
**ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ
по охране труда**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Под редакцией докт. техн. наук
проф. Н. Д. Золотницкого

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов высших технических
учебных заведений



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1979

ББК 65.9(2)248

Л12

УДК 65.012.8(075)

Рецензенты:

*кафедра организации и экономики строительства
Горьковского инженерно-строительного института
им. В. П. Чкалова; канд. техн. наук, доц. Беляев В. В.*

Лабораторный практикум по охране труда: Учеб.
Л12 пособие для втузов/Под ред. Н. Д. Золотницкого. —
М.: Высш. школа, 1979. — 215 с., ил.

30 коп.

В учебном пособии изложены вопросы производственной санитарии, техники безопасности и пожарной профилактики, приводятся необходимые теоретические сведения, описание применяемых установок и приборов, методика проведения работы и оформления полученных результатов.

Л $\frac{30212-076}{001(01)-79}$ 122-79

6040201030

331.8

ББК 65.9(2)248

© Издательство «Высшая школа», 1979

ший от диаметра штифта; l_a — расстояние между осью штифта и осью вращения вала, м; $\sigma_{ср}$ — временное сопротивление срезу материала штифта, Н·м.

Из уравнений (11.6—11.8) сечение штифта (m^2).

$$s = \frac{2\pi Ffnr_{ш}(\tau_0' - \tau_0'')}{k\sigma_{ср} l_a} \quad (11.9)$$

Ниже приведены значения коэффициента k в зависимости от диаметра штифта:

$d_{ш}$	2—3	4—5	6—8	8—10
k	0,8	0,7	0,6	0,5

Схему установки, данные расчета и эксперимента занести в протокол № 12.

ПРОТОКОЛ № 12 ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Схема установки.
2. Расчет сечения штифта.

Экспериментальные данные

№ опыта	Частота вращения двигателя n , об/с	Сила натяжения F , Н	Время остановки		Примечание
			без маховика τ_0'	с маховиком τ_0''	

Лабораторная работа № 12.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДИНОЧНЫХ И ГРУППОВЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

Цель работы: изучить зависимость сопротивления заземлителей растеканию тока от геометрических размеров одиночных заземлителей (электродов), их взаимного расположения и количества.

Общие сведения

Ток стекает в землю через проводник, находящийся в непосредственном контакте с землей. Такой контакт может быть случайным или преднамеренным. В послед-

нем случае проводник или группа проводников, находящихся в контакте с землей, называется *заземлителем*.

Каждый отдельный проводник, находящийся в контакте с землей, называется *одиночным заземлителем* или *электродом*. Если заземлитель состоит из нескольких электродов, соединенных между собой параллельно, он называется *групповым заземлителем*.

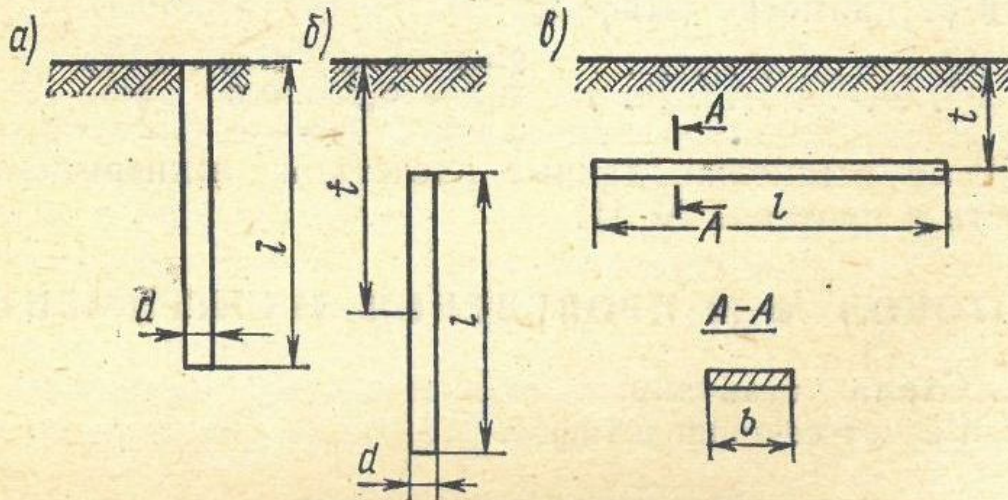


Рис. 37. Типы одиночных заземлителей (электродов):

а — стержневой вертикальный у поверхности земли; б — стержневой вертикальный заглубленный; в — полосовой горизонтальный

Ток, проходящий через заземлитель в землю, преодолевает сопротивление, называемое сопротивлением заземлителя растеканию тока или просто *сопротивлением растеканию*. Это сопротивление состоит из трех частей: сопротивления самого заземлителя, переходного сопротивления между заземлителем и грунтом, сопротивления грунта. Две первые части по сравнению с третьей весьма малы, поэтому под сопротивлением заземлителя растеканию тока понимают сопротивление грунта растеканию тока.

