудшение же контакта искажает показания прибора и не дает истинного представления о состоянии изоляции. При соединении положительного полюса прибора с землей это явление не наблюдается.

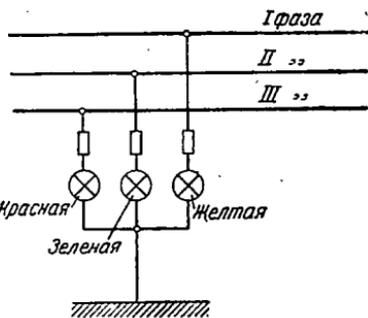
Вследствие того, что ток, даваемый меггером, является пульсирующим, стрелка меггера при измерении длинных кабелей из-за большой емкости их может дать отклонения даже при исправной изоляции.

В силу недостаточно высокого напряжения меггер дает возможность находить только грубые дефекты в изоляции. Поэтому, если требуется точная проверка состояния изоляции линий высокого напряжения, применяют кенотрон, представляющий собой выпрямительную установку, которая включается в сеть через специальный повысительный трансформатор и дает постоянный ток высокого напряжения порядка рабочего напряжения проверяемой высоковольтной установки.

Указатели земляного сообщения. Для постоянного контроля за состоянием изоляции установок с изолированным нулем, находящихся в работе, применяют указатели земляного сообщения. В качестве таких указателей обычно используют вольтметры, включаемые по одной из схем, данных на фиг. 63, а и б. При исправной изоляции в установке постоянного тока каждый из вольтметров покажет половину рабочего напряжения, если вольтметры одинаковы, а в установке трехфазного тока — фазовое напряжение. В случае повреждения изоляции вольтметр, присоединенный к поврежденному проводу, даст тем меньшее показание, чем больше повреждение изоляции. В предельном случае при полном соединении провода с землей этот вольтметр даст показание нуль. Показания вольтметров, присоединенных к проводам с неповрежденной изоляцией, будут, наоборот, тем выше, чем больше повреждение другого провода, т. е. при полном замыкании на землю вольтметры неповрежденных фаз дадут полное рабочее напряжение.



Фиг. 64. Сигнальное устройство с сиреной: R —сопротивление; S —сирена.



Фиг. 65. Сигнальное устройство с лампочками.

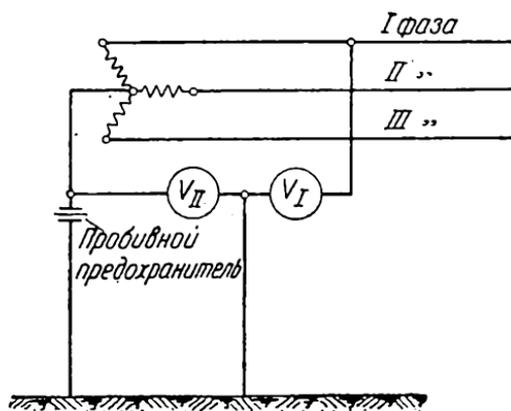
Таким образом в установке постоянного тока с рабочим напряжением в 220 В при исправной изоляции каждый вольтметр показывает 110 В; при полном замыкании одного провода на землю один вольтметр покажет нуль, а другой 220 В. В установке трехфазного тока с рабочим напряжением 380 В при удовлетворительной изоляции каждый вольтметр показывает 220 В; в случае полного замыкания на землю один вольтметр покажет нуль, а два другие 380 В.

Иногда для облегчения надзора на расстоянии за состоянием изоляции указанное контрольное устройство дополнительно снабжают или сиреной (фиг. 64) или цветными лампочками (фиг. 65). В нормальных условиях через сирену ток не проходит, так как в случае одинакового сопротивления изоляции результирующий ток I_p фазовых токов I_I, I_{II}, I_{III} равен нулю. При повреждении изоляции одной из фаз равновесие токов нарушится, через сирену пойдет ток и сирена даст звуковой сигнал, слышимый на большом расстоянии.

Окраску электрических лампочек, дающих световой сигнал, принимают согласно проекту ОСТ (желтая — I фаза, зеленая — II фаза, красная — III фаза). По затуханию лампочек можно издала судить о поврежденной фазе. В нормальных условиях все лампочки должны гореть одинаково ярко. При замыкании фазы лампочка поврежденной фазы потухнет, а лампочки неповрежденных фаз будут гореть с перекалом.

Контроль за состоянием изоляции в установках трехфазного тока может быть осуществлен также при помощи двух одинаковых вольтметров, включенных по схеме, приведенной на фиг. 66, между нулевой точкой и любой фазой.

В нормальных условиях каждый вольтметр показывает половину фазового напряжения. При замыкании на землю фазы I, с которой



Фиг. 66. Включение земляных вольтметров для контроля пробивного предохранителя.

соединен вольтметр V_I , этот вольтметр покажет нуль, а вольтметр V_{II} , присоединенный к нулевой точке, покажет полное фазовое напряжение. При замыкании на землю фаз II или III (не соединенных с вольтметром) вольтметр V_I покажет рабочее напряжение, а вольтметр V_{II} — фазовое. Наконец, при замыкании на землю нулевой точки (что может иметь место при пробое пробивного предохранителя) вольтметр V_{II} покажет нуль, а V_I — полное фазовое напряжение.

Поэтому данный способ контроля наиболее целесообразен для установок, где нулевая точка изолирована от земли при помощи пробивного предохранителя¹.

3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Выполненное по всем указанным правилам защитное заземляющее устройство после тщательного наружного осмотра должно быть проверено экспериментально. При этом может оказаться, что величина измеренных сопротивлений превысит расчетные данные, что может вызвать повышение напряжения прикосновения на заземленных объектах. Для устранения обнаруженных дефектов на основании осмотра и полученных результатов испытания надо дополнить необ-

¹ Пробивной предохранитель, как известно, ставят для защиты на случай перехода высокого напряжения в сеть низкого. В нормальных условиях пробивной предохранитель изолирует нулевую точку от земли, а в случае появления в сети высокого напряжения он пробивается и нулевая точка, таким образом, заземляется. Вследствие этого установка автоматически отключается.

ходимое по расчету количество заземлителей и включить их в общую заземляющую систему.

В отношении зануления следует измерить напряжение в нулевом проводе, проверить действие предохранителей и автоматов в условиях замыкания провода на зануленные объекты.

Вследствие того, что сопротивление заземлителей меняется по временам года в связи с различными метеорологическими условиями, сопротивление защитного заземления необходимо измерять не реже двух раз в год, а для наиболее ответственных производств и чаще по согласованию с местной администрацией.

Все результаты измерений, наружных осмотров должны заноситься в специальный журнал с указанием даты, места производства измерений, осмотров, обнаруженных недостатков, принятых мер и результатов их.

Ниже указаны наиболее целесообразные и распространенные методы измерения сопротивления заземления.

При определении сопротивления заземления, независимо от применяемого способа измерения, требуется наличие трех «земель», т. е. кроме измеряемого заземлителя необходимо иметь два вспомогательных.

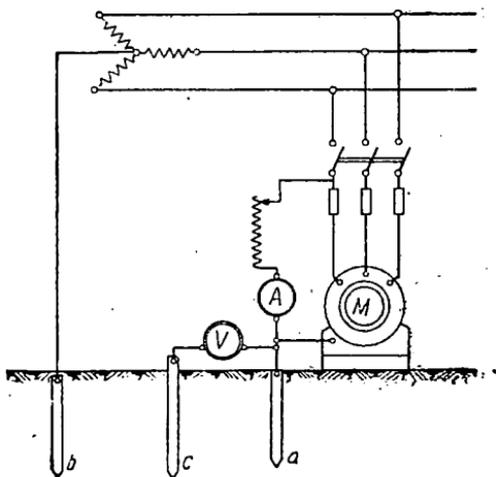
Метод амперметра и вольтметра

Этот метод наиболее прост, удобен и достаточно точен для практических измерений. Сущность его заключается в определении тока, протекающего через измеряемый заземлитель, и напряжения на нем по отношению к достаточно удаленной точке производят соединение по схеме, показанной на фиг. 67. От предохранителей один из проводов от источника тока присоединяется через амперметр и реостат к заземлителю *a*, сопротивление которого хотят измерить, а другой — к вспомогательному заземлителю *b*.

Вольтметр включается между измеряемым заземлителем и зондом *c*, удаленным от первого не менее чем на 10—20 м.

Процент ошибки при производимом измерении будет тем больше, чем ближе измеряемый заземлитель находится к зонду и вспомогательному заземлителю.

В табл. 22 даны расстояния между измеряемым и вспомогательным заземлителями и зондом, при соблюдении которых ошибка измерения не превзойдет 5—10%.



Фиг. 67. Схема измерения заземления методом амперметра и вольтметра.

