

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
имени академика С. П. Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ  
В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

САМАРА 2004

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО И  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С. П. Королева»

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ  
В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

**Методические указания**  
к лабораторной работе № 20

САМАРА 2004

УДК 621.316.933.8

**Составители: Г. Ф. Несолонов, В. Н. Вякин, В. В. Варфоломеева.**  
**Исследование опасности поражения током в трехфазных электрических цепях:** Методические указания к лабораторной работе № 20 / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. – Самара, 2003. – 16 с.

Рассматриваются теоретические, нормативные и практические аспекты, влияющие на исход поражения электрическим током в различных схемах подключения человека к трехфазным электрическим цепям.

Рекомендуются для использования в курсах безопасности жизнедеятельности и охраны труда на всех факультетах СГАУ, а также слушателям ФПК. Разработаны на кафедре экологии и безопасности жизнедеятельности.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Н. Д. Проничев

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Анализ опасности поражения током человека в электрических цепях трехфазного тока напряжением до 1000 В. Прогнозирование условий безопасности в электрических цепях переменного тока

## 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Эксплуатация большинства машин связана с применением электрической энергии. Электрический ток называется переменным, если он периодически изменяет свое направление и величину. В настоящее время получение, передача и распределение электроэнергии происходит посредством трехфазной сети. Она была изобретена и разработана русским инженером М. О. Доливо-Добровольским. Преимуществом трехфазной сети является возможность получения различных напряжений в зависимости от соединения обмоток трансформаторов («звезда» и «треугольник»). Воздействие электротока на организм – результат замыкания электрической цепи через тело человека, т. е. прикосновение человека к двум точкам, имеющим разный потенциал, при этом тело становится участком электрической замкнутой цепи.

Электрический ток, проходя через организм, оказывает термическое (нагрев кожи, внутренних органов и ожоги), электролитическое (разложение крови и других органических жидкостей), биологическое (раздражение и возбуждение живых тканей, приводящее к судорожным сокращениям мышц, что приводит к нарушениям деятельности мышечной системы, органов кровообращения и дыхания) действия.

По характеру травм от воздействия электрического тока на организм различают местные электротравмы и общие (электрические удары). Местные электротравмы – это электрические ожоги (покраснение кожи, образование пузырей, омертвление кожи, обугливание, сгорание тканей под действием электрической дуги); электрические знаки (пятна на коже серого цвета 1...5 мм диаметром); металлизация кожи (проникновение оплавленного металла в ткани); механические повреждения; электроофтальмия (воспаление наружных оболочек глаза под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги).

Злектроудар бывает четырех степеней:

- 1) судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- 2) судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранением дыхания и работы сердца;
- 3) потеря сознания и нарушение сердечной деятельности и дыхания (или одного из них);
- 4) клиническая смерть.

Исход воздействия тока зависит от ряда факторов:

- от значения и длительности протекания тока через тело;
- рода и частоты тока, а также пути протекания его по телу;
- индивидуальных свойств человека;
- состояния окружающей среды.

Значение силы тока, протекающего по телу, является основным фактором, определяющим исход поражения. Чем сила тока больше, тем опаснее его действие [1]. Ощущение протекания тока через организм появляется у человека при значениях 0,6...1, 5 мА для переменного (50 Гц) и 6-7 мА для постоянного тока – это так называемые пороговые ощутимые токи. Эти токи не вызывают поражения, но длительное их воздействие недопустимо. Величина безопасных токов ограничивается 50 мкА для переменного тока и 100 мкА для

постоянного тока. Токи порядка 10...15 мА для переменного и 50...70 мА для постоянного являются пороговыми неотпускающими токами, т. е. это минимальная сила тока, при которой человек, будучи под его воздействием, не в состоянии самостоятельно освободиться от токоведущих частей из-за возникших судорожных сокращений мышц. При дальнейшем увеличении силы тока до 100 мА для переменного и 300 мА для постоянного и длительности протекания возникают фибрилляционные сокращения сердечных мышц. Эти токи называются пороговыми фибрилляционными токами. Токи более 5000 мА вызывают паралич дыхания и остановку сердца, минуя стадию фибрилляции, независимо от рода тока. Чем более продолжительно воздействие тока на человека, тем больше возрастает опасность, так как происходит накопление последствий воздействия и увеличивается вероятность попадания времени воздействия тока на неблагоприятный (наиболее уязвимый) период кардиоцикла, когда заканчивается сокращение желудков сердца и они переходят в расслабленное состояние (примерно 0,2 с).