Поскольку плотность тока в земле на расстоянии больше 20 м от заземлителя весьма мала, можно считать, что сопротивление стекающему току оказывает лишь соответствующий объем земли, например, при одиночном полушаровом заземлителе это полусфера радиусом 20 м. Однако при разных формах и размерах заземлителя сопротивление этого объема различно. Так для стержневого электрода (труба), забитого в землю вер-

тикально (рис. 37, а), сопротивление растеканию (Ом)

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}, \quad (12.1)$$

где l и d — длина и диаметр стержня, м; ρ — удельное объемное сопротивление грунта, Ом·м.

Для наиболее часто применяемых электродов — вертикального стержневого, заглубленного в землю (рис. 37, б), и горизонтального полосового, уложенного на некоторой глубине параллельно поверхности земли (рис. 37, в), сопротивления растеканию (Ом) определяются следующим образом:

для вертикального электрода

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (12.2)$$

где t — заглубление электрода, т. е. расстояние от поверхности земли до середины электрода, м;

для горизонтального электрода

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt}, \quad (12.3)$$

где l и b — длина и ширина полосы, м; t — заглубление полосы, м.

При больших (более 40 м) расстояниях между электродами, составляющими групповой заземлитель, поля растекания тока вокруг электродов практически не взаимодействуют друг с другом, т. е. ток каждого электрода проходит по «своему» отдельному участку земли, в котором токи других электродов не проходят. В этом случае сопротивление растеканию (Ом) группового заземлителя

$$R_{гр} = R_0/n, \quad (12.4)$$

где R_0 — сопротивление растеканию одного электрода, Ом (считаем, что все электроды имеют одинаковые размеры и, следовательно, одинаковые сопротивления растеканию тока); n — число электродов.

При малых расстояниях между электродами (менее 40 м) поля растекания токов как бы накладываются одно на другое, в результате чего в общих участках земли, по которым проходят токи нескольких электродов, увеличивается плотность тока и, следовательно, на этих участках повышается падение напряжения. Это явление,

равноценное уменьшению сечения земли, по которому проходит ток от электрода, приводит к увеличению сопротивления растеканию одиночных заземлителей и группового заземлителя в целом.

В этом случае сопротивление (Ом) группового заземлителя (при равенстве сопротивлений растеканию одиночных заземлителей)

$$R_{гр} = R_0/n\eta, \quad (12.5)$$

где $\eta \leq 1$ — коэффициент использования заземлителя.

Таким образом, коэффициент использования есть отношение действительной проводимости группового заземлителя $1/R_{гр}$ к наибольшей возможной его проводимости $1/R_{гр\sim}$, т. е. при бесконечно больших (практически больше 40 м) расстояниях между его электродами:

$$\eta = R_{гр\sim}/R_{гр} = R_0/nR_{гр}. \quad (12.6)$$

Значение коэффициента использования зависит от количества, формы и взаимного расположения электродов, составляющих групповой заземлитель.

Как видно из уравнений (12.1—12.3), сопротивление заземлителя растеканию тока прямо пропорционально удельному объемному сопротивлению грунта ρ , т. е. сопротивлению куба грунта с ребром длиной 1 м. Удельное объемное сопротивление имеет размерность Ом·м.

Значение ρ земли колеблется в широких пределах — от десятков Ом·м до десятков тысяч Ом·м, так как оно зависит от многих факторов, в том числе: от влажности грунта, температуры, рода грунта, степени его уплотненности, а также от времени года.

Абсолютно сухой грунт является плохим проводником тока. Малейшее увлажнение резко снижает его сопротивление.

При низкой температуре (ниже 0°С) земля обладает очень большим сопротивлением. Поэтому в районах вечной мерзлоты качественное заземление, т. е. с малым сопротивлением, выполнить очень трудно.