Рассматриваемый тип заземлителя	Расстояние, м		Процент ошибки, получающейся при данных расстояниях при измерениях в однородном грунте
	между измеряемым и вспомогательными заземлителями	от измеряемого заземлителя до зонда с нулевым потенциалом	
Одна труба	{ 30 30	15 30	До 10 » 5
Полоса до 10 м длиной . . .	{ 40 70	20 35	» 10 » 5
Полоса до 20 м длиной . . .	{ 80 150	40 115	» 10 » 5
Ряд труб	80	40	» 10
Протяженные заземлители-кабели, водопровод, полосы длиной до 100 м и более сложные системы заземлителей .	200	100	» 10

Произведя соединения, рубильник замыкают, при помощи реостата устанавливают ток, равный номинальному току предохранителей, и отмечают показания приборов, которые позволяют найти искомое сопротивление заземления в омах. Для этого показания вольтметра в вольтах надо разделить на показания амперметра в амперах, тогда сопротивление измеряемого заземлителя

$$R_x = \frac{U}{I} \Omega.$$

При определении сопротивления заземления указанным методом для большей точности результатов измерения необходимо пользоваться электростатическими вольтметрами, сопротивление которых достаточно велико по сравнению с сопротивлением растеканию зонда¹.

Метод амперметра и лампового (катодного) вольтметра

В тех случаях, когда электростатический вольтметр отсутствует или приходится измерять малые величины сопротивления заземления, весьма целесообразно применять метод амперметра—вольтметра, используя ламповый или катодный вольтметр. В качестве катодного вольтметра используется трехэлектродная катодная лампа, обладающая высоким сопротивлением 10^4 — $10^6 \Omega$.

Измеряемое напряжение подводится к зажимам лампы: сетка—катод. При изменении напряжения меняется ток в цепи сетка—регистрирующий гальванометр, градуированный по точному вольтметру на вольты и указывающий непосредственно измеряемое напряжение в В. Катодный вольтметр дает незначительную погрешность из-

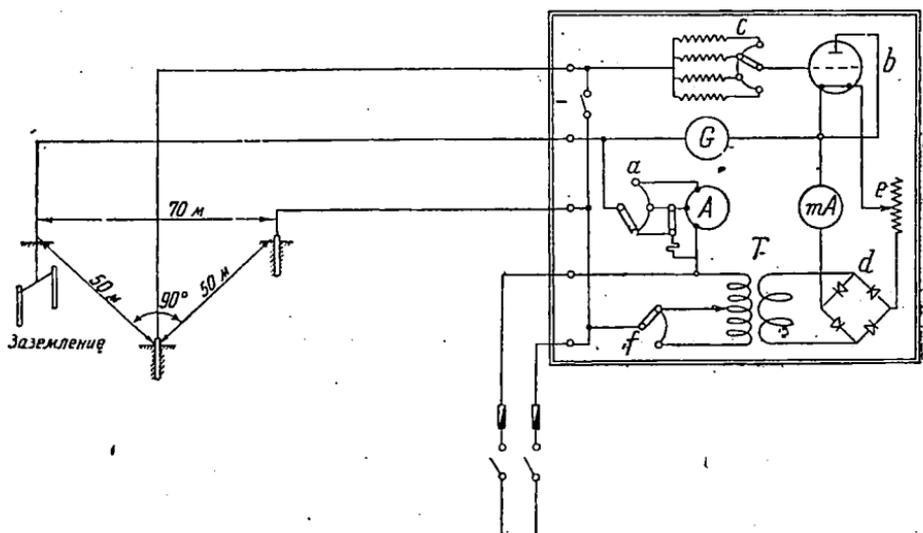
¹ В тех случаях, когда нулевая точка сети изолирована или заземлена через пробивной предохранитель, для возможности производства измерения сопротивления заземления следует временно заземлить или нулевую точку или непосредственно рабочий провод.

мерения, не зависящую от величины сопротивления; она ограничивается пределами погрешности самого вольтметра (не свыше 10%).

Прибор для измерения сопротивления заземления, разработанный инж. Латмановым М. В. (фиг. 68), работает по принципу амперметра—вольтметра, причем в качестве последнего использована катодная лампа.

Прибор состоит из двух электрических цепей: одна служит для измерения тока, протекающего через измеряемое заземление, а другая— для измерения напряжения.

Цепь тока состоит из амперметра и переключающего устройства, при помощи которого можно изменять пределы измерения амперметра от нуля до 1—5—25 А.



Фиг. 68. Схема измерения при помощи катодного вольтметра.

Цепь вольтметра состоит из трехэлектродной катодной лампы *b* и переключающего устройства *c* (4 сопротивления), позволяющего менять пределы измеряемых напряжений от 15 до 300 В.

Питание цепи накала лампы осуществляется через понижающий трансформатор *T* 110—220/5 В и металлический (купроксный) выпрямитель *d*.

При помощи реостата *e* и по показанию миллиамперметра можно регулировать величину тока накала лампы.

При помощи переключателя *f* трансформатор может быть включен на 110 или 220 В.

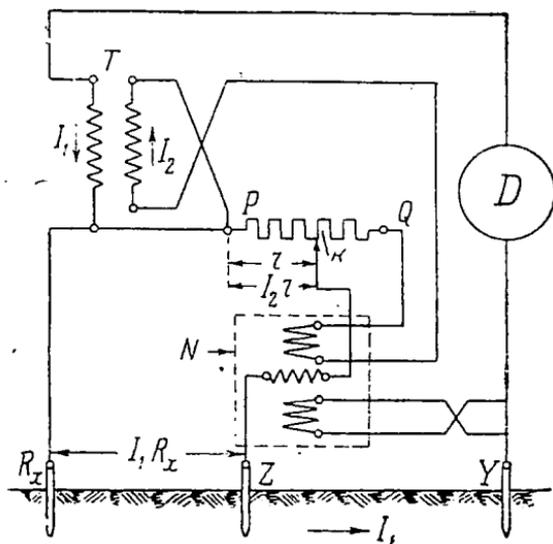
Вся схема смонтирована в виде портативного прибора в деревянном футляре. На крышку прибора вынесены все необходимые для присоединения зажимы, рукоятки для переключения приборов регулировки сопротивления и шкалы измерительных приборов.

Прибор присоединяется к сети через плавкие предохранители и двухполюсный рубильник.

Измерение сопротивления при помощи универсальных приборов

Измерение сопротивления заземления при помощи специальных универсальных приборов представляет значительные удобства. Эти приборы обычно довольно портативны, снабжены источником тока и дают измеряемое сопротивление непосредственно в Ω .

Подобный прибор в исполнении фирмы Сименс-Гальске (фиг. 69) имеет источник тока в виде магнитоэлектрической динамомашинки D , трансформатора T , переменного сопротивления PQ со скользящим контактом K и нулевого прибора N .



Фиг. 69. Схема измерения сопротивления заземления при помощи универсального прибора Сименс-Гальске.

Последний состоит из двух неподвижных катушек и одной подвижной, включенной между контактом K переменного сопротивления и зондом Z .

При измерении сопротивления заземления соединения производят, как указано на фигуре.

Ток от индуктора проходит через измеряемое сопротивление R_x и вспомогательное заземление Y .

Передвигая контакт K , устанавливают стрелку нулевого прибора на нуле. Это будет в том случае, когда падение напряжения, вызываемое прохождением тока через измеряемое заземление R_x , равное $I_1 R_x$, будет равно падению напряжения в переменном сопротивлении между точкой P и подвижным контактом K , т. е. будет равно $I_2 r$.

Если $I_1 R_x = I_2 r$, то

$$R_x = \frac{I_2}{I_1} \cdot r.$$

Градуируя сопротивление PQ в зависимости от соотношения токов $\frac{I_2}{I_1}$, получают искомое сопротивление непосредственно отсчетом. Перемещая контакт K до тех пор, пока стрелка прибора не установится на нуле, получают величину измеряемого сопротивления непосредственно на шкале прибора.

Рукоятка индуктора вращается со скоростью 2 об/сек., при которой получается ток частотой порядка 35 пер/сек.

Метод трех земель

Метод трех земель применяют в тех случаях, когда измерить сопротивление заземления указанными выше способами невозможно. Для измерения этим методом по возможности на равном расстоянии от измеряемого заземления забивают два вспомогательных заземлителя так, чтобы заземлители образовали равносторонний треугольник. Если это неосуществимо, заземлители можно забить по одной прямой.

Включение производят по схеме, показанной на фиг. 70, между каждой парой заземлителей, отмечая при этом каждый раз показания вольтметра и амперметра.