Опасность воздействия переменного тока возрастает с ростом частоты тока до 50...60 Гц, при дальнейшем увеличении частоты тока происходит снижение опасности поражения и к 450...500 Гц она практически снижается до нуля. Это не значит, что токи частотой свыше 500 Гц неопасны, так как сохраняется опасность ожогов при возникновении электрической дуги. Постоянный ток при напряжениях менее 500 В в 4-5 раз менее опасен, чем переменный ток частотой 50 Гц. При увеличении напряжения постоянного тока свыше 500 В опасность поражения возрастает и становится более опасным, чем переменный ток.

С точки зрения пути прохождения тока по телу человека наиболее опасными являются пути голова-руки, голова-ноги, когда ток проходит через головной, спинной мозг, сердце и легкие, но эти случаи встречаются редко. Из наиболее часто встречающихся путей прохождения тока самым опасным является путь правая рука-ноги, при этом почти 7% значений проходящего тока приходится на сердце.

Наименьшую опасность представляет путь нога-нога, но этот случай как и многие другие вызывает судорожное сокращение мышц и падение, что приводит к более тяжелым ситуациям, чем, когда ток проходит по пути рука-ноги или другим путем.

На опасность поражения током влияет состояние здоровья человека, наличие заболеваний сердечно-сосудистой системы, кожи и др. Играет роль психологический настрой человека, его «ожидание» поражения. Женщины и дети подвергаются большей опасности при действии тока, чем мужчины и взрослые.

Состояние окружающей среды влияет на сопротивление человека, чем меньше сопротивление, тем больше величина тока и опасность поражения. Повышенная температура воздуха, приводящая к усиленному потовыделению организма, уменьшение давления, повышенная влажность воздуха ведут к снижению сопротивления человека.

Значение тока, проходящего через организм человека при подключении его в цепь, зависит от следующих факторов:

- схемы включения человека в цепь;
- напряжения в цепи;
- схемы сети;
- режима нейтрали;
- степени изоляции токоведущих частей от земли;

– значения емкости токоведущих частей относительно земли.

Наиболее характерными схемами включения человека в электрическую сеть являются двухфазное включение, т. е. прикосновение человека одновременно к двум фазам, и однофазное, когда человек прикасается к одной фазе и к земле.

Наиболее опасным является двухфазное включение, так как сила тока, проходящая через человека, будет определяться приложенным линейным

$$\text{(максимальным) напряжением в } I_h = \frac{U_{\text{л}}}{R_h} = 1,73 \cdot \frac{U_{\phi}}{R_h} \quad (1)$$

где  $U_{\text{л}}$  – линейное напряжение, равно  $\sqrt{3} U_{\phi}$ , В;

$U_{\phi}$  – фазовое напряжение, В;

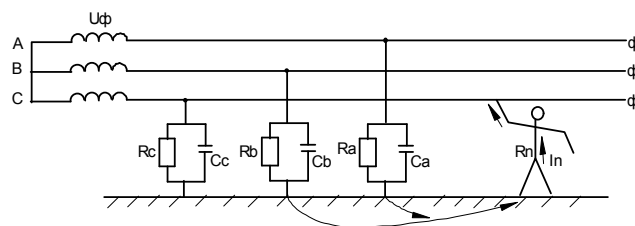
$R_h$  – сопротивление человека, Ом.

При таком включении создается опасность для жизни человека вне зависимости от того какой вид сети – с изолированной или заземленной нейтралью, а также изолирован ли она от земли или нет. Двухфазное включение в сеть происходит реже, чем однофазное.