Грунты разного рода при одних и тех же условиях имеют различные объемные удельные сопротивления. Глина хорошо проводит ток и долго удерживает влагу, поэтому в глинистой почве заземление выполнить легче, чем в других грунтах, стоимость его меньше и работает это заземление надежнее и дольше. Песок плохо про-

водит ток и практически не удерживает влагу. Поэтому в песчаном грунте заземление работает плохо, т. е. сопротивление его может резко возрасти при незначительных изменениях погодных условий. Чернозем и другие почвы занимают примерно среднее положение между глиной и песком.

Уплотненность, т. е. утрамбованность грунта, также влияет на удельное объемное сопротивление: чем плотнее грунт, тем меньше ρ .

Время года влияет на сопротивление грунта, поскольку атмосферные условия, изменяющиеся в течение года, изменяют содержание влаги в грунте, его температуру, количество растворенных в нем солей и др. Уменьшение удельного объемного сопротивления происходит, как правило, в весенние и осенние месяцы, когда увеличивается содержание влаги в почве. Весной благоприятное влияние оказывает повышение температуры почвы.

Увеличение удельного сопротивления происходит зимой вследствие замерзания, а летом вследствие испарения влаги, причем более высокие значения ρ наблюдаются зимой.

Наибольшему влиянию атмосферных условий подвержены верхние слои земли. Более глубокие слои земли обладают достаточно стабильным сопротивлением, поэтому заземлители, глубоко погруженные в землю, например вертикальные стержневые, выполняют свою задачу лучше, чем горизонтальные полосовые, прокладываемые обычно вблизи поверхности земли.

При проектировании заземляющих устройств необходимо в качестве расчетного брать наибольшее возможное в течение года значение удельного объемного сопротивления грунта, $\rho_{расч}$, т. е. ориентироваться на худший случай. Однако, поскольку в самое неблагоприятное время года производить измерения сопротивления земли не всегда возможно, $\rho_{расч}$ принимают равным произведению измеренного удельного объемного сопротивления $\rho_{изм}$ на коэффициент сезонности ψ , учитывающий возможное повышение $\rho_{изм}$ за счет изменения погодных условий, т. е.

$$\rho_{расч} = \rho_{изм} \psi. \quad (12.7)$$

При этом $\rho_{изм}$ получают измерением при средней влажности грунта, когда ему предшествовало выпадение небольшого дождя, а коэффициент ψ берется из табл. 1.

При проектировании заземляющего устройства необ-

наковые длины (2—2,5 м) и одинаковые диаметры (25—50 мм) и размещенных в ряд (рис. 39, а); вторая группа — 4 горизонтальных полосовых электрода, имеющих одинаковые длины (5—7 м) и одинаковые сечения (4×40 мм) и размещенных параллельно друг другу (рис. 39, б).

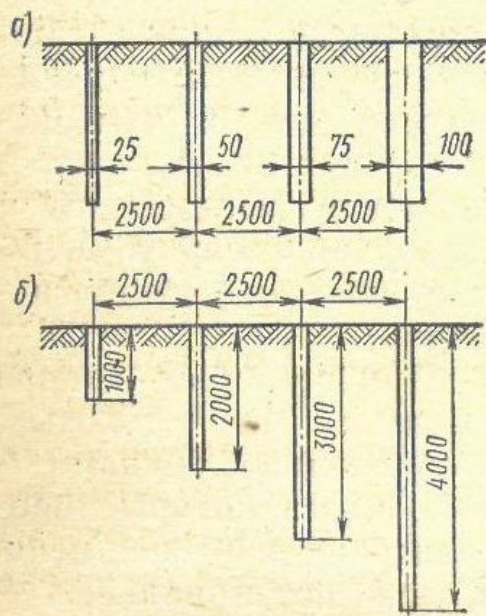


Рис. 38. Размещение вертикальных одиночных заземлителей (электродов), предназначенных для определения зависимости сопротивления растеканию тока от диаметра и длины электрода:

а — электроды разного диаметра;
б — электроды разной длины

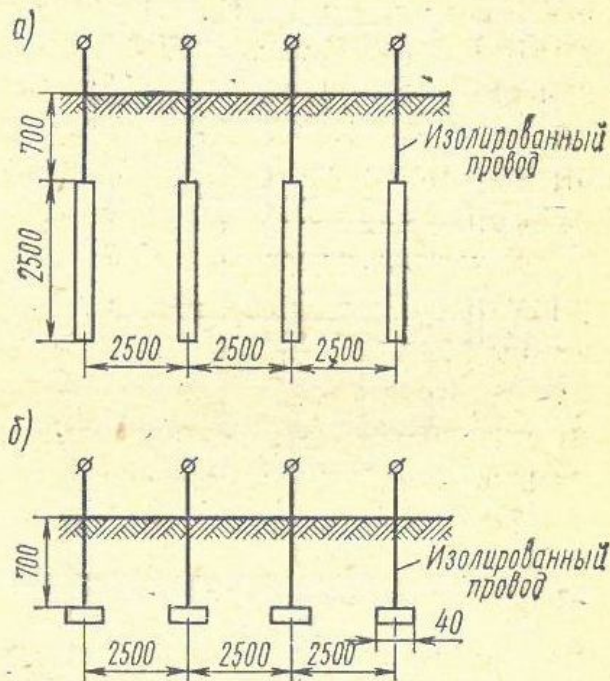


Рис. 39. Расположение одиночных заземлителей (электродов), предназначенных для определения сопротивления растеканию групповых заземлителей, коэффициента использования заземлителей и удельного объемного сопротивления грунта:

а — стержневые вертикальные; б — горизонтальные полосовые (показаны с торца)

Для определения расчетных удельных объемных сопротивлений грунта $\rho_{расч.с}$ и $\rho_{расч.п}$ используют по одному одиночному заземлителю из указанных выше групп (один — стержневой, другой — горизонтальный полосовой).

В качестве измерительного прибора используют измеритель заземления типа МС-08, схема которого приведена на рис. 40. Основными частями этого измерителя являются: генератор постоянного тока \mathcal{Z} с ручным при-

водом; прерыватель тока 2 и выпрямитель 1, жестко закрепленные на валу генератора; магнитоэлектрический логометр 4; резисторы 5.

При вращении генератора возникает постоянный ток, который прерывателем преобразуется в переменный (см. пунктир на рис. 40).

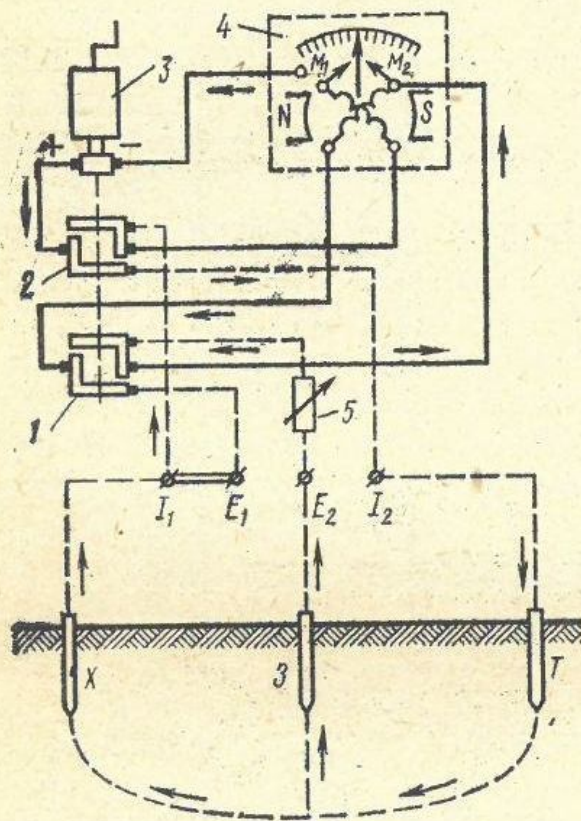


Рис. 40. Упрощенная схема измерителя заземления типа МС-8 и размещение электродов — исследуемого и вспомогательных:

1 — выпрямитель; 2 — прерыватель; 3 — генератор постоянного тока; 4 — логометр; 5 — резисторы; X — заземлитель, сопротивление растеканию которого измеряется; T — вспомогательный токовый электрод; 3 — вспомогательный электрод-зонд

Пройдя внешнюю цепь, переменный ток преобразовывается в постоянный (сплошные линии). Величина тока и падение напряжения в измеряемом сопротивлении определяют логометром, что и позволяет измерить величину искомого сопротивления.

Прибор имеет четыре зажима: два токовых, обозначенных буквами I_1 и I_2 , через которые проходит ток внешней цепи, и два потенциальных — E_1 и E_2 , к которым подводится напряжение с измеряемого сопротивления. МС-08 позволяет измерять сопротивление растеканию заземлителей, сопротивления проводников и других элементов электрических цепей, не содержащих индуктивностей и больших емкостей, например сопротив-

ления контактов и т.п. Предел измерения прибора велик: от десятых долей ома до 1000 Ом.

