



Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования «Ивановский государственный
энергетический университет им. В.И. Ленина»

Кафедра безопасности жизнедеятельности

№30

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Методические указания к лабораторной работе
по курсу «**Безопасность жизнедеятельности**»

Иваново 2006

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ивановский государственный энергетический
университет имени В. И. Ленина»**

Кафедра безопасности жизнедеятельности

30

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ
ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

**Методические указания
к лабораторной работе по курсу**

«Безопасность жизнедеятельности»

Иваново 2006

Составитель В.И. Дьяков
Редактор В.П. Строев

Лабораторная работа выполняется по разделу «Электробезопасность» курса «Безопасность жизнедеятельности» и предусматривает изучение влияния электрических сетей трехфазного тока на поражение людей электрическим током при различных режимах работы и параметрах сетей.

Утверждены цикловой методической комиссией ИФФ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Методические указания
к лабораторной работе по курсу
Составитель Дьяков Василий Иванович

Рецензент

кафедра безопасности жизнедеятельности
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В. И. Ленина»

Редактор М. А. Иванова

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.

Подписано в печать 5.06.2006. Формат 60х84 1/16.

Печать плоская. Усл. печ. л. 0,93. Тираж 200 экз. Заказ № 92.

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В. И. Ленина»

153025, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в РИО ИГЭУ.

Цель работы – исследовать электробезопасность сетей трех-фазного тока напряжением до 1000 В; выявить зависимость электробезопасности от режима нейтрали сети, сопротивления изоляции и емкости фаз относительно земли.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Сравнить опасность прикосновения человека к каждой из фаз двух сетей с разными режимами нейтрали (параметры сетей задает преподаватель):

- а) при нормальном режиме работы сети (человек касается фазы);
- б) при аварийном режиме работы сети (человек касается фазы при замыкании другой на землю).

2. При нормальном режиме работы сети выявить изменение опасности прикосновения к одной из фаз в зависимости от:

- а) сопротивления изоляции фазных проводов сети относительно земли при постоянной емкости;
- б) емкости фазных проводов сети относительно земли при постоянном сопротивлении изоляции (параметры сети задает преподаватель).

КРАТКИЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Статистика электротравматизма доказывает, что до 85 % смертельных поражений людей электрическим током происходит в результате прикосновения пострадавшего непосредственно к токоведущим частям, находящимся под напряжением. При этом в сетях напряжением до 1000 В величина тока, протекающего через человека, а, следовательно, и опасность поражения зависят, прежде всего, от режима нейтрали сети, а также от активной и емкостной проводимостей проводов относительно земли.

«Правила устройства электроустановок» (ПУЭ) предусматривают применение при напряжениях до 1000 В лишь двух сетей трехфазного тока: трехпроводной с изолированной нейтралью и четырехпроводной с заземленной нейтралью.

Каждая из этих сетей характеризуется своими технико-экономическими, эксплуатационными и другими показателями, а также различной степенью электробезопасности.

ТРЕХФАЗНАЯ ТРЕХПРОВОДНАЯ СЕТЬ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

При нормальном режиме рассматриваемой сети ток, протекающий через человека в период касания к одной фазе, например, фазе I (рис. 1), в комплексной форме запишется

$$I_h = U_\phi \cdot Y_h \cdot \frac{Y_2(1 - a^2) + Y_3(1 - a)}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_h}, \quad (1)$$

где Y_1, Y_2, Y_3 – полные проводимости изоляции фазных проводов;

Y_h – проводимость тела человека;

U_ϕ – фазное напряжение сети;

a – фазный оператор трехфазной системы, учитывающий сдвиг фаз.

На основании выражения (1) оценим опасность прикосновения человека к фазному проводу для следующих случаев.

1. При равенстве сопротивлений изоляции и емкостей проводов относительно земли, т.е. при