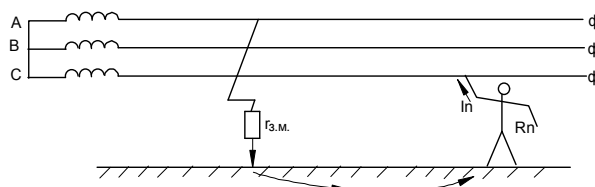
Схемы четырех видов включения в сеть человека:

### **Трехпроводная сеть с изолированной нейтралью**

а) нормальный (штатный) режим работы

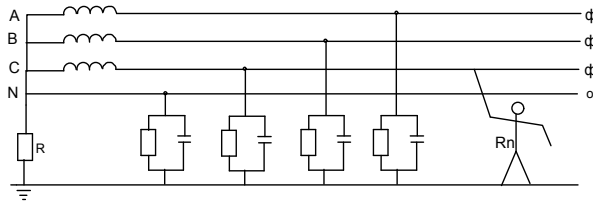


б) аварийный режим работы

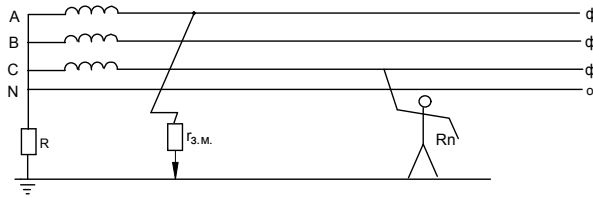


### **Четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью:**

а) нормальный (штатный) режим работы



б) аварийный режим работы



Однофазное включение является менее опасным, чем двухфазное, однако расчет напряжения прикосновения ( $U_{пр}$ ) и тока, проходящего через тело человека  $I_h$ , более сложен.

Рассмотрим наиболее сложный случай расчета для трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью через активное и индуктивное сопротивление и сопротивлением изоляций проводов (Ом) и их емкостью (Ф) относительно земли не равными между собой, т. е.

$$R_A \neq R_B \neq R_C \neq R_N,$$

$$C_A \neq C_B \neq C_C \neq C_N.$$

Полная проводимость изоляции проводов в комплексной форме равна

$$Y_A = \frac{1}{R_A} + j \cdot \omega \cdot C_A; \quad Y_B = \frac{1}{R_B} + j \cdot \omega \cdot C_B;$$

$$Y_C = \frac{1}{R_C} + j \cdot \omega \cdot C_C; \quad Y_N = \frac{1}{R_N} + j \cdot \omega \cdot C_N;$$

$$Y_0 = \frac{1}{R_0} + j \cdot \frac{1}{\omega \cdot L},$$

а полная проводимость человека,  $Y_h = \frac{1}{R_h}$ .

Тогда уравнение напряжения в комплексной форме, приложенное к телу человека, прикоснувшегося к фазе C рассматриваемой сети будет иметь следующий вид:

$$\dot{U}_{пр} = U_{\phi} \cdot \frac{Y_B \cdot (1 - a^2) + Y_C \cdot (1 - a) + Y_N + Y_0}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N + Y_0 + Y_h} \quad (2)$$

где  $a = -\frac{1}{2} + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$  – фазный оператор, учитывающий сдвиг фаз.

Соответственно ток, проходящий через человека,

$$\dot{I}_h = \dot{U}_{\text{пр}} \cdot Y_h \quad (3)$$

Используя уравнения (2) и (3), проанализируем условия функционирования электрооборудования, подсоединенного к трехфазной сети.

### Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

Для анализируемой схемы  $Y_0 = \frac{1}{R_0}$ .

При *нормальной работе сети*  $Y_A = Y_B = Y_C + Y_N \ll Y_0$  и с небольшим приближением их можно принять равными нулю. Тогда

$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \cdot \frac{Y_0}{Y_0 + Y_h} = \frac{U_{\phi} \cdot R_h}{R_0 + R_h},$$

$$I_{\text{пр}} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_h}.$$

По правилам устройства электроустановок  $R_3 \leq 100$  Ом, т. е. в трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью человек оказывается практически под фазным напряжением.