Разделив показания вольтметра на показания амперметра, в каждом отдельном случае можно получить величину сопротивлений двух последовательно включенных заземлителей. Так, если обозначить через x измеряемый заземлитель, через y и z вспомогательные, то, измеряя напряжение и величину тока для каждой пары заземлителей, получим величины сопротивлений их:

$$R_x + R_y = \frac{U_1}{I_1} = R_1 \text{ (1-е измерение);}$$

$$R_x + R_z = \frac{U_2}{I_2} = R_2 \text{ (2-е измерение);}$$

$$R_y + R_z = \frac{U_3}{I_3} = R_3 \text{ (3-е измерение).}$$

Решая эти уравнения, получим искомое сопротивление растеканию R_x заземлителя:

$$R_x = \frac{R_1 + R_2 - R_3}{2}.$$

Аналогично для вспомогательных заземлителей:

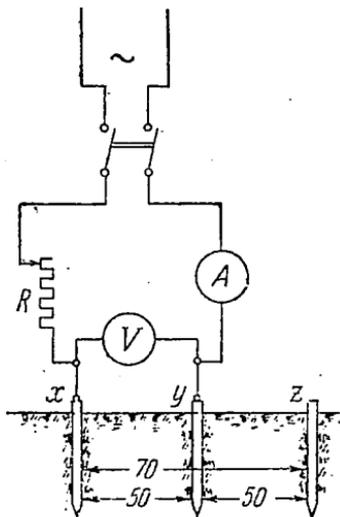
$$R_y = \frac{R_1 + R_3 - R_2}{2};$$

$$R_z = \frac{R_2 + R_3 - R_1}{2}.$$

Включение в сеть при производстве измерения может быть осуществлено или непосредственно, если напряжение сети 110—220 В и сеть не имеет заземленного нуля, или через соответствующий трансформатор, когда нулевая точка сети заземлена.

Реостат R служит для регулировки тока, который должен быть достаточно большим (не менее 5—10 А).

Указанный метод связан с вычислениями и поэтому представляет известные неудобства. Во избежание больших неточностей при произ-



Фиг. 70. Схема измерения по методу трех земель.

водстве измерений необходимо, чтобы сопротивление вспомогательных заземлителей было примерно одинаковым. Это достигается использованием вспомогательных заземлителей, по форме и величине соответствующих измеряемому.

Методом трех земель пользуются для измерения удельного сопротивления почвы.

В качестве заземлителей применяют стальные штанги длиной 3,5—4 м и диаметром 2—3 см.

Определив сопротивление одной из них R (в Ω), по расчетной формуле сопротивления растеканию подсчитывают величину удельного сопротивления почвы:

$$\rho = \frac{2\pi Rl}{\ln \frac{4l}{d}} \Omega/\text{см}.$$

Измерять сопротивление заземления можно также при помощи специальных мостиков (Кольрауша, Вихерта и др.). Этот метод недостаточно точен, и к нему прибегают в тех случаях, когда произвести измерение по указанным выше способам невозможно

VII. ПРОТИВОГРОВОВАЯ ЗАЩИТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Устройство рациональной противогрозовой защиты имеет исключительно важное значение как с точки зрения охраны жизни трудящихся, так и в отношении сокращения материального ущерба, причиняемого грозовыми разрядами народному хозяйству.

Возможность пожаров, взрывов, а также человеческих жертв от действия молнии требует должного внимания к проблеме молнии и защите от нее.

Отсутствие в правилах и нормах соответствующих, имеющих силу закона указаний по защите строений от грозовых разрядов привело к применению на местах не всегда полноценных защитных устройств.

Научно-исследовательская работа, проводимая ВЭИ и техническим отделением Академии наук СССР, значительно расширила и уточнила представления о природе грозовых разрядов, о возможных способах защиты от их действия, а также дала критическую оценку применявшимся и применяющимся способам защиты.

1. МОЛНИЯ И ЕЕ ДЕЙСТВИЕ

Под грозой понимают сложное явление природы, вызываемое возникновением электрических зарядов в атмосфере, при достаточном накоплении которых происходит разряд между двумя разноименно заряженными облаками или между облаком и противоположно заряженной землей.

Молния представляет собой физическое явление бурного разряда скопившегося атмосферного электричества, воспринимаемое нашим зрением в виде огненных полос зигзагообразной, ленточной или четочной формы. Обычно молния сопровождается звуковым эффектом—громом.

Существует ряд научных теорий, объясняющих причины и картину грозовых явлений. С помощью этих теорий на основании научных экспериментов и исследований установлены количественные характеристики молнии, позволяющие производить расчеты устройства необходимой противогрозовой защиты.

Разрушающее действие молнии может выражаться или непосредственно через удар, или косвенно через индукцию, т. е. через влияние на расстоянии.

Непосредственный удар молнии в здание или сооружение при отсутствии противогрозовой защиты или при неудовлетворительном состоянии ее обычно сопровождается пожарами, разрушениями и поражением людей, находящихся в непосредственной близости от места удара.

Статистикой грозových поражений отмечены случаи попадания грозových разрядов внутрь помещения через осветительные и телефонные провода или радиопроводку, при этом люди, находившиеся в непосредственной близости от пути тока, оказывались смертельно пораженными, либо тяжело контуженными.

Молния избирает путь наименьшего сопротивления, проходя через металлические или другие предметы, обладающие высокой проводимостью. При этом проводимость среды, через которую происходит грозовой разряд, определяется не только непосредственным электрическим сопротивлением пути тока молнии, но и его самоиндукцией. Последнее имеет большее значение, чем первое.

Этим объясняются те кажущиеся на первый взгляд непонятными явления, когда молния перескакивает со специальных проводов противогрозовой защиты в местах острых изгибов их, где создается значительная самоиндукция, препятствующая прохождению тока молнии. Становится понятным также поражение молнией низменных мест, обладающих наименьшим сопротивлением грунта по сравнению с более высокими. Наконец, становится понятным, почему молния, ударив в дерево, обладающее высоким сопротивлением корней, перебрасывается через значительные воздушные расстояния (порядка нескольких метров) на соседние дома, имеющие лучше соединение с землей (через систему водопроводов или сточных ям и т. п.).

Действие молнии выражается в термическом и механическом эффекте. Огромное количество тепла, выделяемое током молнии, при наличии вблизи легко воспламеняющихся предметов является причиной возникновения пожаров. Удары молнии, кроме пожаров, могут также вызвать значительные разрушения, тем большие, чем меньшей проводимостью обладает объект, подвергнувшийся удару.

Наиболее подвержены опасности разрушения объекты, которые обладают большим сопротивлением прохождению тока молнии и которые одновременно, будучи расположены выше окружающих предметов, более подвержены ударам молнии (кирпичные фабрично-заводские трубы, башни, колокольни и др.).

Напротив, на металлических предметах и проводах достаточного сечения никаких разрушающих следов от тока молнии не обнаруживается.

Наблюдавшиеся иногда случаи вырывания крепления проводов, изгибания их, повидимому, объясняются действием электродинамических сил тока молнии подобно тому, как это наблюдается в электрических установках от тока короткого замыкания.

Однако грозové разряды представляют наибольшую опасность в отношении пожаров, а не разрушений.

2. ЗАЩИТА ОТ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ МОЛНИИ

Для защиты зданий и сооружений от разрушающего воздействия первичных и вторичных проявлений молнии должны быть приняты соответствующие меры.

Система всех мероприятий, удовлетворяющих этой цели, составляет противогрозовую защиту (грозозащиту).

Грозозащита, предназначенная для восприятия грозового разряда, молнии и безопасного отвода его в землю, называется молниеотводом. Этот термин более правилен, чем «громоотвод», так как гром отвести нельзя.

Таким образом молниеотвод представляет собой заранее предусмотренный и осуществленный путь с наименьшим сопротивлением для тока молнии, благодаря которому при грозовом разряде на объект молния не может причинить разрушения.

Всякий молниеотвод, независимо от конструктивного выполнения, состоит из молниеприемника, токоотвода и заземлителей (или заземления).

Молниеприемники, или молниеуловители, являются высшей частью молниеотводного устройства и служат для приема (улавливания) грозового разряда молнии и подвода его к другим частям грозозащитного устройства.

Токоотводы являются элементом защиты, соединяющим молниеприемник с заземлителями и предназначенным для безопасного отвода тока молнии, принятого молниеуловителем, в заземляющее устройство.

Заземлители представляют наименее высокую часть защитного устройства, помещенную в землю и служащую для создания возможно меньшего сопротивления между токоотводом и землей, т. е. для обеспечения удовлетворительного действия громоотвода в целом.

В качестве материала при устройстве противогрозовой защиты применяется оцинкованное железо различного сечения и формы в зависимости от назначения (железные кабели, полосовое и круглое железо, трубы, плиты, сетки и т. д.). При этом сечение всех элементов молниеотвода выбирают, учитывая не только нагревание током молнии, но и требования наибольшей механической прочности и др.

Поперечное сечение железных проводов должно быть не менее 100 мм^2 для неразветвленных и 50 мм^2 для разветвленных проводов.

От широкого использования меди приходится отказаться вследствие ее дефицитности и высокой стоимости. В случае использования медных проводов сечение их по сравнению с железными нужно уменьшить вдвое, т. е. для неразветвленных не менее 50 мм^2 , а для разветвленных не менее 25 мм^2 .

Учитывая, что ток молнии является током высокой частоты и не может проникать внутрь проводов, а распределяется на поверхности их, вместо массивных проводов, где это возможно, следует применять

многожильные оцинкованные железные кабели, так как поверхность кабеля при одинаковом сечении с массивным проводом значительно больше. В этом же отношении массивные провода прямоугольных сечений предпочтительнее проводов круглого сечения.