$$r_1 = r_2 = r_3 = r;$$

$$c_1 = c_2 = c_3 = c,$$

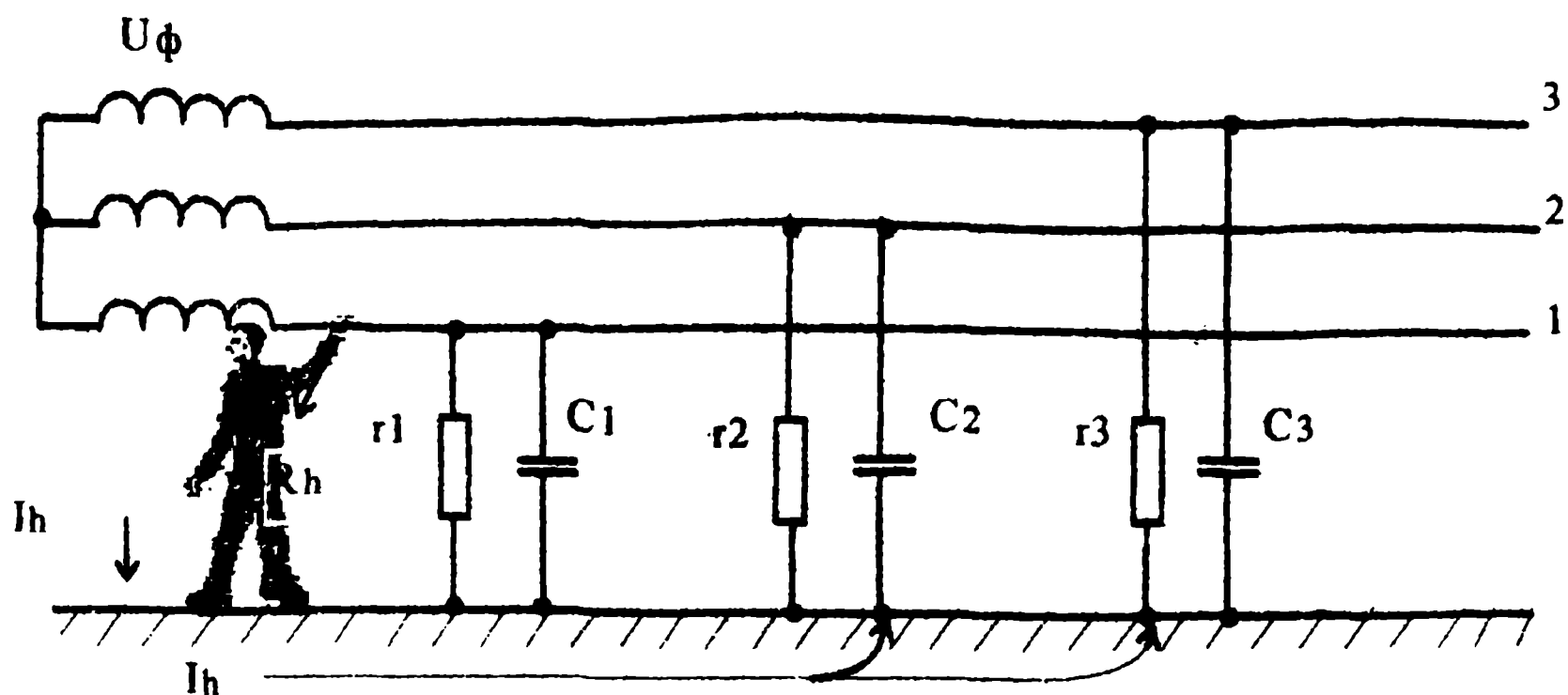


Рис. 1

а, следовательно, при $Y_1 = Y_2 = Y_3 = Y = \frac{1}{r} + j\omega c$

ток, проходящий через человека, в комплексной форме будет

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{1}{3Y}} = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{Z}{3}}, \quad (2)$$

где Z – комплекс полного сопротивления провода относительно земли, А.

2. При равенстве сопротивлений изоляции и отсутствии емкостей, т.е. при

$$\begin{aligned} r_1 &= r_2 = r_3 = r, \\ c_1 &= c_2 = c_3 = 0, \end{aligned}$$

что имеет место в коротких воздушных сетях, ток проходящий через человека, выражается формулой, А,

$$I_h = \frac{3U_\phi}{3R_h + r}. \quad (3)$$

3. При равенстве емкостей и весьма больших сопротивлениях изоляции, т.е. при

$$c_1 = c_2 = c_3 = c;$$

$$r_1 = r_2 = r_3 = \infty,$$

что может быть в кабельных сетях, формула тока, проходящего через человека, имеет вид, А,

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + \left(\frac{X_c}{3}\right)^2}}, \quad (4)$$

где $X_c = \frac{1}{\omega \cdot c}$ — емкостное сопротивление, Ом.

Из выражений (2–4) видно, что в сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов в период нормальной работы сети, зависит от сопротивления проводов относительно земли; с увеличением сопротивления опасность уменьшается. Вместе с тем этот случай менее опасен, чем прикосновение в сети с заземленной нейтралью (уравнения 3, 4 и 8, 9).

При аварийном режиме сети (рис. 2) ток, проходящий через тело человека, будет

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot U_\phi}{R_h + R_{зм}}, \quad (5)$$

где $R_{зм}$ — сопротивление переходного контакта в месте короткого замыкания провода на землю.