Порядок проведения эксперимента

I. Определение зависимости сопротивления растеканию одиночного вертикального стержневого заземлителя $R_{0,c}$ от его диаметра (d) и длины (l). 1. Измерить с помощью измерителя МС-08 сопротивление растеканию

$R_{0.c}$ каждого из восьми одиночных стержневых заземлителей: четырех разного диаметра и четырех разной длины. Для этого: а) прибор установить возможно ближе к испытываемому заземлителю;

б) забить в землю на глубину не менее 0,5 м и на расстоянии не менее 20 м друг от друга и от испытываемых заземлителей два вспомогательных электрода — стальные стержни диаметром 25—50 мм: токовый электрод и электрод-зонд (на рис. 40 обозначены буквами T и Z);

в) зажим I_1 прибора соединить с испытываемым электродом (X), зажим I_2 — с вспомогательным токовым, зажим E_1 — специальной перемычкой с зажимом I_1 , зажим E_2 — с зондом. В этом случае сопротивление проводника, соединяющего зажим I_1 с испытываемым заземлителем, войдет в схему измерения, поэтому во избежание ошибки этот провод должен иметь сечение не менее 4—6 мм² и длину не более 2 м. При большей длине провода, чтобы исключить влияние его на результаты измерения, следует снять перемычку между зажимами I_1 и E_1 и соединить зажим E_1 с испытываемым заземлителем отдельным проводом;

г) произвести компенсацию внешних сопротивлений потенциальной цепи. Для этого переключатель МС-08, (служащий как для выбора режима работы, так и выбора пределов измерения) поставить в положение «Регулировка»;

д) вращая генератор со скоростью 120—135 об/мин, производить отсчет измерений по шкале с учетом положения переключателя.

2. Пользуясь формулой (12.1), вычислить сопротивление растеканию $R_{0.c}$ каждого из восьми электродов как функцию ρ , т. е. $R_{0.c} = f(\rho)$, поскольку удельное сопротивление грунта неизвестно.

3. Результаты измерений $R_{0.c}$ и вычислений $R_{0.c} = f(\rho)$ занести в табл. 2 протокола № 13.

4. В протоколе № 13 построить 4 графика зависимости $R_{0.c} = f(d)$ и $R_{0.c} = t(l)$ по данным табл. 2. При этом измеренное и вычисленное сопротивления первого в группе заземлителя принять за 1.

II. Определение коэффициентов использования групповых заземлителей. 1. Измерить с помощью измерителя МС-08 сопротивления растеканию одиночных заземлителей: четырех вертикальных стержневых $R_{0.c}$ и четы-

рех горизонтальных полосовых $R_{o.п}$ (каждого в отдельности), как указано выше. Вычислить среднеарифметические значения измеренных сопротивлений $R_{o.c}$ и $R_{o.п}$.

2. Соединяя перемычкой выводы одиночных заземлителей, измерить сопротивление растеканию групповых заземлителей, состоящих из: а) 2, 3, 4 вертикальных стержневых электродов ($R_{гр.c}$); б) 2, 3, 4 горизонтальных полосовых электродов ($R_{гр.п}$).

В этом случае так же, как и при измерении сопротивления растеканию одиночных заземлителей (см. с. 97) должны быть забиты в землю два вспомогательных электрода на расстоянии не меньше 20 м друг от друга и от испытуемого заземлителя.

3. По данным измерений R_o и $R_{гр}$, пользуясь формулой (12.6), вычислить коэффициенты использования групповых заземлителей, состоящих из: а) 2, 3, 4 вертикальных стержневых электродов (η_c); б) 2, 3, 4 горизонтальных полосовых электродов ($\eta_п$).

4. Результаты расчета и измерений занести в таблицы 3 и 4 протокола № 13.

III. Определение расчетного удельного сопротивления грунта. 1. Пользуясь данными среднеарифметических значений сопротивлений растеканию тока одиночных заземлителей—вертикального стержневого и горизонтального полосового, полученных измерениями для определения коэффициентов использования (табл. 3 протокола № 13), вычислить по формулам (12.2) и (12.3) значения измеренных удельных объемных сопротивлений грунта $\rho_{изм.c}$ и $\rho_{изм.п}$.

2. Руководствуясь табл. 1 и указаниями преподавателя о климатической зоне местности, определить коэффициенты сезонности при вертикальном и горизонтальном заземлителях ψ_c и $\psi_п$.