Соединения отдельных частей молниеотводного устройства должны обладать высокой надежностью и обеспечивать неразрывность всей защитной системы в целом, так как в противном случае молния может уклониться от предназначенного ей пути и в месте разрыва произойдет искровой разряд с опасными последствиями. Для обеспечения прочного и надежного контакта необходимо все соединения выполнять сваркой и только в том случае, если это невозможно — путем свинчивания или склепывания. В последнем случае необходимо выполнять соединение внахлестку и принимать меры против самопроизвольного ослабления гаек скрепляющих болтов.

Площадь контакта должна быть не меньше двойного сечения соединяемых элементов.

Долговечность молниеотводного устройства обеспечивается принятием соответствующих мер защиты от химических и механических повреждений. Для защиты от коррозии железо должно быть хорошо оцинкованным; места соединения железа с медью нужно защищать от проникновения влаги путем устройства уплотнений.

Все подсобные металлические части, используемые при устройстве молниеотводов, должны быть также хорошо защищены от корродирующих влияний атмосферы. Для этого их окрашивают масляной краской или покрывают асфальтовым лаком.

Все присоединения к заземлителям, находящиеся в земле, для защиты от разрушающего влияния влаги почвы кроме оцинковки должны быть надежно покрыты асфальтовым лаком или смолой, а при наличии в почве кислот для покрытия допускается и цемент.

Защита от механических повреждений достигается правильным размещением отдельных элементов молниеотводного устройства на защищаемых сооружениях и надежным креплением их.

Части молниеотводов, находящиеся на высоте 2,5 м и на глубине 20—30 см от поверхности земли, должны быть защищены от механических повреждений. Для этого обычно применяют металлические трубы, угловое, швеллерное железо или деревянное покрытие.

В литературе имеются определенные указания на недопустимость использования труб в качестве ограждения токоотводов, так как при наличии трубы (или других металлических ограждений) на пути тока молнии может создаться такое большое индуктивное сопротивление, что молния перебросится с токоотвода на защищаемое сооружение, что и наблюдалось на практике.

Для предотвращения этого рекомендуется при наличии металлических ограждений токоотвод надежно соединять с самим ограждением.

3. СИСТЕМЫ ГРОЗОЗАЩИТЫ

Существуют различные способы защиты зданий и сооружений от непосредственных грозовых разрядов.

Основными типами грозозащиты являются: 1) диверторная, или стержневая; 2) антенная; 3) сеточная.

Кроме того, существуют промежуточные типы, представляющие сочетание основных типов.

Диверторная, или стержневая, защита является наиболее простой. По существу дивертор представляет собой усовершенствованный и удешевленный громоотвод Франклина.

Эта защита выполняется в виде хорошо заземленных металлических или деревянных штанг (диверторов) с укрепленными на них молниеприемником и проводами токоотвода (при деревянных конструкциях). Заостренная или выполненная в форме шара верхняя часть металлической штанги служит молниеприемником, а сама штанга — токоотводом.

В том случае, когда дивертор сделан из дерева, в качестве молниеприемника применяют специальный металлический стержень, укрепленный на диверторе и возвышающийся над ним на высоту 1—1,5 м.

Для токоотвода используют специально укрепленные на диверторе провода, сечение которых приведено выше.

Диверторы устанавливают либо на защищаемом объекте, либо на некотором расстоянии от него.

Деревянные опоры диверторной защиты имеют существенное значение в тех случаях, когда дивертор устанавливают непосредственно на защищаемом объекте (сооружение, здание) и когда необходимо предотвратить возможность протекания тока молнии через объект. Диверторы значительной высоты, находящиеся на большом расстоянии от защищаемого объекта, выполняются в виде деревянных столбов на пасынках или в виде металлических и железобетонных мачт.

Почти столетний опыт использования диверторов в качестве «громоотводов» определил их защитные свойства и установил правило Шарля, согласно которому все предметы, находящиеся в конусе, вершина которого совпадает с вершиной дивертора, а радиус основания равен высоте дивертора, защищены при грозовых разрядах.

Пространство, защищаемое дивертором от непосредственных грозовых разрядов, называется защитной зоной.

Для характеристики защитных зон вводят коэффициенты защиты k_3 , которые характеризуют отношение радиуса защищаемого конуса к высоте дивертора, и углы защиты, т. е. угол между высотой конуса и его образующей (фиг. 71).

При $r = h$

$$k_3 = \frac{r}{h} = 1 \quad \text{и} \quad \alpha = 45^\circ.$$

Анализ грозových поражений показал, что коэффициенты защиты во многих случаях превосходят установленные правилом Шарля значения.

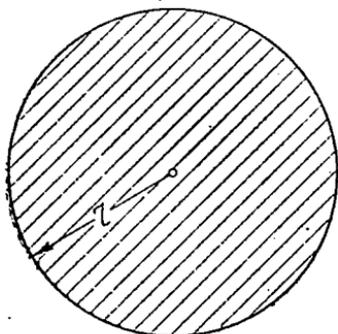
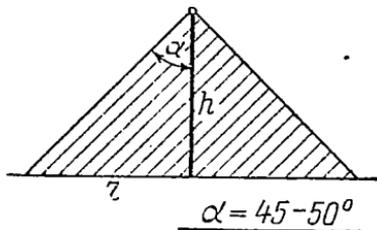
Поэтому для уменьшения затрат при устройстве молниеотводов указанные выше значения k_3 и α считают возможным обеспечивать только для особенно ответственных сооружений. Для менее ответственных сооружений эти величины можно увеличивать.

В случае применения нескольких диверторов зона защитного действия их увеличивается (фиг. 72).

При этом устанавливается для особо ответственных сооружений: $\alpha = 45^\circ$ и $\beta = 50^\circ$ и для менее ответственных $\alpha = 50^\circ$ и $\beta = 55^\circ$.

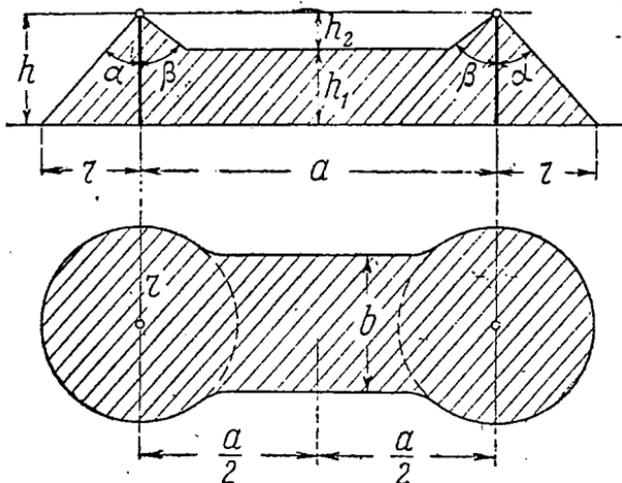
Число диверторов необходимой высоты, исключающее возможность грозového разряда в защищаемое сооружение, выбирают на основании установленных практикой величин защитных зон.

Располагать диверторы нужно так, чтобы обеспечить их максимальную эффективность. Согласно исследованиям лучше всего устанавливать



Фиг. 71. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода.

эффективно. Согласно исследованиям лучше всего устанавливать



Фиг. 72. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода.

диверторы по углам защищаемого сооружения или здания, так как углы обычно являются наиболее поражаемыми молнией местами.

При установке диверторов вне защищаемого объекта необходимо учитывать возможность перехода молнии с молниеотвода на защищаемое сооружение. Для предотвращения этого необходимо, чтобы расстояние между диверторным молниеотводом и сооружением было

$$S \geq 2,0 \left[1,5 - \frac{300 - R}{300 + R} \left(1,5 - \frac{h_0}{150} \right) \right] \text{ м,}$$

где S — расстояние от молниеотвода до защищаемого сооружения в м; R — сопротивление заземления молниеотвода в Ω ; h_0 — высота сооружения в м.

Кроме того, нужно обеспечить достаточные проезды, диктуемые требованиями противопожарной техники. Во всех случаях, где требуется проезд пожарных автомашин, указанное расстояние должно быть не менее 5—6 м.

Расстояние a между диверторами, выбранное в соответствии с высотой и шириной защищаемого объекта, должно для особо ответственных сооружений удовлетворять условию $a \leq 4h_a$, а для менее ответственных — $a \leq 6h_a$, где h_a — активная высота дивертора, равная превышению его высоты h над высотой защищаемого объекта h_0 ; $h_a = h - h_0$.

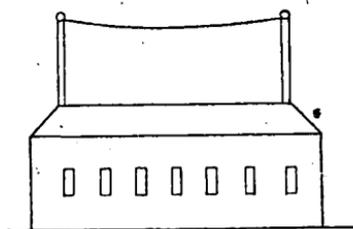
Следует иметь в виду, что с точки зрения надежности защиты целесообразнее применять значительное количество диверторов небольшой высоты, нежели поступать наоборот.

Антенная защита. В качестве молниеприемников в антенной защите используют один или несколько проводов, горизонтально натянутых над защищаемым сооружением. Провода укрепляют на двух специальных опорах, причем сечение проводов должно быть не менее 70 мм^2 для железа и 50 мм^2 для меди.