Напряжение прикосновения будет

$$U_{пр} = I_h R_h = U_\phi \sqrt{3} \frac{R_h}{R_h + R_{зм}}. \quad (6)$$

Если принять $R_{зм} = 0$ или $R_{зм} \ll R_h$ (так обычно бывает на практике), то, согласно (6), получим

$$U_{пр} = U_\phi \cdot \sqrt{3}, \quad (7)$$

т.е. человек окажется под линейным напряжением сети.

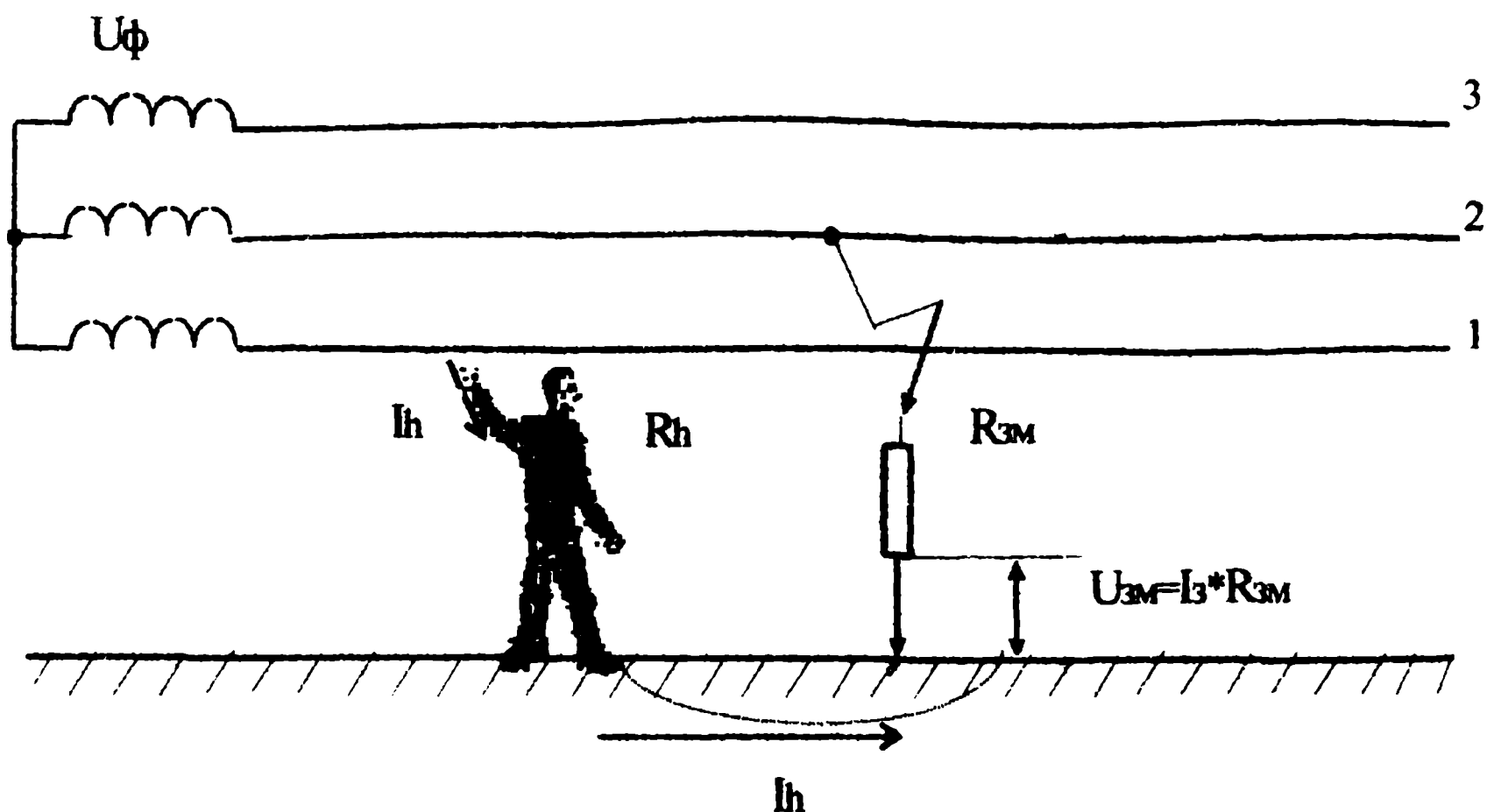


Рис. 2

ТРЕХФАЗНАЯ ЧЕТЫРЕХПРОВОДНАЯ СЕТЬ С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

При нормальном режиме рассматриваемой сети ток, протекающий через человека в период касания к одной фазе, например, фазе 1 (рис. 3), будет, А,

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_3}, \quad (8)$$

где R_3 – сопротивление заземления нейтральной точки трансформатора.

