

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ «БРЯНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

**Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е.  
Лавров В.И.**

**ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИКИ,  
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ  
И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ**



**Брянск – 2012**

УДК 373.1.[658.345 + 620.9.004.18] (075.8)

ББ 40.76я73

X 73

**Христофоров, Е.Н.** *ОСНОВЫ ЭНЕРГЕРИКИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ*: учебное пособие/Е.Н. Христофоров, Н.Е. Сакович, В.И. Лавров. – Брянск.: Изд-во ФГБОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия», 2012. – 319 с.

Материал пособия написан с использованием действующих нормативных документов и другой технической литературы и может быть полезен студентам вузов, а также специалистам энергослужб в решении вопросов обеспечения безопасной эксплуатации электрооборудования.

Описаны методы создания безопасных условий труда при эксплуатации электроустановок.

Пособие позволяет изучить основы энергосберегающих технологий в быту и на производстве, сформировать подход к решению энергосберегающих задач.

Рецензенты:

д.т.н., профессор, зав каф «Систем энергообеспечения», Брянская ГСХА.  
Маркарянц Л.М.

Учебное пособие одобрено методической комиссией факультета энергетики и природопользования №13 от 27. 03. 2012 г.

© Христофоров Е.Н., 2012

© Сакович Н.Е., 2012

© Лавров В.И., 2012

© Брянская ГСХА, 2012

## **Введение**

Преимущества электрической энергии перед другими видами энергии неоспоримы. Но, она невидима, не имеет запаха и цвета, и поэтому очень опасна, если не знать особенностей эксплуатации электрооборудования, правил техники безопасности и не соблюдать их. Безграмотное, халатное, невнимательное обращение с электрооборудованием, как на производстве, так и в быту приводит к несчастным случаям.

Основная задача персонала, обслуживающего электроустановки, - обеспечение надежной и бесперебойной работы электрооборудования, длительной сохранности его и экономичного расходования электроэнергии. Специалисты, обслуживающие электрооборудование, должны знать устройство и принцип работы электроустановок, быстро и умело находить неисправности и устранять их, знать объем и способы испытаний электрооборудования. Владельцы электроустановок несут ответственность как за техническое состояние электроустановок и качество проведения эксплуатационных мероприятий, так и за соблюдение мер безопасности.

В вопросах электробезопасности промышленных и сельских электроустановок в последние годы произошли серьезные изменения, связанные с приведением требований к отечественным электроустановкам в соответствие с требованиями Международной электротехнической комиссии.

## **Оглавление**

Раздел I. ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИКИ.....	5
Глава 1. Технология производства электроэнергии.....	5
1.1. Циклы основных тепловых электрических станций.....	5
1.1.1. Общие сведения и типы электростанций.....	5
1.1.2. Паротурбинные электрические станции.....	8
1.1.3. Цикл газотурбинной установки.....	22
1.1.4. Парогазовые установки.....	28
1.1.5. Атомные станции.....	32
1.1.5.1. Общие положения.....	32
1.1.5.2. Циклы АЭС и их эффективность.....	36
1.1.5.3. Циклы паротурбинных АЭС.....	40
1.2. Гидроэлектрические станции.....	45
1.2.1. Общие положения.....	45
1.2.2. Энергия речного водотока.....	49
1.2.3. Схемы создания напора и основное оборудование ГЭС.....	53
1.2.3.1. Напоры гидроэлектрических станций.....	56
1.2.3.2. Гидротурбины.....	58
1.2.4. Энергия и мощность ГЭС.....	62
1.2.5. Нетрадиционные источники энергии.....	65
1.2.5.1. Энергия Солнца.....	66
1.2.5.2. Приливная энергия.....	67
1.2.5.3. Энергия волн.....	68
1.2.5.4. Энергия ветра.....	68
1.2.5.5. Энергия биомассы.....	68
Раздел II. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ.....	75
Глава 1. Основные направления энергосбережения.....	75
1.1. Нормативные документы в области энергосбережения.....	75
1.2. Структура и принципы управления энергосбережением.....	82
1.3. Планирование энергосберегающих мероприятий.....	85
1.3. Планирование энергосберегающих мероприятий.....	86