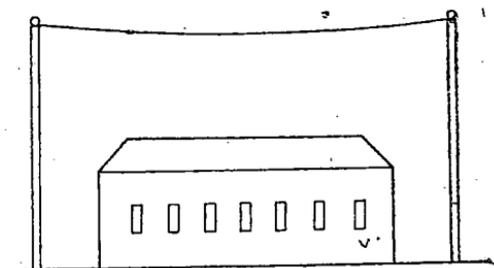
Опоры устанавливают либо непосредственно на защищаемом объекте (фиг. 73, а), либо выполняют в виде отдельных мачт (фиг. 73, б), располагаемых на расстоянии и не связанных с объектом.

Для изоляции токоотвода от защищаемого объекта опоры, устанавливаемые на объектах, должны быть из изолирующего материала (дерева).

Защитная зона антенного молниеотвода имеет форму трехгранной призмы (фиг. 74). Угол защиты α должен быть не более $20\text{—}30^\circ$.



а



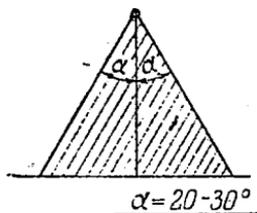
б

Фиг. 73. Антенная защита.

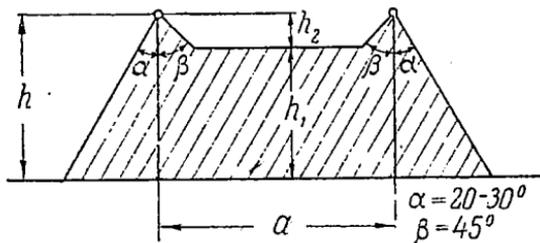
Если защита осуществляется при помощи двух антенных молниеотводов, то защитная зона будет иметь форму согласно фиг. 75, а защитные углы $\angle \alpha = 20 \div 30^\circ$, $\angle \beta = 45^\circ$.

Чтобы исключить возможность грозового разряда в защищаемые объекты, высоту антенны молниеотводов нужно выбирать в соответствии с указанными выше величинами защитных углов и высотой защищаемых объектов.

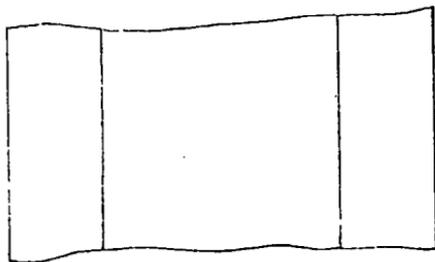
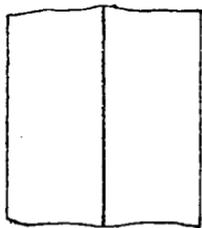
При этом допустимое расстояние a между двумя параллельными молниеотводами должно быть для особенно ответственных сооружений $a \leq 2 h_a$, а для менее ответственных $a \leq 3 h_a$.



Фиг. 74. Защитная зона одиночного антенного молниеотвода.



Фиг. 75. Защитная зона двойного антенного молниеотвода.



Во избежание перехода разряда с молниеприемника на защищаемый объект необходимо, чтобы провода антенны в самой нижней точке были удалены от защищаемого объекта на расстояние не менее

$$d = 0,1 \left(\frac{l_a}{2} + l_T \right) \text{ м,}$$

где l_a — длина проводов антенного молниеприемника в м; l_T — длина проводов каждого токоотвода.

Применение молниеприемника антенного типа целесообразно для защиты узких и длинных сооружений с большой площадью.

Сеточная защита по существу представляет видоизмененную клетку Фарадея. Она устраивается в виде одной или двух металлических сеток с размерами клеток от нескольких метров до десятков сантиметров (фиг. 76).

Для крупных сеток, предназначенных для восприятия грозового разряда, сечение проводов сетки должно быть не менее 50 мм^2 для железа и не менее 25 мм^2 для меди.

Сеточные молниеприемники прочно укрепляют над защищаемым объектом либо на специальных опорах, устанавливаемых на расстоянии от защищаемого объекта, либо на деревянных опорах непосредственно на объекте.

Сеточная защита будет тем более совершенной, чем большую поверхность защищаемого объекта она охватывает, т.е. чем больше она приближается к клетке Фарадея и чем мельче сетка. В этом случае молниеотвод защищает установку не только от непосредственного грозового разряда, но и от вторичных проявлений его через электростатическую индукцию.

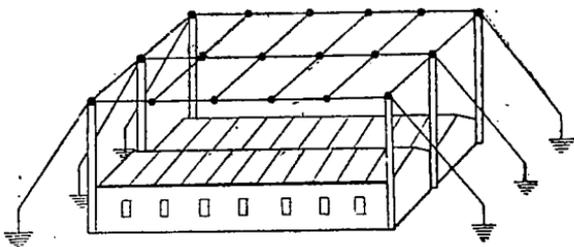
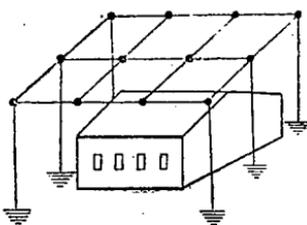
Наименьшее допустимое расстояние d между сеткой и защищаемым объектом устанавливается:

$$d = 0,8 \left(\frac{l_a}{2} + l_r \right) \text{ м.}$$

Во всяком случае это расстояние не должно быть менее 4 м. Расстояние a между параллельными проводами сетки должно быть для особенно ответственных сооружений $a \leq 3h_a$, для менее ответственных $a \leq 6h_a$.

Сеточная защита применяется в тех случаях, когда нужно защитить объекты с большой площадью и нежелательно иметь высокие диверторы.

Кроме описанных основных способов защиты, в тех случаях, когда возможность прямого удара в здание не связана с опасностью взрыва или пожара здания, для устройства молниеотвода прибегают к использованию всех металлических частей (крыши, железные колонны, трубопроводы и пр.). Для этого все металлические части здания: крышу, балки, колонны, водосточные трубы, арматуру, водопровод, канализационные трубы, соединяют в одну систему и надежно заземляют. При указанном способе крыша играет роль молниеприемника, водосточные трубы и металлические части стен — токоотводов, а для заземления используется либо водопровод, либо специальные заземлители.



Фиг. 76. Сеточная защита.

В некоторых случаях в качестве молниеприемников используются провода молниеотвода, проложенные на наиболее возвышенных частях кровли защищаемого здания.

Защита системы Мельсанса, получившая широкое распространение, является нерациональной. Она представляет собой проводочную сетку с расположенными в узловых точках ее пучками небольших штанг молниеприемников. Сетка укрепляется непосредственно на кровле защищаемого сооружения и, не будучи изолирована от последней, представляет определенную опасность для огне- и взрывоопасных помещений.

4. УСТРОЙСТВО ТОКООТВОДОВ И ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

Токоотводы. При устройстве токоотводов нужно применять провода достаточного сечения. В практике неоднократно наблюдались случаи не только расплавления проводов, но и полного их испарения под тепловым действием тока молнии.

При выборе сечения следует исходить не только из величины допустимого нагрева провода током молнии, но и из условий достаточной механической прочности, а также учитывать возможность коррозии.

Токоотводы необходимо устраивать по возможности со всех сторон защищаемого сооружения на расстоянии не более 15—20 м один от другого.

Во всех случаях, где это не угрожает пожаром или взрывом, в качестве токоотводов необходимо использовать все имеющиеся на сооружении металлические конструкции (колонны, фермы, водосточные трубы и т. д.). При этом, чтобы создать молнии путь наименьшего сопротивления, необходимо не только вести токоотвод по кратчайшему пути, но, главным образом, избегать углов, резких поворотов, делая плавные переходы от токоотводов, расположенных на крыше, к токоотводам стенным и далее к заземлителям.

При необходимости изгибать провода последние нужно прокладывать с возможно большим радиусом закругления, так как в противном случае молния встретит большое сопротивление изгибов и, избрав себе путь наименьшего сопротивления, может легко перескочить на защищаемое сооружение.

Для уменьшения сопротивления следует применять провода с большой поверхностью, т. е. многожильные вместо массивных, прямоугольные вместо круглых.

Заземлители. При всех рассмотренных системах грозозащиты правильное устройство заземления имеет чрезвычайно важное значение для удовлетворительной работы молниеотвода.

Заземлители вместе с проводами, соединяющими их с токоотводами, являются основной частью грозозащиты, предназначенной не только для безопасного отвода тока молнии в землю, но и для обеспечения равномерного распределения его в земле. Поэтому переходное сопротивление молниеотводного устройства должно быть наименьшим из

всех ближайших переходных сопротивлений, так как в противном случае грозовой разряд может произойти не в молниеотвод, а непосредственно в близко расположенные сооружения, имеющие меньшие переходные сопротивления.

С другой стороны, чем выше переходное сопротивление заземлителей молниеотвода, тем выше будет напряжение непосредственно в почве и заземлителях при грозовом разряде и тем большей опасности подвергнутся люди, находящиеся вблизи.

Если наименьшее значение тока молнии принять 10 000 А, а сопротивление растеканию заземлителей $R_a = 20 \text{ }\Omega$, то напряжение, возникающее непосредственно в месте перехода тока в землю, составит 200 000 В по отношению к достаточно удаленной точке земной поверхности, потенциал которой можно принять равным нулю.