При *аварийном режиме*, когда одна фаза (С) сети замкнута на землю через относительно малое сопротивление, выражение (2) имеет вид

$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \cdot \frac{Y_{3.м.} \cdot (1 - a) + Y_0}{Y_{3.м.} + Y_0 + Y_h}.$$

Подставив в это выражение соответствующие значения проводимости и выполнив преобразования, получим

$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \cdot R_h \cdot \frac{r_{3.м.} + \sqrt{3} \cdot R_0}{r_{3.м.} \cdot R_0 + R_h \cdot (r_{3.м.} + R_0)}.$$

Если взять два крайних случая:

$$1) \quad r_{3.м.} \ll R_0, \text{ т. е. } r_{3.м.} \approx 0,$$

тогда  $U_{\text{пр}} \approx \sqrt{3} U_{\phi}$ ;

$$2) \quad r_{3.м.} \gg R_0, \text{ т. е. } R_0 \approx 0,$$

тогда  $U_{\text{пр}} \approx U_{\phi}$ .



**Вывод.** Напряжения прикосновения человека при аварийном режиме для трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью всегда меньше линейного, но больше фазного.

### Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

Для такой сети  $Y_N = Y_0 = 0$ .

При *нормальной работе* сети и касании человека к одной из фаз (А) ток, проходящий через человека, можно определить

$$i_h = U_\phi \cdot Y_N \cdot \frac{Y_B \cdot (1 - a^2) + Y_C \cdot (1 - a)}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_h}$$

$$\dot{I} = U_\phi Y_N \frac{Y_B(1 - a^2) + Y_C(1 - a)}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_h},$$

Если предположить что сопротивление изоляции и емкости проводов относительно земли равны, т. е.  $R_A = R_B = R_C = R$ ,  $C_A = C_B = C_C = C$ , то ток через человека в комплексной фазе будет

$$Y_h = \frac{1}{R_h + \frac{Z}{3}},$$

где  $Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C}$  – комплекс полного сопротивления провода относительно земли, Ом.

В действительной форме

$$Y_h = \frac{U_\phi}{R_h} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R \cdot (R + 6R_h)}{9R_h^2 \cdot (1 + r^2 \cdot \omega \cdot C^2)}}}$$

$$Y_h = \frac{U_\phi}{R_h} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R(R + 6R_h)}{9R_h^2(1 + r^2 \omega^2 C^2)}}}$$

Рассмотрим два крайних случая:

1) когда сопротивление  $R \neq 0$ , а  $C = 0$  ( в коротких воздушных цепях), тогда

$$Y_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{R}{3}}$$

2) когда  $R = \infty$ , и  $C \neq 0$ , тогда

$$Y_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + \left(\frac{X_C}{3}\right)^2}},$$

где  $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$  – емкостное сопротивление,

$\omega = 2\pi \cdot f$ , и частота промышленного переменного тока  $f = 50$  Гц.

В сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одной из фаз при нормальной работе сети, зависит от сопротивления проводов относительно земли: с увеличением сопротивления опасность уменьшается.

При *аварийном режиме работы* сети сила тока, протекающего через человека, в комплексной форме равна

$$\dot{i}_h = U_\phi \cdot Y_h \cdot \frac{Y_C \cdot (1 - a)}{Y_C + Y_h}.$$

Проведя соответствующие преобразования в действительной форме получим

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot U_\phi}{R_h + r_{3.м.}}$$

Так как  $r_{3.м.} \ll R_h$ , то  $U_{пр} \approx \sqrt{3} \cdot U_\phi$ , т. е. напряжение, под которым находится человек, прикоснувшийся в аварийном режиме к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью, будет значительно больше фазного и несколько меньше линейного напряжения в сети.

Этот случай, однако более опасен, чем прикосновение к фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью.

Выбор схемы сети трехфазного тока осуществляется с учетом технологических требований к сети и по условиям безопасности. Согласно Правилам устройства электроустановок при напряжении до 1000 В применяют только трехпроводную сеть с изолированной нейтралью и четырехпроводную сеть с заземленной нейтралью. Другие виды сетей не применяются из-за невозможности обеспечить безопасность персонала обычными способами (т. е. заземлением и занулением). По технологическим требованиям предпочтение отдается четырехпроводной сети с заземленной нейтралью из-за возможности использовать два рабочих напряжения: линейное и фазное.