1.5. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.....	89
1.6. Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР), их классификация.....	93
Глава 2. Бытовое энергосбережение.....	96
2.1. Экономичные источники света.....	96
2.2. Электробытовые приборы и их эффективное использование.....	99
2.3. Бытовые приборы регулирования, учета и контроля теплоты.....	109
2.4. Учет холодной и горячей воды, учет газа.....	115
2.5. Повышение эффективности систем отопления.....	116
2.6. Автономные энергоустановки.....	119
2.7. Тепловые потери в зданиях и сооружениях.....	120
2.8. Тепловая изоляция зданий и сооружений.....	130
2.9. Пофасадное регулирование теплового режима зданий.....	139
Раздел III. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ.....	141
Глава 1. Общие вопросы электробезопасности.....	141
1.1. Действие электрического тока на человека.....	141
1.2. Классификация электроустановок и помещений по степени опасности поражения в них электрическим током.....	145
1.3. Требования безопасности к персоналу, обслуживающему электроустановки.....	147
Глава 2. Защита от поражения током из – за прикосновения к токоведущим частям под напряжением.....	151
2.1. Изоляция проводов и режим работы нейтральной точки сети как факторы электробезопасности.....	151
2.2. Ограждения незаизолированных проводов или безопасное их расположение.....	154
2.3. Блокировки, обеспечивающие безопасность в электроустановках.....	155
2.4. Переносные индикаторы и автоматические сигнализаторы напряжения.....	160

2.5. Электрозакщитные средства.....	164
Глава 3. Защитное заземление.....	169
3.1. Принцип действия защитного заземления.....	169
3.2. Конструкции заземляющих устройств.....	177
3.3. Классификация электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения током.....	184
3.4. Уравнивание и выравнивание потенциалов, изолирующие площадки.....	185
3.5. Защита от опасности перехода на провода с напряжением 380/220 В более высокого напряжения.....	188
Глава 4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК .....	190
4.1. Общие правила электробезопасности при работе в действующих электроустановках.....	190
4.2. Особенности правил электробезопасности при работе в электроустановках напряжением до 1000 В.....	197
4.3. Особенности правил электробезопасности при работе в электроустановках напряжением выше 1000 В.....	200
4.4. Основные особенности правил электробезопасности при работах на ВЛ.....	203
4.5. Особенности правил безопасности при эксплуатации мачтовых понижительных подстанций.....	207
4.6. Особенности правил безопасности при эксплуатации генераторов и электродвигателей.....	208
4.7. Требования безопасности при измерениях испытаниях и приемке установок в эксплуатацию.....	209

4.8. Особенности требований электробезопасности в жилых и общественных зданиях.....	213
Глава 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК.....	217
5.1. Общие теоретические сведения и определения.....	217
5.2. Основные теоретические положения, связанные с электробезопасностью человека.....	229
5.2.1. Двухполюсное прикосновение к токоведущим частям.....	229
5.2.2. Двухполюсное прикосновение к токоведущим частям.....	230
5.2.3. Прикосновение к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением.....	231
5.2.4. Напряжение прикосновения.....	232
5.3. Задания по теме "Токи замыкания на землю".....	234
5.4. Задания по теме «Режимы опасного прикосновения человека и сельскохозяйственных животных в электрической цепи».....	241
5.5. Задания по теме "Технические средства защиты".....	248
Глава 6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.....	250
6.1. Нормативные документы.....	250
6.2. Техника безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.....	252
6.2.1. Производство работ в электроустановках.....	253
6.2.2. Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках.....	255
6.3. Ответственные за безопасность работ, их права и обязанности.....	256
6.3.1. Допуск бригады к работе по наряду.....	258
6.3.2. Наблюдение за работой, изменение состава бригады.....	260
6.3.3. Оформление перерывов в работе.....	261
6.3.4. Окончание работы, закрытие наряда, включение оборудования в работу.....	262
6.3.5. Организация работ по распоряжению.....	262
6.3.6. Организация работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации.....	264