Таким образом вблизи места заземления молниеотвода создается определенная опасность поражения вследствие шаговых напряжений.

Во избежание этого необходимо выравнять потенциал при помощи металлических сеток, полос, связанных с заземлителями в одну систему.

Вследствие указанной опасности подходить во время грозы к заземлителю ближе чем на 10 м не следует.

Таким образом при устройстве грозовой защиты необходимо обращать самое серьезное внимание, чтобы заземлители имели наименьшее переходное сопротивление растеканию по сравнению с заземлителями ближайших объектов.

Следует различать искусственные и естественные заземлители.

В качестве искусственных заземлителей используют железные трубы, рельсы, пластины, сетки, а в качестве естественных — водопроводы, канализационные трубы, насосы, а также и другие металлические предметы, проложенные в почве и соприкасающиеся с хорошо проводящими слоями земли или с грунтовыми водами.

В первую очередь нужно использовать естественные заземлители, конечно, с соответствующего разрешения организации, на обязанности которой лежит наблюдение за состоянием и эксплуатацией данного сооружения.

При отсутствии естественных заземлителей или невозможности использовать их необходимо применять искусственные заземлители. Наилучшими искусственными заземлителями являются газовые трубы или ленты. Размеры и укладку их выбирают так же, как и для защитных заземлений.

5. ЗАЩИТА ОТ ВТОРИЧНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ МОЛНИИ

Как было указано выше, разрушающее действие молнии может проявляться не только при прямых ударах, а и через электростатическую и электромагнитную индукцию.

Электростатическая индукция. Если грозовая туча с определенным электрическим зарядом (например, положительным) находится над каким-либо недостаточно хорошо заземленным

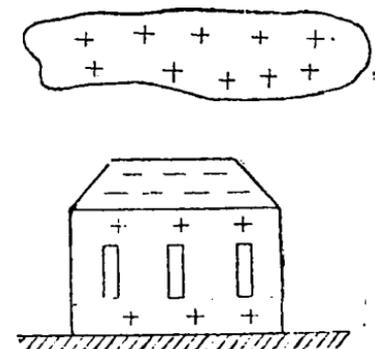
объектом, то на последнем через индукцию возникают электрические заряды, равные зарядам тучи, но разноименных знаков (фиг. 77).

При этом заряды, расположенные ближе к туче, будут иметь разноименные знаки и в данном случае — минус, а наиболее удаленные — плюс. Так как разноименные электрические заряды притягиваются, а одноименные отталкиваются, то заряды на объекте, одноименные с зарядами тучи, как не связанные с ними, уходят в землю. Если объект недостаточно хорошо соединен с землей, то после грозового разряда, происходящего мгновенно, заряды не успеют уйти в землю и, оставаясь некоторое время на объекте, создают разность потенциалов между объектом и землей, т. е., иначе говоря, объект окажется под напряжением по отношению к земле. При достаточной величине этого напряжения между объектом и землей произойдет искровой разряд.

Напряжение может появиться на металлической крыше каменного или деревянного здания по отношению к водопроводной системе или другим хорошо заземленным предметам этого здания.

Здание может оказаться под напряжением даже в том случае, когда заряды индуцируются вне здания, например на воздушную электропроводку, и заносятся в него по электропроводам.

Подобные напряжения и, как следствие их, явление искрообразования представляют большую опасность для



Фиг. 77. Электростатическая индукция.

взрывоопасных и огнеопасных помещений.

В литературе имеются указания, что искрения между токопроводящими предметами могут возникнуть при довольно больших расстояниях. Чем больше расстояние между объектом, на котором возникает напряжение, и землей, тем меньше опасность искрения.

Очевидно, что при хорошем заземлении объекта, на котором могут индуцироваться электрические заряды, искрение возникнуть не может, так как после разряда тучи все оставшиеся на объекте заряды через заземление уйдут в землю, не создавая по отношению к ней опасной разности потенциалов. Поэтому все токопроводящие части огне- и взрывоопасных сооружений и зданий необходимо надежно заземлять и не допускать установки в здании протяженных металлических предметов, изолированных от земли.

Однако, как показывает опыт, даже при наличии хорошо заземленных проводящих частей здания и отсутствии в нем металлических изолированных предметов не исключена возможность разрушений молнией через электромагнитную индукцию.

Э л е к т р о м а г н и т н а я и н д у к ц и я представляет собой явление возникновения электродвижущей силы в каком-либо токо-

проводящем контуре, находящемся в электромагнитном поле тока молнии.

Таким образом, если в здании трубопроводы, кабели и конструкции заземлителей образуют замкнутый контур и если этот контур пересекается линиями магнитного поля, возникающего вокруг тока молнии, то в контуре возбуждается электродвижущая сила, создающая в нем ток.

Возникающий ток может вызвать в местах плохого контакта контура значительный перегрев и создать опасность воспламенения горючих веществ, если они окажутся поблизости. Кроме того, электродвижущая сила электромагнитной индукции при известных условиях может оказаться достаточной для образования искрового разряда через воздушные промежутки между неплотно соприкасающимися частями данного контура и создать опасность взрыва и пожара.

Защита сооружений от указанной опасности путем ограждения металлической сеткой не достигает цели. В этом случае необходимо все металлические протяженные предметы, попадающие в поле тока молнии, соединять между собой так, чтобы они образовали замкнутые контуры, потому что только таким образом можно предотвратить искрение между отдельными токопроводящими системами. Искрение, например, может появиться между оболочками параллельно проложенных кабелей. Для предотвращения этой опасности и подобных ей между параллельно идущими токопроводящими системами в месте сближения на расстоянии 0,5 м и менее следует делать специальные металлические перемычки. При наличии голых проводов или проводов с резиновой изоляцией без защитных металлических оболочек также возможно искрение через электромагнитную индукцию. Поэтому там, где искровой разряд может представить в каком-либо отношении опасность, проводку необходимо осуществлять в металлических трубах или проводами с металлической оболочкой. Устройство замкнутых контуров в данном случае не представляет затруднений, поскольку для этого могут быть применены специальные соединительные перемычки.

При грозовом разряде в месте перехода тока в землю возникает высокий потенциал. Если вблизи расположен кабель, то металлическая оболочка его окажется под высоким потенциалом, который, таким образом, может быть занесен в помещение, удаленное от молниеотвода. Кроме того, кабель может оказаться пробитым. Для предотвращения этого необходимо выдерживать минимальные расстояния между заземлителями молниеотвода и кабелями (не менее 10 м).

То же следует отметить в отношении защитного заземления электрических установок. Чтобы высокий потенциал грозового разряда не попал на систему защитного заземления, заземлители защитного заземляющего устройства и заземлители молниеотводов нужно по возможности удалять друг от друга. Наименьшее допустимое расстояние здесь также должно быть не менее 10 м.

6. ПРИМЕНЕНИЕ ГРОЗОЗАЩИТЫ

Вопрос о необходимости устройства грозовой защиты в каждом отдельном случае нужно решать в зависимости от опасности, которую может представить грозовое поражение для данного сооружения, материального ущерба при этом поражении и вероятности в данных метеорологических условиях и для данного сооружения грозового разряда.

Помещения, в которых изготавливаются, обрабатываются или хранятся взрывчатые и огнеопасные вещества, должны быть защищены как от непосредственных ударов молнии, так и вторичных ее воздействий.

При защите таких сооружений молниеотвод нужно изолировать от сооружения; сопротивление заземления должно быть не более 5—10 Ω .

Заземление молниеотводов нельзя объединять с заземлением металлических частей здания, предусмотренных исключительно для защиты от индукционных разрядов. Все металлические протяженные предметы должны быть замкнуты в виде контуров при помощи перемычек.

Минимальное расстояние от кабелей до заземлителей молниеотводов должно быть не менее 10 м.

Для защиты сооружений, которые могут безопасно воспринять непосредственный удар молнии, в зависимости от типа их, в некоторых случаях можно ограничиться устройством одного заземления, например, металлических нефтепроводов. Чтобы предохранить металлические трубопроводы от разрушающего воздействия молнии, достаточно заземлить их через некоторые промежутки.

При защите газгольдеров ввиду возможности воспламенения газа при утечке или недостаточной толщине металлических стенок газгольдера молниеприемники устанавливаются в виде металлических штанг, надежно соединенных с крышкой газгольдера. При этом, если переходное сопротивление газгольдера не превышает 20—10 Ω , устраивать специальное заземление не нужно.

В тех случаях, когда защищаемое сооружение частично является огне- и взрывоопасным, для каждой части его должна быть предусмотрена соответствующая защита.

Для защиты от прямых ударов производственных объектов, не представляющих опасности взрыва или пожара, молниеотвод устанавливают непосредственно на кровле или используют кровлю (если она металлическая).

В этом случае необходимо все металлические части здания, а также находящиеся внутри здания металлические конструкции надежно соединить друг с другом и с крышей и хорошо заземлить. Сопротивление крыши в этом случае устанавливается не более 5 Ω .