Согласно ПУЭ R_3 не должно превышать 4–10 Ом; сопротивление же тела человека не опускается ниже нескольких сотен Ом. Следовательно, без большой ошибки в уравнении (8) значением R_3 можно пренебречь, тогда

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h}, \quad (9)$$

т.е. при прикосновении к одной из фаз трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью человек оказывается под фазным напряжением U_ϕ .

Из уравнения (9) вытекает еще один вывод: если полные проводимости проводов относительно земли малы по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, то ток, проходящий через человека, прикоснувшегося к фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью в период нормальной его работы, практически не изменяется с изменением сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли.

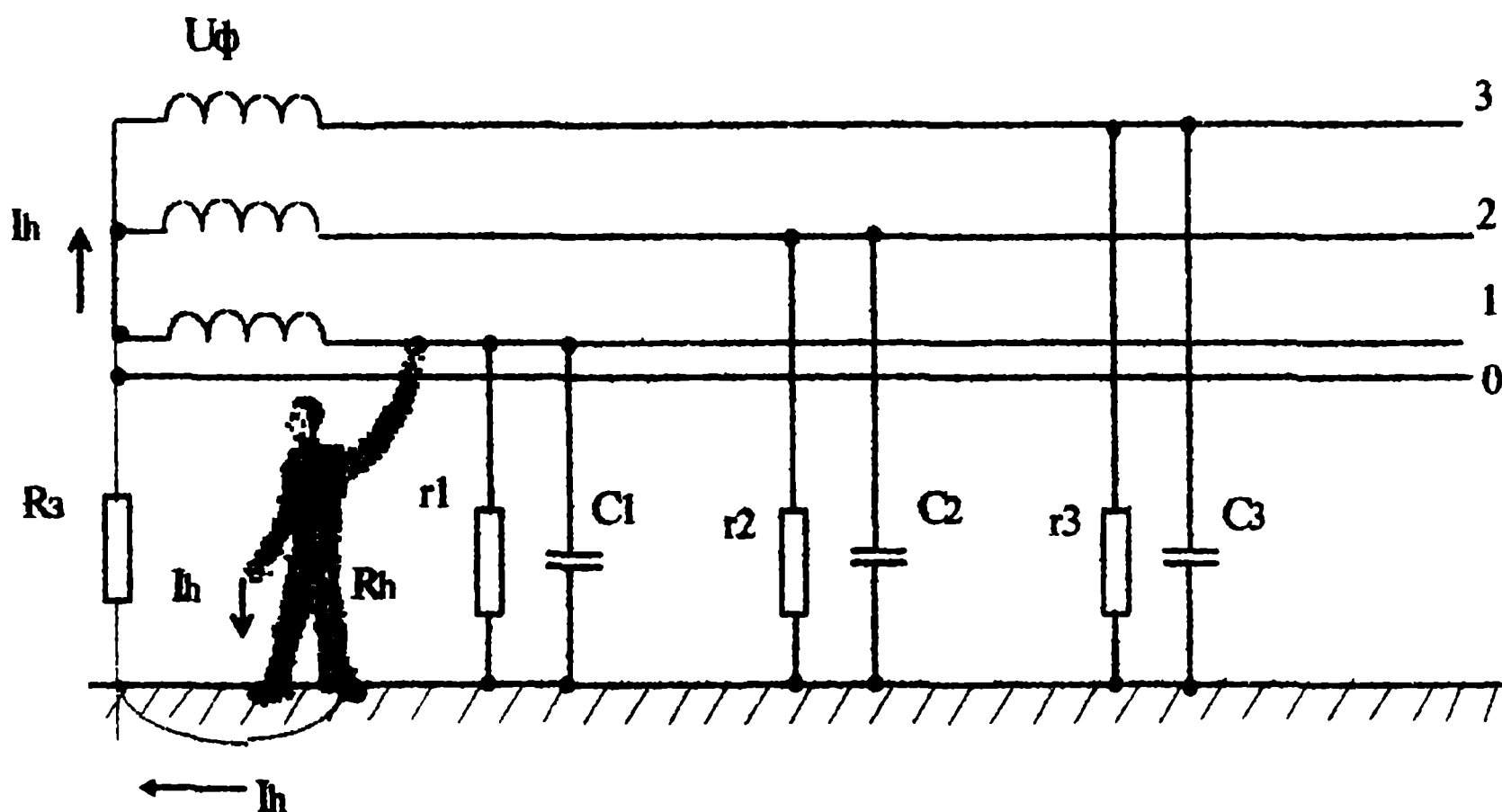


Рис. 3

При аварийном режиме, когда одна из фаз сети, например, фаза 2 (рис. 4а) замкнута на землю через малое сопротивление $R_{зм}$, напряжение прикосновения выражается так:

$$U_{пр} = U_\phi R_h \frac{R_{зм} + R_3 \sqrt{3}}{R_{зм} R_3 + R_h (R_{зм} + R_3)} \quad (10)$$

Ток, проходящий через человека,

$$I_h = U_\phi \frac{R_{3M} + R_3 \sqrt{3}}{R_{3M} R_3 + R_h (R_{3M} + R_3)} . \quad (11)$$

Если принять $R_{3M} = 0$, то уравнение (10) примет вид

$$U_{\text{ПР}} = \sqrt{3} \cdot U_\phi . \quad (12)$$

Следовательно, в данном случае человек оказывается под воздействием линейного напряжения сети.

Если принять равным нулю сопротивление заземления нейтрали R_3 , то

$$U_{\text{ПР}} = U_\phi , \quad (13)$$

т.е. человек окажется под фазным напряжением.

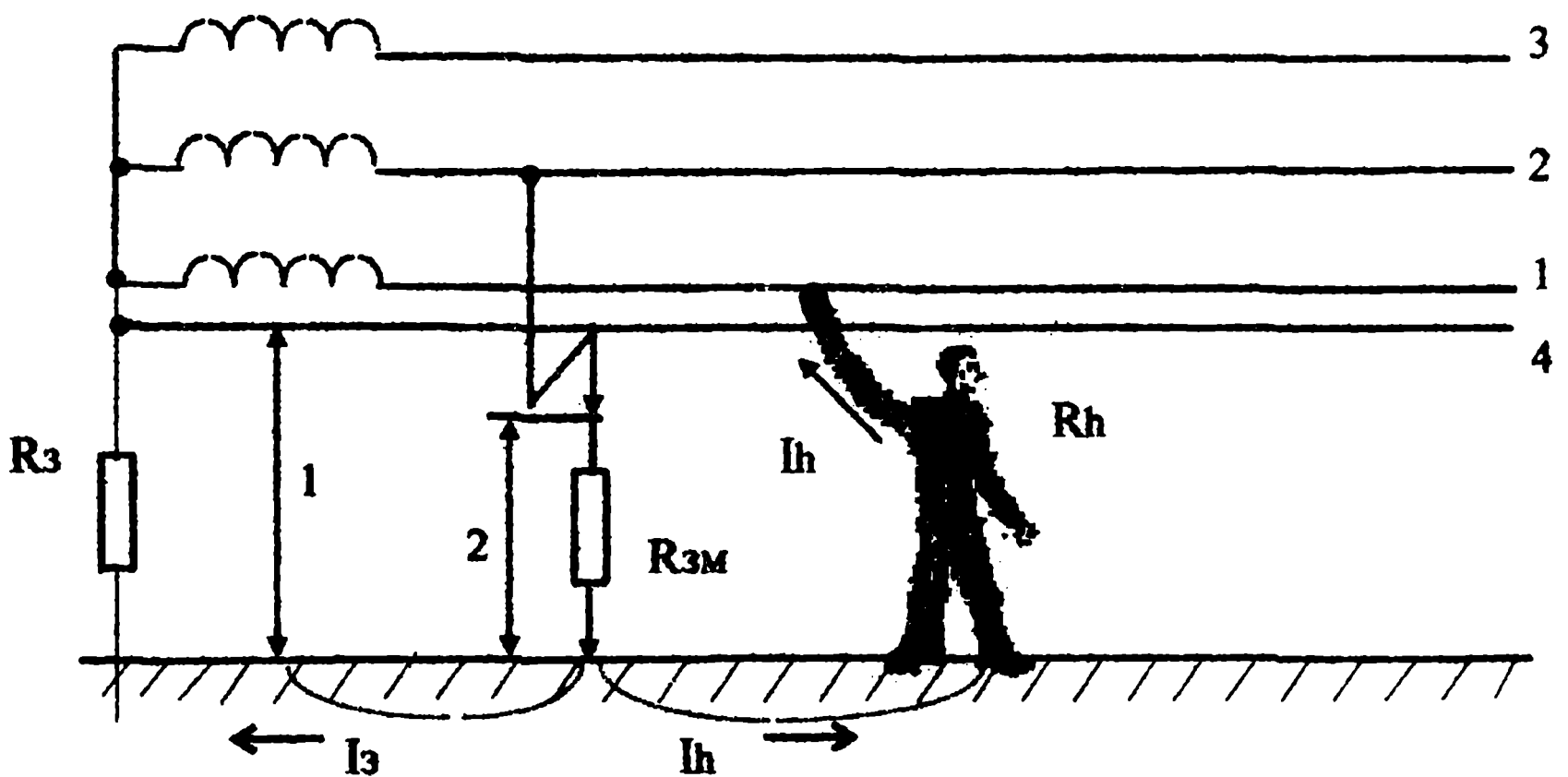
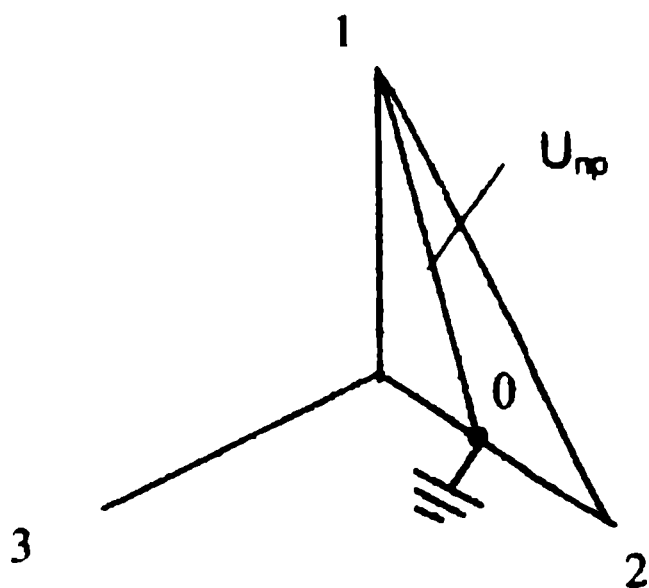