6.4. Оперативное обслуживание электроустановок.....	264
6.5. Особенности систем электроснабжения и защиты электроустановок в Европе.....	266
6.6. Электрозщитные средства.....	268
6.6.1. Основные и дополнительные средства защиты.....	268
6.6.2. Правила содержания и использования защитных средств.....	269
6.7. Технические требования к отдельным средствам защиты.....	271
6.7.1. Общие положения.....	271
6.7.2. Штанги оперативные и штанги переносных заземлений.....	272
6.7.3. Клещи изолирующие и электроизмерительные.....	272
6.7.4. Указатели напряжения.....	274
6.7.5. Указатель повреждения кабелей светосигнальный.....	275
6.7.6. Средства защиты из диэлектрической резины.....	276
6.8. Техника безопасности при эксплуатации различных видов электрооборудования.....	280
6.8.1. Общие требования по охране труда при работах в электроустановках.....	280
6.8.2. Распределительные электрические сети.....	283
6.8.3. Электродвигатели.....	289
6.8.4. Силовая и осветительная проводка, осветительные установки.....	293
6.8.5. Электротермические установки. Элементные водонагреватели.....	295
6.8.6. Трехфазные электродные котлы и водонагреватели.....	297
6.8.7. Однофазные отопительные электродные нагреватели.....	299
6.8.8. Электрические калориферные установки.....	299
6.8.9. Электрообогреваемые полы.....	299
6.8.10. Парники и теплицы с электрическим обогревом.....	300
6.8.11. Электрическая сварка.....	301
6.8.12. Работа с паяльной лампой.....	303
6.8.13. Переносные электроприемники.....	304
6.8.14. Наладка и испытания электрооборудования.....	306
6.8.15. Электроустановки общественных зданий, жилых домов, приуса-	

дебных и садовых участков.....	308
Контрольные вопросы.....	316
Литература.....	319

## **Раздел I. ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИКИ**

### **Глава 1. Технология производства электроэнергии**

#### **1.1. Циклы основных тепловых электрических станций**

##### **1.1.1. Общие сведения и типы электростанций**

В настоящее время для получения электрической энергии используют следующие типы электростанций:

– тепловые электростанции (ТЭС), которые подразделяются на конденсационные (КЭС), теплофикационные (теплоэлектроцентрали — ТЭЦ) и газотурбинные (ГТУ). Крупные КЭС, обслуживающие потребителей значительного района страны, получили название государственных районных электростанций (ГРЭС);

– гидроэлектростанции (ГЭС) и гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС);

– атомные электростанции (АЭС);

– гелиоэлектростанции или солнечные электростанции (СЭС);

– геотермальные электростанции (ГТЭС);

– дизельные электростанции (ДЭС);

– приливные электростанции (ПЭС);

– ветроэлектростанции (ВЭС).

Большую часть электроэнергии (как в России, так и в мировой энергетике) вырабатывают ТЭС, АЭС и ГЭС. Состав электростанций различного типа по установленной мощности зависит от наличия и размещения по территории страны гидроэнергетических и теплоэнергетических ресурсов, их технико-экономических характеристик, включая затраты на транспортировку топлива, а также от технико-

экономических показателей электростанций.

Рассмотрим некоторые особенности электростанций, которые в той или иной степени приходится учитывать при их строительстве и эксплуатации.

**Тепловые конденсационные электростанции** строят по возможности ближе к местам добычи топлива, удобным для водоснабжения. Их выполняют из ряда блочных агрегатов (котел – турбогенератор – повышающий трансформатор) мощностью от 200 до 1200 МВт, выдающих выработанную энергию в сети 110 – 750 кВ. Особенность агрегатов КЭС заключается в том, что они недостаточно маневренны: подготовках пуску, разворот, синхронизация и набор нагрузки требуют от 3 до 6 часов. Поэтому для них предпочтительным является режим работы с равномерной нагрузкой в пределах от номинальной до нагрузки, соответствующей техническому минимуму, определяемому видом топлива и конструкцией агрегата. Коэффициент полезного действия КЭС не превышает 32 – 40%. Они существенно влияют на окружающую среду – загрязняют атмосферу, изменяют тепловой режим источников водоснабжения.

**Теплофикационные электростанции** строят вблизи потребителей тепла, при этом используется обычно привозное топливо. Работают эти электростанции наиболее экономично (коэффициент использования тепла достигает 60 – 70%) при нагрузке, соответствующей тепловому потреблению и минимальному пропуску пара в часть низкого давления турбин и в конденсаторы. Единичная мощность агрегатов составляет 30 – 250 МВт. Станции с агрегатами до 60 МВт включительно выполняют в тепломеханической части с поперечными связями по пару и воде, в электрической части — со сборными шинами 6 – 10 кВ и выдачей значительной части мощности в местную распределительную сеть. Станции с агрегатами 100 – 250 МВт выполняют блочного типа с выдачей мощности в сети повышенного напряжения. Надо отметить, что ТЭЦ, как и КЭС, существенно влияют на окружающую среду.