Кроме того, для предотвращения поражений шаговым напряжением применяют заземленные металлические сетки, выравнивающие потенциал при грозовом разряде.

Значительное число зданий с металлической крышей, таким образом, можно защитить от прямых ударов путем хорошего заземле-

ния крыш. При этом в качестве токоотводов нужно использовать все имеющиеся металлические части.

Если крыша здания выполнена из токонепроводящего материала, необходимо установить молниеприемник; при этом молниеприемник должен отстоять от крыши на расстоянии не менее 50 см, а токоотводы — не менее 20—30 см.

Фабрично-заводские трубы как сооружения, наиболее подверженные ударам молнии, должны иметь молниеотводы.

Металлические трубы требуют только устройства заземления; при бетонном или кирпичном основании величина сопротивления их может быть порядка 10—20 Ω .

В качестве заземлителей могут быть использованы водопроводы. Использование в качестве заземлителя металлических оболочек кабеля не допускается, кроме того, между кабелем и заземлителями должно быть расстояние не менее 10—5 м.

Кирпичные трубы нужно защищать посредством установки молниеотводов-штанг (одна штанга на трубу диаметром 1—2 м, при большем диаметре — одна штанга на 1 м диаметра). Металлические части, подверженные разрушению отходящими дымовыми газами, должны быть защищены цементом или асфальтом.

7. КОНТРОЛЬ ЗА ПРАВИЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ И СОДЕРЖАНИЕМ МОЛНИЕОТВОДОВ

Противогрозовая защита должна быть выполнена на основании специального расчета по проекту, одобренному организацией или лицами достаточной технической компетенции.

После выполнения молниеотводное устройство и устройство по защите от вторичных воздействий молнии нужно тщательно проверить в отношении пригодности как в целом, так и отдельных деталей (прочность и надежность соединений, достаточность сечения проводов, расстояний, креплений их и т. д.). При этом особое внимание должно быть обращено на отсутствие острых и прямых углов токоотводов и других соединений, а также на надежное соединение с заземлителями.

Соединения токоотводов с заземлителями целесообразно делать доступными и разъемными для возможности измерения сопротивления заземлителей и сопротивления других элементов молниеотвода.

Молниеотводное устройство должно быть в полной исправности. Для этого не реже одного раза в год его нужно тщательно осматривать и немедленно устранять все замеченные дефекты.

Результаты осмотров, обнаруженные недочеты, исправления вносятся в специальный журнал «Состояние грозозащиты».

Для фиксации работы молниеотводного устройства при грозовых разрядах чрезвычайно полезно установить магнитные регистраторы прямых ударов. Это даст характеристику работы молниеотводов и интересный материал научного и практического значения для оценки различных видов грозозащиты.

VIII. ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ

На основании многочисленных литературных указаний и практических данных состояние человека, попавшего под ток и не подающего внешних признаков жизни, следует рассматривать только как мнимую смерть, вызванную временным функциональным расстройством организма.

Ни величина напряжения, при котором произошло поражение током, ни полное отсутствие признаков жизни не могут быть причиной отказа от оказания немедленной помощи.

В литературе неоднократно приводятся случаи возвращения к жизни пострадавших от тока после 3—4 час. и даже более применения искусственного дыхания.

Помня, что бессознательное состояние не означает наступления смерти и что всякое промедление с оказанием помощи губительно, необходимо, не теряя ни одной секунды, принять меры к скорейшему освобождению из-под тока и немедленно после этого начать делать пострадавшему искусственное дыхание.

1. ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ ТОКА

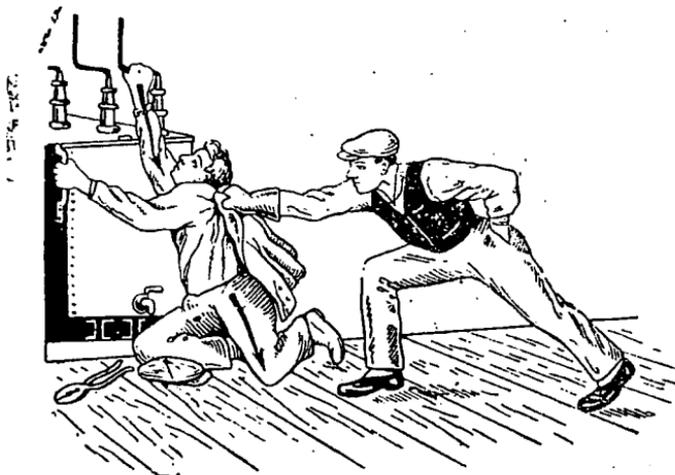
Для того чтобы помощь попавшим под ток была действительно эффективной и безопасной, необходимо соблюдать ряд предосторожностей.

Если пострадавший находится на высоте и отключение напряжения может вызвать падение его, то при освобождении от тока прежде всего необходимо принять меры против возможности такого падения.

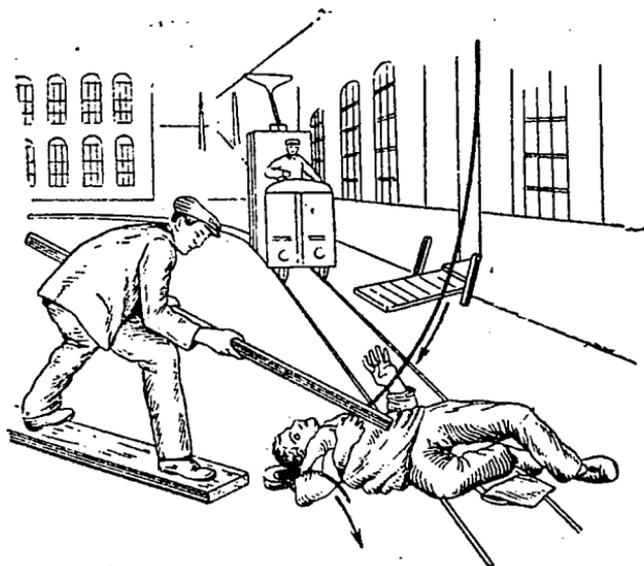
В установках высокого напряжения освобождать пострадавшего от токоведущих частей можно только после того, как часть установки, где произошло включение человека, будет отключена, а токоведущие части — закорочены и заземлены.

В установках с напряжением до 500 V можно либо произвести отключение соответствующим рубильником или предохранителем, либо непосредственно оторвать пострадавшего от частей, находящихся под напряжением. В последнем случае для изоляции от пострадавшего нужно надеть резиновые перчатки или набросить на руку сухую одежду (прорезиненный плащ) или бумагу, а для изоляции от земли надеть калоши, подстелить коврик, деревянные доски, в зависимости

от того, что легче всего сделать в данных условиях (фиг. 78). Для большей безопасности рекомендуется действовать одной рукой и прикасаться не непосредственно к телу пострадавшего, а по возможности к сухой одежде.



Фиг. 78. Освобождение из-под тока вручную.

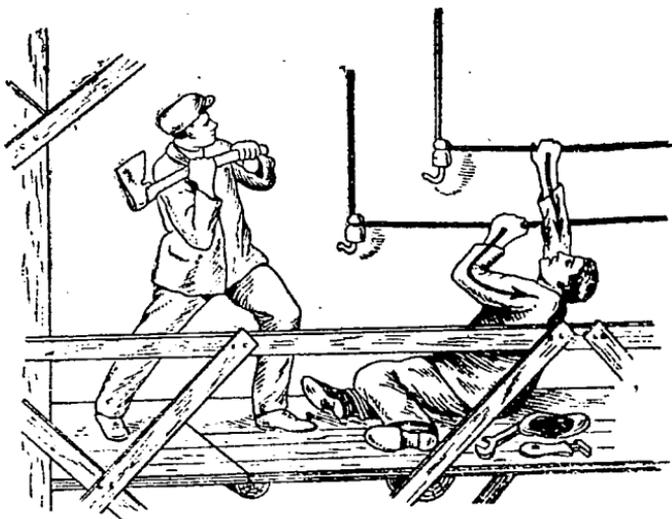


Фиг. 79. Освобождение из-под тока с помощью штанги.

В тех случаях, когда пострадавшего можно легко отделить от токоведущих частей при помощи штанги или деревянной палки, следует прибегать к этому способу (фиг. 79).

Если рука пострадавшего судорожно охватывает токоведущую часть и освободить его указанным способом невозможно, проще поднять пострадавшего и, прервав этим ток и изолировав его от земли (досками), освободить от токоведущих частей.

Иногда отключить место, где произошел несчастный случай, по какой-либо причине невозможно (например, рубильник или предохранитель находятся в другом помещении или лица, оказывающие помощь, не знают, какой именно рубильник или предохранитель нужно отключить), а также невозможно оторвать пострадавшего от электрооборудования одним из указанных выше способов. В таких случаях в установках низкого напряжения необходимо перерубить токоподводящие провода, пользуясь при этом с должной осторожностью соответствующим изолированным инструментом (фиг. 80).



Фиг. 80. Освобождение из-под тока (рубка проводов).