С точки зрения безопасности, сети с изолированной нейтралью применяют в

тех случаях, когда есть возможность поддерживать высокий уровень изоляции

проводов или когда емкость сети относительно земли мала (сети лабораторий,

небольших предприятий и т. п.).

Сети с заземленной нейтралью применяют на больших заводах, на участках с агрессивной средой и т. п.

## **2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

### **2.1 Используемая аппаратура**

Исследования электробезопасности трехфазных сетей проводятся на стенде СТ9А, выполненном в виде переносного прибора. Все органы управления стендом находятся на передней панели. После подключения прибора к сети напряжение на стенде включается тумблером «сеть» (1), при этом должны загореться лампочки индикации (2) для контроля включения питания по фазам. Тумблеры «В2» (3) и «В3» (4) служат соответственно для подключения нейтрали и заземления нейтрали и включаются только для исследования четырехпроводных сетей. Тумблеры «В4», «В5», «В6», «В7» служат для подключения емкости сети (фаз и нейтрали) с помощью регулировки «СА»; «СВ»; «СС»; «СN» для варьирования величины емкости изоляции в фазах и нейтрали. Приборами 5 и 6 измеряют соответственно напряжение и силу тока в фазах, подключая их в сеть переключателями соответственно «В8» и «В11». Переключатель «В9» служит для отключения шунта при кратковременном измерении малых токов. Регулировка «R<sub>н</sub>» служит для изменения величины сопротивления тела человека (от 1кОм до 11кОм). С помощью переключателя «В10» происходит подключение фаз к кнопке «В<sub>н1</sub>», которая служит для имитации аварийного режима, т. е. короткого замыкания. Регулировки «А», «В», «С», «N» служат для изменения сопротивления изоляции фаз.

### **2.2 Техника безопасности**

При выполнении работы необходимо соблюдать основные правила безопасности при работе с лабораторными приборами общего применения:

1. Приступать к работе, только изучив инструкцию по её выполнению и получив задание от преподавателя.
2. Перед включением стенда в сеть убедиться в исправности сетевого соединительного кабеля, защитного заземления. В случае их неисправности работу не начинать и доложить преподавателю. Убедиться, что стенд подсоединен к шине заземления.
3. Во время работы соблюдать порядок включения и выключения установки в соответствии с настоящей инструкцией.
4. Запрещается:
  - Оставлять включенный стенд без надзора.
  - Проводить операции измерения, не предусмотренные заданием.
5. При аварийных ситуациях обесточить установку, отключив её от сети.

### **2.3 Исходное состояние органов управления**

Перед началом работы приведите лабораторную установку в исходное состояние:

- Тумблеры В1...В7 (включительно) установите в нижнее положение.
- Переключатели В8; В10; В11 и ручки регулировки С<sub>А</sub>, С<sub>В</sub>, С<sub>С</sub>, С<sub>Н</sub> установите в крайнее левое положение.

- Переключатель В9 и ручки регулировки  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ ,  $R_N$  установите в крайнее правое положение.

## **2.4 Исследование прикосновения человека к трехфазной сети**

### **2.4.1 Четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью**

2.4.1.1. Соберите схему на стенде. Для чего включите тумблеры В2, В3 и В1 (сеть).

2.4.1.2. Используя переключатель В11, измерьте линейное  $U$  (А-В) и фазное  $U$  (А-⊥) напряжения.

2.4.1.3. Переключатель В8 поставьте в положение «А», имитируя прикосновение человека к фазе «А», а переключатель В11 в положение А-⊥, и снимите показания напряжения прикосновения ( $U_{пр}$ ) и силу тока через человека ( $I_h$ ), при прикосновении к фазе А в нормальном режиме работы сети. Результаты запишите в отчет.

2.4.1.4. Переключатель В10 установите в положение «В». Кнопкой Кн1 замкните фазу В на «землю» и также снимите показания приборов  $U_{пр АВ.Р}$  и  $I_{АВ.Р}$  при прикосновении человека к исправной фазе А при аварийном режиме фазы В. Результаты занесите в отчет.

### **2.4.2 Изолированная нейтраль**

2.4.2.1. Соберите схему с изолированной нейтралью, отключив тумблеры В2 и В3.