**Атомные электростанции** могут быть сооружены в любом географическом районе, в том числе и труднодоступном, но при наличии источника водоснабжения. Количество (по массе) потребляемого топлива (уранового концен-

трата) незначительно, что облегчает требования к транспортным связям. АЭС состоят из ряда агрегатов блочного типа, выдающих энергию в сети повышенного напряжения. Агрегаты АЭС, в особенности на быстрых нейтронах, неманевренны, так же как и агрегаты КЭС. По условиям работы и регулирования, а также по технико-экономическим соображениям предпочтительным является режим с относительно равномерной нагрузкой. АЭС предъявляют повышенные требования к надежности работы оборудования. Коэффициент полезного действия составляет 35 – 38%. Практически АЭС не загрязняют атмосферу. Выбросы радиоактивных газов и аэрозолей незначительны, что позволяет сооружать АЭС вблизи городов и центров нагрузки. Трудной проблемой является захоронение или восстановление отработанных топливных элементов.

**Гидроэлектростанции** сооружаются там, где имеются гидроресурсы, а также условия для строительства, что часто не совпадает с расположением потребителей электроэнергии. При сооружении ГЭС обычно пытаются решить комплекс задач, а именно: выработка электроэнергии, улучшение условий судоходства, орошение. Единичная мощность гидроагрегатов достигает 640 МВт. Электрическую часть выполняют по блочным схемам генераторы – трансформаторы с выдачей мощности в сети повышенного напряжения. Гидроагрегаты высокоманевренны: разворот, синхронизация с сетью и набор нагрузки требуют 1 – 5 мин. При наличии водохранилищ ГЭС может быть целесообразно использована для работы в пиковой части суточного графика нагрузки системы с частыми пусками и остановами агрегатов. Коэффициент полезного действия ГЭС составляет 85 – 87%. Станции существенно влияют на водный режим рек, рыбное хозяйство, микроклимат в районе водохранилищ, а также на лесное и сельское хозяйства, поскольку создание водохранилищ связано с затоплением значительных полезных для народного хозяйства площадей.

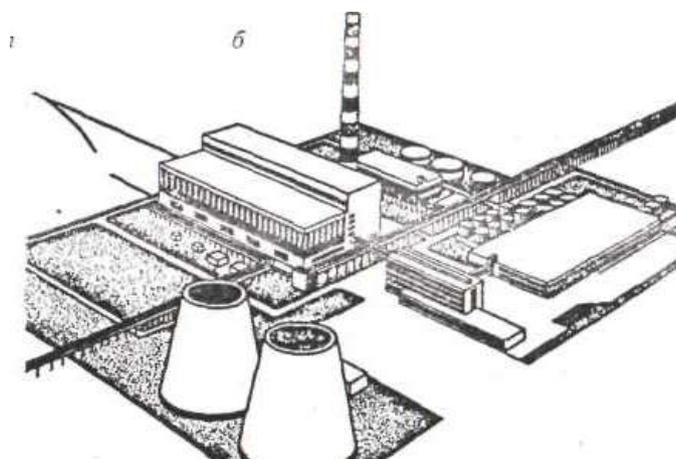
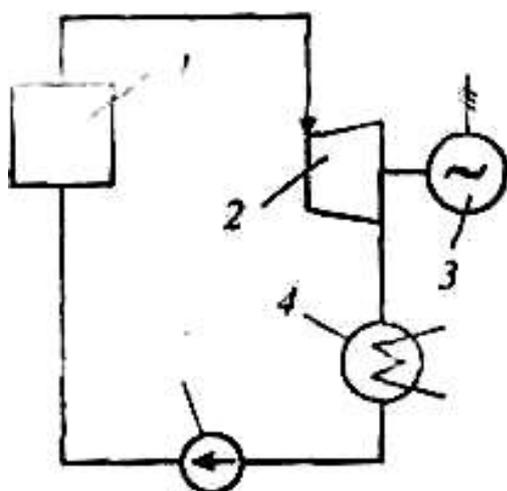
**Гидроаккумулирующие электростанции** предназначены для выравнивания суточного графика энергосистемы по нагрузке. В часы минимальной нагрузки они работают в насосном режиме (перекачивают воду из нижнего водоема и запасают энергию); в часы максимальной нагрузки энергосистемы аг-