Рис. 4(а)

Однако в практических условиях сопротивления R_{3M} и R_3 всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трехфазной сети с заземленной нейтралью, всегда меньше линейного, но больше фазного, (рис. 4б), т.е.



$$U_{\phi} \sqrt{3} > U_{\text{пр}} > U_{\phi} \quad (14)$$

Рис. 4(б)

Таким образом, прикосновение человека к исправному фазному проводу сети с заземленной нейтралью в аварийный период более опасно, чем при нормальном режиме.

Выводы

1. При нормальном режиме работы сети прикосновение человека к одному из фазных проводов в период нормальной работы более опасно в четырехпроводной сети с заземленной нейтралью.

2. При аварийном режиме работы сети прикосновение человека к одному из фазных проводов в трехпроводной сети с изолированной нейтралью более опасно, чем прикосновение к здоровой фазе четырехпроводной сети с заземленной нейтралью.

ВЫБОР СХЕМЫ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

При напряжениях до 1000 В распространение получили обе схемы трехфазных сетей: трехпроводная с изолированной нейтралью и четырехпроводная с заземленной нейтралью. По технологическим требованиям предпочтение чаще отдается четырехпроводной сети, так как она позволяет использовать два рабочих напряжения – линейное и фазное.

По условиям безопасности сети с изолированной нейтралью целесообразно применять в тех случаях, когда возможно поддержание высокого уровня изоляции проводов относительно земли и когда емкость проводов относительно земли незначительна (короткие сети, находящиеся под постоянным надзором, электротехнические лаборатории и т.д.).

Сети с заземленной нейтралью следует применять там, где трудно обеспечить хорошую изоляцию проводов (из-за высокой влажности, агрессивной среды и т.д.) и тогда, когда нельзя быстро отыскать повреждение изоляции или когда емкостные токи из-за большой протяженности сетей достигают больших значений, опасных для человека (сети крупных предприятий, городские и сельские сети, сети собственных нужд электростанций и т.п.).

Экспериментальная часть

Работа производится на стенде путем моделирования основных параметров исследуемых сетей и определения величины тока, проходящего через человека при его соприкосновении с токоведущими частями. Схема стенда показана на рис. 5. Вместо реально существующих распределенных сопротивлений изоляции и емкостей проводов относительно земли на стенде предусмотрены сосредоточенные сопротивления и емкости, меняя величину которых, а также соотношение между ними, можно получить сеть с нужными параметрами. Тело человека имитируется в схеме стенда активным сопротивлением, которое может подключаться к каждому проводу сети переключателем.