2.4.2.2. Установите сопротивление изоляции фаз относительно земли  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ , равное 10 кОм (риска 2). Переключатель В8 установите в положение «А», а В11 в положение «А – ⊥» и запишите в отчет  $U_{пр}$  и  $I_h$ , действующие на человека при штатном режиме работы сети. (При условии, что  $C_A = C_B = C_C = 0$ ). Если показания на приборе отсутствуют, переключатель В9 переведите в левое положение.

2.4.2.3. Установите сопротивление изоляции фаз относительно земли  $R_A = R_B = R_C = 48$  кОм (риска 10) и занесите значения в отчет.

2.4.2.4. Включите тумблеры В4; В5, В6 (вверх). Установите емкость фаз относительно земли  $C_A = C_B = C_C = 1$  мкФ (риска 5) и снимите значения  $U_{пр}$  и  $I_h$ , затем установите величину емкости 2 мкФ (риска 10) и также снимите показания  $U_{пр}$  и  $I_h$ . Данные занесите в отчет.

2.4.2.5. Переключатель В10 установите в положение «В», тумблеры В4, В5 и В6 отключите (вниз). Кнопкой Кн1 замкните фазу «В» сети на «землю» и снимите показания приборов ( $U_{пр}$  и  $I_h$ ) при прикосновении человека к исправной фазе А при аварийном режиме фазы 3. Результаты измерений занесите в отчет.

## **2.5 Оформление отчета**

2.5.1. Оформите отчет. Сделайте выводы о степени опасности прикосновения человека:

- в случае однофазного и двухфазного включения;
- в случае нормального или аварийного режима работы сети;
- в случае использования трехфазных: 3-проводной или 4-проводной сетей.

2.5.2. Сравните с «критериальными» токами. Сделайте вывод о возможной степени поражения человека электротоком при различных режимах работы сетей.

2.5.3. Рассчитайте по уравнениям и сравните с экспериментальными данными.

При расчетах считать  $R_h = 1 \text{ кОм}$ ,  $r_{3M} = 20 \text{ Ом}$ , и  $R_o = 4,7 \text{ Ом}$ .

## **2.6 Контрольные вопросы**

1. Какое воздействие оказывает электрического ток на организм человека?
2. Какие виды травм бывают при воздействии электрического тока на человека?
3. Как зависит воздействие тока на организм от силы тока? Что такое пороговые, ощутимые токи, неотпускающие токи, фибрилляционные токи?
4. Как влияет опасность поражения электрическим током в зависимости от рода тока и его частоты?
5. Почему двухфазное включение человека в сеть считают более опасным?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов, 2-е изд., испр. и доп. / Под ред. С. В. Белова. – М.: «Высшая школа», 1999.
2. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие для вузов / В. Е. Анофриков, С. А. Бобок, М. Н. Дудко, Г. Д. Елистратов. – М.: Финстатинформ, 1999.
3. Охрана труда. / Под ред. Б. А. Князевского. – М.: Высшая школа, 1972.
4. Охрана труда в строительстве. Инженерные решения: Справочник / В. И. Русин, Г. Г. Орлов, Н. М. Неделько и др. – Будивэльнык, 1990.
5. Охрана труда в энергетике. / Под ред. Б. А. Князевского. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Долин П. А. Действия электрического тока на человека и первая помощь пострадавшему. 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1976.
7. Стенд «Исследование электробезопасности 3-фазных сетей ОТ 9А ПС». Паспорт. Техническое описание, 1986.
8. Касаткин А. С. Основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1966.

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ  
В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ»**

Методические указания к лабораторной работе № 20

Составители: Г. Ф. Несолонов, В. Н. Вякин, В. В. Варфоломеева

Редактор Т. К. Кретинина

Компьютерная верстка И. И. Спиридонова

Подписано в печать Формат 60x84 1/16

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. Усл. кр.-отт. Уч.-изд. л.

Тираж Заказ Арт. С - /2004-10-03

Самарский государственный аэрокосмический университет.

44086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

РИО Самарского государственного аэрокосмического университета.

44086, г. Самара, Московское шоссе, 34.