агрегаты ГАЭС работают в генераторном режиме, принимая на себя пиковую часть нагрузки. ГАЭС сооружают в системах, где отсутствуют ГЭС или их мощность недостаточна для покрытия нагрузки в часы пик. Их выполняют из ряда блоков, выдающих энергию в сети повышенного напряжения и получающих ее из сети при работе в насосном режиме. Агрегаты высокоманевренны и могут быстро переводиться из насосного режима в генераторный или в режим синхронного компенсатора. Коэффициент полезного действия ГАЭС составляет 70 – 75%. Их сооружают там, где имеются источники водоснабжения, а местные геологические условия позволяют создать напорное водохранилище.

### 1.1.2. Паротурбинные электрические станции

На современных тепловых электростанциях большой мощности превращение теплоты в работу производится в циклах, использующих в качестве основного рабочего тела водяной пар высоких давлений и температур. Водяной пар производится парогенераторами (паровыми котлами), в топках которых сжигаются различные виды органического топлива: уголь, мазут, газ и другие

Термодинамический цикл преобразования теплоты в работу с помощью водяного пара был предложен в середине XIX в. инженером и физиком У. Ренкиным. Принципиальная тепловая схема конденсационной электростанции (КЭС), работающей по циклу Ренкина, показана на рисунке 1.1, а, ее общий вид – на рисунке 1.1, б.



*a*

*б*

Рисунок 1.1 – Принципиальная тепловая схема ТЭС, работающей по циклу Ренкина

В парогенераторе 1 за счет теплоты сжигаемого топлива вода, нагнетаемая в парогенератор насосом 5, превращается в водяной пар, который затем поступает в турбину 2, вращающую электрогенератор 3. Тепловая энергия пара преобразуется в турбине в механическую работу, которая в свою очередь преобразуется в генераторе в электроэнергию. Из турбины отработанный пар поступает в конденсатор 4, где он конденсируется (превращается в воду). Насос 5 нагнетает конденсат в парогенератор, замыкая таким образом цикл.

На рисунке 1.2, *a* и *б* изображен цикл Ренкина на перегретом паре  $p, v$  – и  $T, s$  – диаграммах, состоящий из следующих процессов:

– изобара 4 – 5 – 6 – 1 – процесс нагрева, испарения воды и перегрева пара в парогенераторе за счет подводимой теплоты сгорания топлива  $q_1$ ;

– адиабата 1 – 2 – процесс расширения пара в турбине с совершением полезной внешней работы  $l_a^T$ ;

– изобара 2 – 3 – процесс конденсации отработанного пара с отводом теплоты  $q_2$  охлаждающей водой;

– адиабата 3 – 4 – процесс сжатия конденсата питательным насосом до первоначального давления в парогенераторе с затратой подводимой извне работы  $l_a^H$ .