3. Вычислить по формуле (12.7) и занести в протокол № 13 проведения эксперимента расчетные значения удельных объемных сопротивлений грунта при вертикальном стержневом и горизонтальном полосовом заземлителях — $\rho_{расч.c}$ и $\rho_{расч.п}$.

4. Сделать пояснение: для чего необходимо учитывать коэффициент сезонности и по каким условиям выбраны используемые при вычислении значения коэффициентов сезонности.

Признаки климатических зон и соответствующие им коэффициенты сезонности

Характеристика климатической зоны и тип электрода	Климатические зоны СССР			
	1	2	3	4
Признаки климатических зон				
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	От -20 до -15	От -14 до -10	От -10 до 0	От 0 до +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	От +10 до +18	От +18 до +22	От +22 до +24	От +24 до +26
Среднегодовое количество осадков, см	~40	~50	~50	30-50
Продолжительность заморозания вод, дни	190-170	150	100	0
Коэффициенты сезонности ψ				
Вертикальные электроды длиной 2-3 м при глубине заложения вершин 0,5-0,8 м	1,8-2,0	1,5-1,8	1,4-1,6	1,2-1,4
Горизонтальные электроды при глубине заложения 0,8 м	4,5-7,0	3,5-4,5	2,0-2,5	1,5-2,0

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Общие указания к проведению лабораторных работ	4
✓ Лабораторная работа № 1. Исследование метеорологических условий на рабочих местах	4
Лабораторная работа № 2. Исследование запыленности воздуха	10
✓ Лабораторная работа № 3. Исследование естественного освещения в производственном помещении	17
Лабораторная работа № 4. Исследование искусственного производственного освещения	25
Лабораторная работа № 5. Исследование производственного шума и методов борьбы с ним	34
✓ Лабораторная работа № 6. Исследование производственных вибраций и методов борьбы с ними	44
Лабораторная работа № 7. Определение дозы радиоактивного излучения	56
Лабораторная работа № 8. Исследование зависимости интенсивности гамма-лучей от толщины защитных экранов	63
Лабораторная работа № 9. Испытание струйного газопромывателя и форсуночного абсорбера	69
Лабораторная работа № 10. Определение герметичности фланцевых соединений химических аппаратов	78
Лабораторная работа № 11. Защита машин от разрушения при перегрузках	84
Лабораторная работа № 12. Исследование одиночных и групповых заземлителей	89
Лабораторная работа № 13. Исследование электромагнитных полей и методов защиты	101
Лабораторная работа № 14. Исследование возникновения напряжения шага	109
Лабораторная работа № 15. Защитное заземление электроустановок	116
Лабораторная работа № 16. Самовоспламенение горючих паров в воздухе	139
✓ Лабораторная работа № 17. Исследование опасности воспламенения горючих смесей разрядами статического электричества	143
✓ Лабораторная работа № 18. Исследование воспламеняющей способности тепловых источников зажигания	150
Лабораторная работа № 19. Определение температуры вспышки и воспламенения горючих жидкостей	155
Лабораторная работа № 20. Исследование взрывозащиты в электрооборудовании взрывонепроницаемого исполнения	163
Лабораторная работа № 21. Определение пределов взрываемости паровоздушных смесей	171
Лабораторная работа № 22. Защита зданий и сооружений с помощью разрушающихся элементов конструкций	178
✓ Лабораторная работа № 23. Защита аппаратов от разрушения при взрыве с помощью мембран	186
Приложения	194
Литература	214

Федор Алексеевич Барбинов, Петр Алексеевич Долин, Николай Дмитриевич Золотницкий, Петр Филиппович Иващенко, Анатолий Федорович Козьяков, Павел Александрович Лавданский, Владимир Федорович Максимов, Вера Степановна Медведева, Геннадий Григорьевич Орлов, Борис Георгиевич Попов, Борис Владимирович Покровский, Элла Павловна Пышкина, Алексей Никитич Рыльцев, Сергей Георгиевич Смирнов, Алексей Сергеевич Терехин

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Редактор Л. Б. Лохова. Художественный редактор Т. А. Дурасова. Художник А. И. Шавард. Технический редактор Э. М. Чижевский. Корректор Г. А. Чечеткина

ИБ № 1570

Изд. № СТР-275. Сдано в набор 28.07.78. Подп. в печать 04.12.78. Т-16365. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 11,34 усл. печ. л. 10,94 уч.-изд. л. Тираж 40 000 экз. Зак. № 653. Цена 30 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Владимирская типография «Союзполиграфпрома»
при Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7