Изменение тока, проходящего через это сопротивление, производится с помощью миллиамперметра с шунтами.

Техника безопасности при выполнении работы

1. Включать стенд под напряжение только с разрешения преподавателя.

2. Перед каждым измерением величины тока, проходящего через человека, определять ожидаемый предел измерения амперметра.

3. По окончании экспериментов все выключатели на стенде поставить в положение «откл».

Порядок проведения работы и содержание отчета

Для выявления изменения опасности прикосновения к фазным проводам в сети с разными режимами нейтрали (как в нормальном режиме, так и в аварийном) произвести изменения в следующем порядке.

I. Сеть с изолированной нейтралью

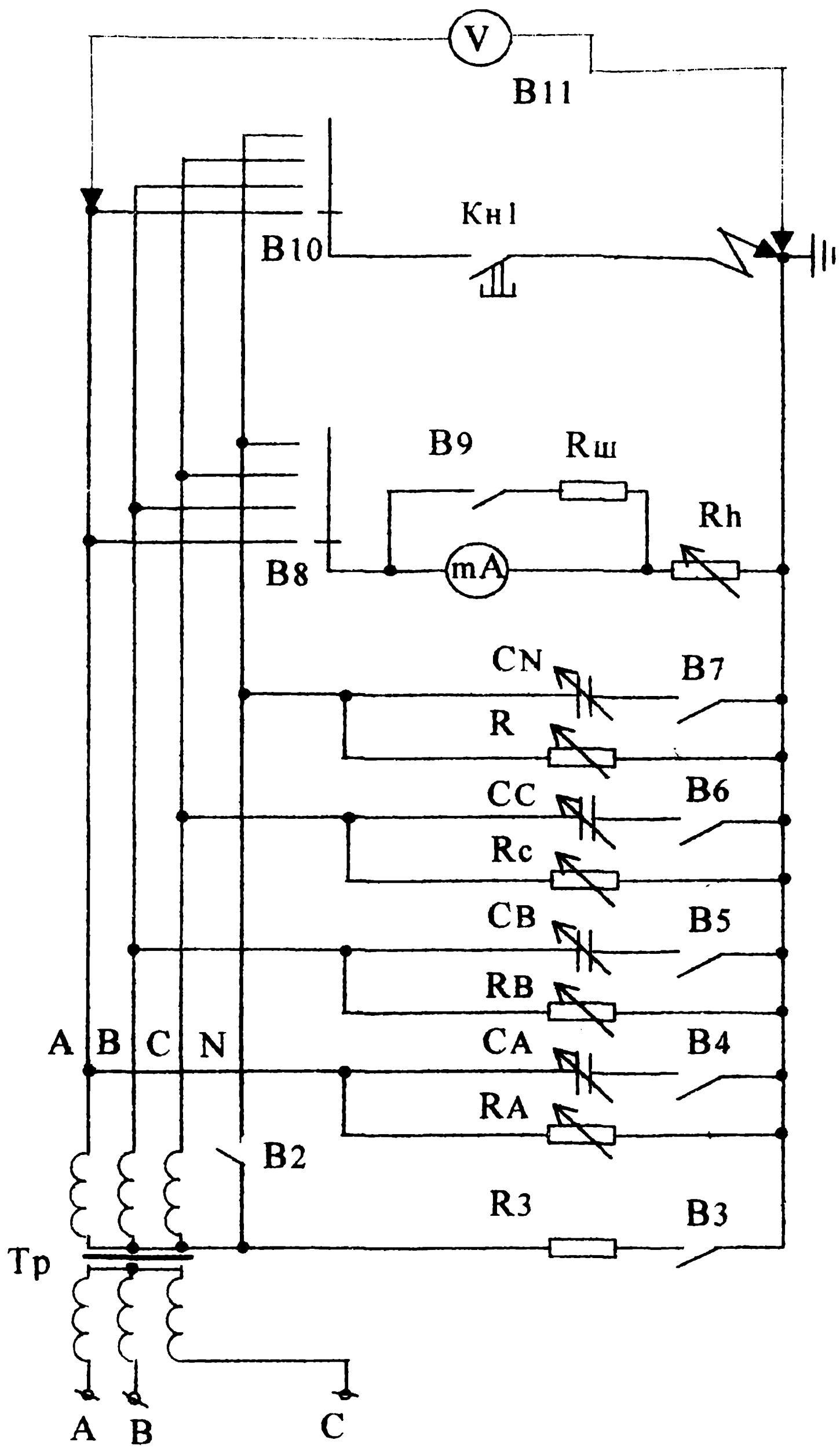
В начале работы все выключатели на стенде поставить в положение «откл».