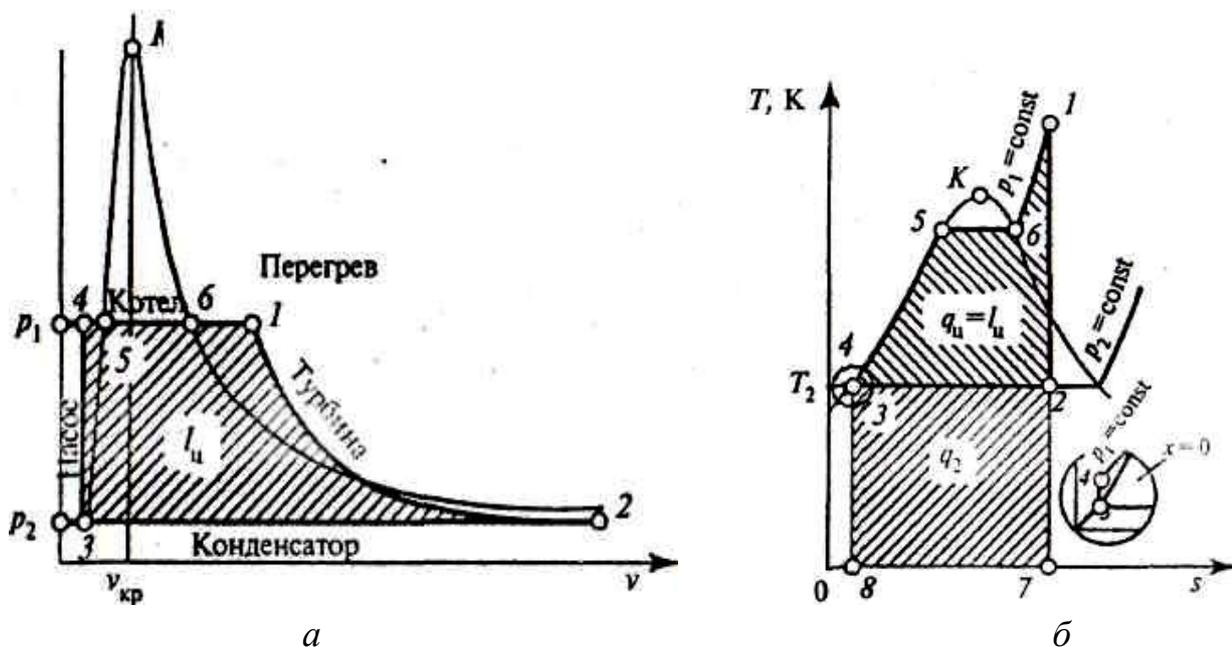


Рисунок 1.2 – Цикл Ренкина на перегретом паре в  $p, v$  и  $T, s$  – диаграммах

В соответствии со вторым законом термодинамики полезная работа за цикл равна разности подведенной и отведенной в цикле теплоты:

$$l_{Ц}^{ПОЛ} = q_1 - q_2 = l_a^T - l_a^T$$

Термический КПД цикла Ренкина определяется, как обычно, по уравнению

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_a^t - l_a^H}{q_1}$$

Термодинамические исследования цикла Ренкина показывают, что его эффективность в большой степени зависит от величин начальных и конечных параметров (давления и температуры) пара. Исследования показывают, что  $\eta_t$  увеличивается с увеличением начальных параметров пара  $p_1$  и  $t_1$  и уменьшением конечных  $p_2$  и  $t_2$ . Конечные параметры пара связаны между собой, так как пар в этой области влажный, и поэтому их уменьшение приводит, к уменьшению  $p_2$ , т.е. давления в конденсаторе.

Увеличение  $t_1$ , ограничивается жаропрочностью материалов, увеличение  $p_1$  и – допустимой степенью влажности пара в конце расширения и прочностью материала труб; повышенная влажность ( $x > 0,8 - 0,86$ ) приводит к эрозии деталей турбины.

В настоящее время на электростанциях в основном используются пара-

метры пара  $p_1 = 23,5$  МПа ( $240$  кгс/см<sup>2</sup>) и  $t_1 = 565^\circ\text{C}$ . На опытных установках применяются параметры  $p_1 = 29,4$  МПа ( $300$  кгс/см<sup>2</sup>) и  $t_1 = 600 - 650^\circ\text{C}$ .

Понижение давления в конденсаторе более чем до  $p_2 = 3,5 - 4$  кПа ( $0,035 - 0,040$  кгс/см<sup>2</sup>), чему соответствует температура насыщения  $t_2 = 26,2-28,6^\circ\text{C}$ , ограничивается прежде всего температурой охлаждающей воды  $t_{\text{охл}}$ , колеблющейся в зависимости от климатических условий от нуля до  $25-30^\circ\text{C}$ . При малой разности  $t_2 - t_{\text{охл}}$  интенсивность теплообмена падает, а размеры конденсатора растут. Кроме того, с понижением  $p_2$  становится все большим удельный объем пара, что тоже ведет к увеличению размера конденсатора, а также и к увеличению последних ступеней турбины. На рисунке 1.3 и 1.4 показан графический характер влияния повышения  $p_1$  и  $t_1$  и понижения  $p_2$  на термический КПД.