В виде исключения для освобождения от тока можно применять замыкание проводов накоротко и надежное заземление их или только заземление. Замыкание накоротко достигается путем набрасывания провода, цепи или мокрой тряпки на рабочие провода; после этого их следует заземлить.

При однофазном включении достаточно заземлить только ту фазу, к которой присоединился пострадавший.

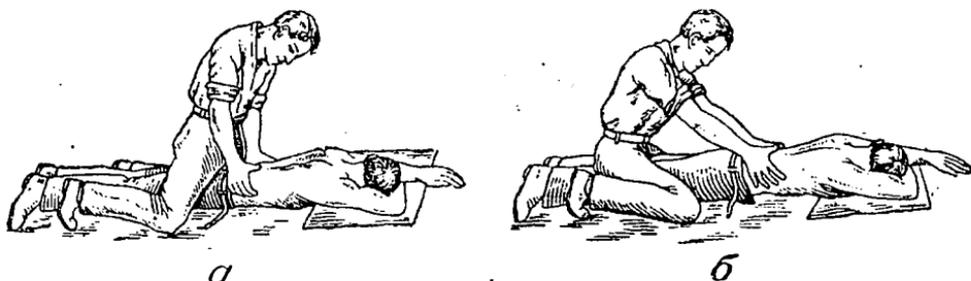
Это всегда нужно помнить, так как заземление другой фазы, с которой человек не имеет соприкосновения, еще ухудшит положение пострадавшего, поскольку он окажется включенным на полное рабочее напряжение.

При заземлении сначала нужно соединять заземляющий провод с землей, а затем с проводом.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ДЫХАНИЯ

Освободив пострадавшего от тока, необходимо немедленно приступить к оживлению его. Для этого следует:

- 1) снять с пострадавшего все стесняющие его части одежды, расстегнуть ворот, пояс, развязать шарф;
- 2) обеспечить доступ чистого воздуха к пострадавшему, открыть двери, окна;
- 3) удалить из помещения лишних людей;
- 4) очистить рот от крови, слизи, если имеются искусственные зубы, вынуть их;



Фиг. 81. Метод Шеффера: а—выдох; б—вдох.

5) вытянуть язык при помощи специальных приспособлений, а при отсутствии последних пальцами, предварительно обернув их чистой тряпочкой, марлей или платком.

Эти предварительные мероприятия не должны задерживать применение искусственного дыхания.

Существуют различные методы искусственного дыхания (Шеффера, Сильвестра, Говарда, Лабарда и т. д.).

Наиболее распространен при поражении электрическим током метод Шеффера (принятый американской медицинской ассоциацией). При этом методе искусственное дыхание может быть сделано одним человеком без помощника. Кроме того, здесь исключается возможность попадания пищи из желудка в дыхательные пути.

Сущность этого метода заключается в следующем (фиг. 81). Пострадавшего кладут на пол или землю на живот, вниз лицом, вытянув одну руку и подложив другую под голову так, чтобы рот и нос не касались пола (земли). Лицо, производящее искусственное дыхание, становится на колени, обращаясь к голове пострадавшего так, чтобы бедра его были между ногами оказывающего помощь. Затем, не сгибая в локтях рук, оказывающий помощь накладывает вытянутые ладони своих рук на нижние ребра пострадавшего и, наклоняясь вперед, тяжестью своего тела нажимает на грудную клетку в течение 3 сек., усиливая степень нажатия к концу 3-й сек. и вызывая выдох. После этого руки быстро снимают и через 1—2 сек. вновь накладывают, производя снова такое же нажатие. При снятии рук

грудная клетка вновь расширяется и происходит вдох. Производя нажатия совершенно равномерно и ритмично с таким расчетом, чтобы число их соответствовало ритму естественного дыхания (не чаще 16 раз в минуту), искусственно воспроизводят нарушенное дыхание человека, возвращая его к жизни, если имело место состояние мнимой смерти.

Способ Сильвестра является наиболее эффективным, но при нем требуются помощники. К недостаткам способа следует отнести возможность попадания пищи в дыхательные пути при неумелом сильном давлении на грудь; вытянутый язык необходимо держать все время, пока производится искусственное дыхание.



Фиг. 82. Метод Сильвестра: а—выдох; б—вдох.

Пострадавшего кладут на спину, вверх лицом, подкладывая под лопатки валик, свернутый из одежды (фиг. 82). Производящий дыхание становится на колени у головы пострадавшего, берет его за руки около кистей и для производства выдоха опускает их вниз, сгибая в локтях, прижимает к груди, к нижним ребрам, примерно на 2 сек. Для производства вдоха руки кругообразным движением отводят вверх так, чтобы они были вытянуты за голову и оставляют в вытянутом положении также на 2 сек.

Такие движения делают соответственно ритму естественного дыхания, т. е. примерно 15—20 раз в минуту.

Метод Сильвестра применяют при переломе ребер, когда метод Шеффера непригоден: при переломах рук метод Сильвестра неприменим.

Метод Говарда по приемам и ритму нажатий аналогичен методу Шеффера, но пострадавшего кладут вверх лицом, нажимая на нижние ребра спереди. Вытянутый язык необходимо держать все время до оживления (фиг. 83).

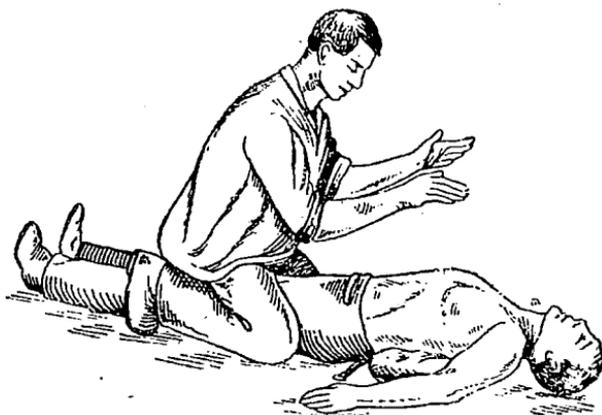
Этот метод более сложен, так как для удержания языка требуется помощник, и применяется в исключительных случаях — при сильных ожогах в области живота и груди.

Метод Лобарда, состоящий в ритмичном потягивании за язык (16—18 раз в минуту), можно применять дополнительно к ме-

туду Сильвестра или в тех случаях, когда вследствие переломов рук и ребер нельзя применить ни одного из приведенных методов.

Однако эффективность указанных способов зависит исключительно от того, насколько быстро было начато искусственное дыхание и насколько правильно оно выполнялось.

Для достижения благоприятных результатов при производстве искусственного дыхания нужно выполнять следующие требования. Искусственное дыхание нельзя прерывать ни на мгновение, производить его правильно и ритмично в соответствии с ритмом естественного дыхания и продолжать до оживления пострадавшего или до появления трупных пятен.



Фиг. 83. Метод Говарда.

Для возможности применения длительного и ритмичного искусственного дыхания в последнее время появились специальные аппараты, механизмирующие этот процесс.

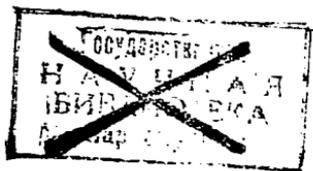
Подобные аппараты строятся трестом «Техника безопасности» под маркой ОКА (оживляющий кислородный аппарат). Говорить о большой рациональности этих аппаратов пока не приходится, так как для установки их требуется известное время, что не может не влиять на успех спасения.

Категорически нужно осудить применяемые еще иногда попытки оживлять пострадавших от тока, зарывая их в землю.

Например, в 1933 г. на торфоразработках пострадавший электромонтер был закопан и обложен со всех сторон торфом. Искусственное дыхание было сделано только через 15—20 мин. после приезда врача. Второй случай был в 1934 г. на одном карьере с весовщицей, которая после грозового разряда в телефонную установку была закопана в песок.

Совершенно очевидно, что указанный способ не только бессилён, но и вреден, так как при этом задерживается начало применения искусственного дыхания. Этот способ должен быть запрещен.

Для того чтобы своевременно и правильно оказать помощь лицам, попавшим под ток, необходимо, чтобы весь персонал, обслуживающий электроустановку, а также рабочие, связанные с электрооборудованием, были хорошо обучены приемам освобождения от тока вообще и на своем участке в частности, а также приемам искусственного дыхания. Только при этом условии требования об оказании помощи потеряют для многих формальное значение и смогут сохранить не одну человеческую жизнь.



Редактор А. А. Лужанин

Техн. редактор А. Н. Савари

Сдано в набор 31/1 1940 г. Подписано к печ. 20/V 1940 г. Автор. дог. № 3024.
Кол. печ. лист. 9¹/₂. Учетно-авт. лист. 10,33. Формат бум. 60×92¹/₁₆. Уполн.
Главл. А27823. Заказ. № 40. Тираж 2000.

Киевская типография Оборонгиза, Крещатик 42.

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
33	2 сверху	включение	выключение	автора
72	3 колонка	35	3,5	типогр.
108	8 снизу	включить	отключить	автора

К о р о л ь к о в а В. И. . Электробезопасность промышленных предприятий. Зак. № 40.

16369