Нормальный режим работы

1. Тумблеры В2, В3, В4, В5, В6, В7 отключить. В этом случае емкости проводов относительно земли равны нулю.

2. С помощью резисторов R_A , R_B , R_C установить соответствующее сопротивление изоляции проводов относительно земли при $R_A = R_B = R_C = \dots$. Сопротивления R_A , R_B , R_C задаются преподавателем (3÷4 значения).

3. Включить схему под напряжение тумблером В1 «Сеть».



4. Резистор R_h , имитирующий сопротивление тела человека, установить в положение, соответствующее заданному значению (задается преподавателем).

5. Переключатель В8 подключить поочередно к фазам А, В, С.

Этим имитируется прикосновение человека, стоящего на земле, к соответствующим фазам, т.е. измеряются токи, проходящие через человека I_{hA}, I_{hB}, I_{hC} . Показания миллиамперметра занести в табл. 1.

Таблица 1

Исследуемая сеть	Режим работы сети	Сопротивления изоляции			Емкости изоляции			Ток, проход. через человека		
		R_A	R_B	R_C	C_A	C_B	C_C	I_A	I_B	I_C
3 проводная с изолир. нейтралью	Норм. режим работы									

6. С помощью резисторов R_A, R_B, R_C установить разное сопротивление изоляции проводов относительно земли $R_A \neq R_B \neq R_C$. Сопротивления R_A, R_B, R_C задаются преподавателем (2÷3 значения). Переключатель В8 поочередно подключить к фазам А, В, С. Показания миллиамперметра занести в табл. 1.

7. Произвести замеры токов I_h при подключении емкости проводов,

$C_A = C_B = C_C = \dots$ (2÷3 значения, задаваемые преподавателем с помощью C_A, C_B, C_C).

$R_A, R_B, R_C = \text{const}$ (задается преподавателем; достаточно задать одно значение).

Результаты замеров токов внести в табл. 1.

Включить тумблеры В4, В5, В6.

Аварийный режим работы

8. В аварийном режиме работы проделать все аналогично пп. 1–7. Переключатель В10 поочередно подключать к фазам А, В, С с одновременным кратковременным нажатием кнопочного замыкателя КН1, которые имитируют аварийный режим, т.е. соприкосновение одного фазного провода с землей. Результаты замеров занести в табл. 1.

По окончании замеров выключить В1 «Сеть» и все тумблеры и переключатели поставить в положение «откл.».

II. Трехфазная четырехпроводная сеть с заземленной нейтралью

Нормальный режим работы

9. Заземлить нейтраль включением тумблеров В2, В3. Произвести все операции аналогично (пп. 5–7) для тех же значений сопротивлений изоляции и емкости. Данные внести в табл. 1.

Аварийный режим работы

10. В аварийном режиме работы измерения произвести так же, как и в п. 8 и для тех же значений сопротивлений изоляции и емкости. Данные замеров занести в табл. 1. По окончании замеров все выключатели и тумблеры поставить в положение «откл.». По данным замеров (пп. 5–9) и табл. 1 построить зависимость $I_h = f(R_{\text{изоляция}})$.

11. Дать заключение:

а) какая из двух исследуемых сетей более опасна в нормальном режиме работы и при замыкании одной фазы на землю;

б) как влияет емкость проводов на опасность поражения электрическим током.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое 3 и 4-проводные сети?
2. В каких случаях применяются 3 и 4-проводные сети?
3. Что такое нормальный и аварийный режим работы сетей?
4. Напишите формулы величины тока, проходящего через человека при касании к фазе в 3 и 4-проводных сетях?
5. Как влияет на величину тока человека сопротивление изоляции (емкости) проводов в 3 и 4-проводных сетях?
6. Значение защитных электротехнических средств при эксплуатации 3 и 4-проводных сетей. Значение сопротивления подошвы обуви и пола?
7. Под какое напряжение попадает человек в 3 и 4-проводных сетях в аварийном режиме работы?
8. Какая из сетей (3 или 4-проводная) более опасна при нормальном и аварийном режиме работы?
9. К какому фазному проводу 3 проводной сети прикосновение опаснее, если провода имеют различные сопротивления изоляции относительно земли ?

Библиографический список

1. Долин, П. А. Основы техники безопасности в электроустановках / П. А. Долин. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.
2. Охрана труда в электроустановках / под ред. Б.А. Князевского. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Охрана труда в машиностроении / под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1983.