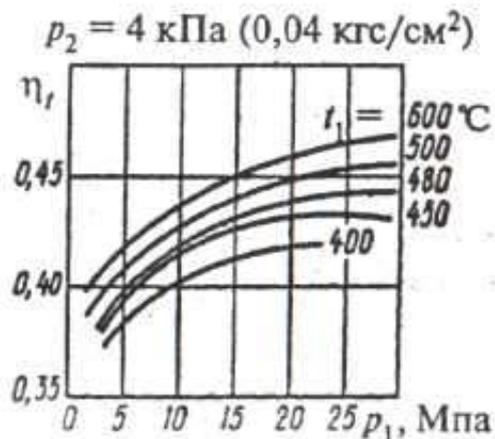


Рисунок 1.3 – Влияние повышения начальных давления и температуры пара на экономичность цикла Ренкина

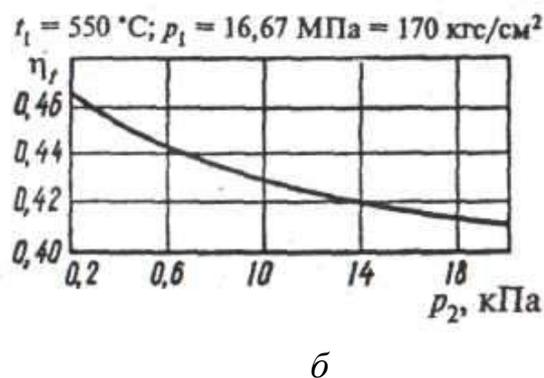
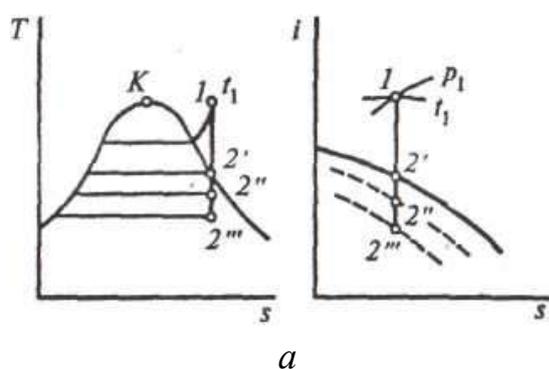


Рисунок 1.4 – Влияние понижения давления в конденсаторе на влажность пара в конце расширения (а) и экономичность цикла Ренкина (б)

На рисунке 1.5 показана упрощенная технологическая схема энергоблока КЭС. Энергоблок представляет собой как бы отдельную электростанцию со

своим основным и вспомогательным оборудованием и центром управления — блочным щитом. Связей между соседними энергоблоками по технологическим линиям обычно не предусматривается. Построение КЭС по блочному принципу дает определенные технико-экономические преимущества:

- облегчается применение пара высоких и сверхвысоких параметров вследствие более простой системы паропроводов, что особенно важно для освоения агрегатов большой мощности;

- упрощается и становится более четкой технологическая схема электростанции, вследствие чего увеличивается надежность работы и облегчается эксплуатация;

- уменьшается, а в отдельных случаях может вообще отсутствовать резервное тепломеханическое оборудование;

- сокращается объем строительных и монтажных работ;

- уменьшаются капитальные затраты на сооружение электростанции;

- обеспечивается удобное расширение электростанции, причем новые энергоблоки при необходимости могут отличаться от предыдущих по своим параметрам.

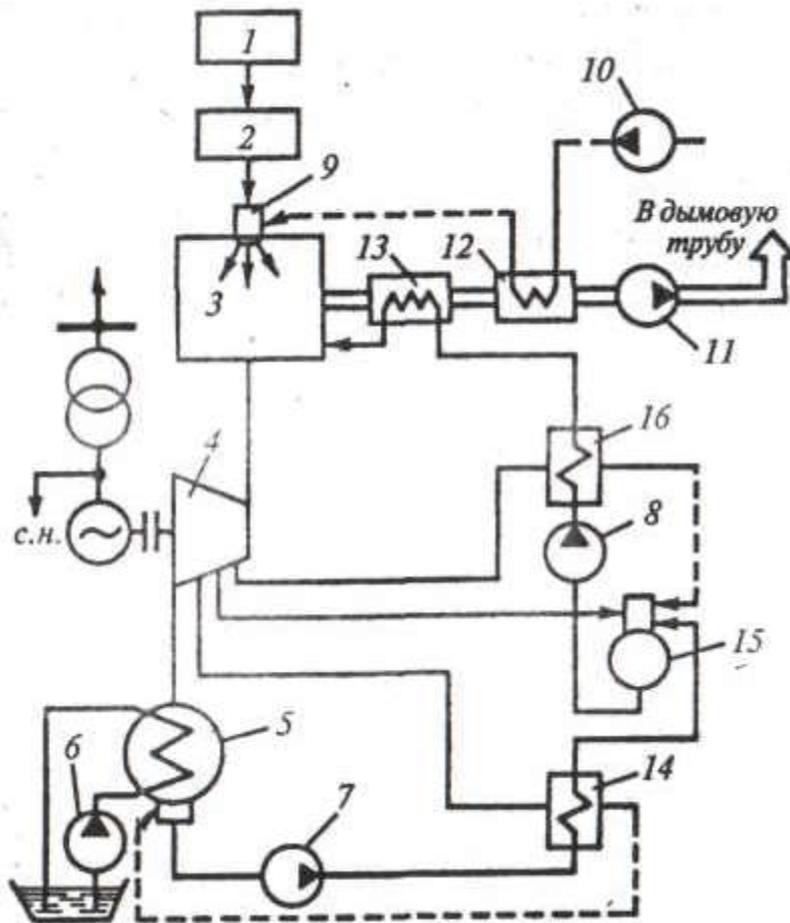


Рисунок 1.5 – Принципиальная технологическая схема КЭС:

- 1 – склад топлива и система топливоподачи; 2 – система топливо приготовления; 3 – котел; 4 – турбина; 5 – конденсатор; 6 – циркуляционный насос; 7 – конденсатный насос; 8 – питательный насос; 9 – горелки котла; 10 – вентилятор; 11 – дымосос; 12 – воздухоподогреватель; 13 – водяной экономайзер; 14 – подогреватель низкого давления; 15 – деаэратор; 16 – подогреватель высокого давления

Технологическая схема КЭС состоит из нескольких систем: топливоподачи, топливо приготовления, основного пароводяного контура вместе с парогенератором и турбиной, циркуляционного водоснабжения, водоподготовки; золоулавливания и золоудаления и электрической части станции.

Механизмы и установки, обеспечивающие нормальное функционирование вышеназванных систем, входят в так называемую систему собственных нужд станции (энергоблока).

Наибольшие энергетические потери на КЭС имеются в основном пароводяном контуре, а именно в конденсаторе, где отработавший пар, содержащий

еще большое количество теплоты, затраченной при парообразовании, отдает ее циркуляционной воде. Теплота с циркуляционной водой уносится в водоемы, т.е. теряется. Эти потери в основном и определяют КПД электростанции, с составляющий даже для самых современных КЭС не более 40—42%. Электроэнергия, вырабатываемая электростанцией, выдается на напряжение 110—220 кВ, и лишь часть ее отбирается на собственные нужды через трансформатор собственных нужд, подключенный к выводам генератора.

Наиболее крупные КЭС в настоящее время имеют мощность до 4 млн кВт; сооружаются электростанции мощностью 4 – 6,4 млн кВт с энергоблоками 500 и 800 МВт. Предельная мощность КЭС определяется условиями водоснабжения и влиянием выбросов станции на окружающую среду.

Современные КЭС весьма активно воздействуют на окружающую среду: атмосферу, гидросферу и литосферу. Влияние на атмосферу сказывается в большом потреблении кислорода воздуха для горения топлива и выбросе значительного количества продуктов сгорания. Это в первую очередь газообразные окислы углерода, серы, азота, часть которых имеет высокую химическую активность. Летучая зола, прошедшая через золоуловители, загрязняет воздух. Наименьшее загрязнение атмосферы (для станций одинаковой мощности) отмечается при сжигании газа и наибольшее – при сжигании твердого топлива с низкой теплотворной способностью и высокой зольностью. Необходимо учесть также большие уносы теплоты в атмосферу, а также электромагнитные поля, создаваемые электрическими установками высокого и сверхвысокого напряжения.

КЭС загрязняет гидросферу большими массами теплой воды, сбрасываемыми из конденсаторов турбин, а также промышленными стоками, хотя они проходят тщательную очистку.

Для литосферы влияние КЭС сказывается не только в том, что для работы станции извлекаются большие массы топлива, отчуждаются и застраиваются земельные угодья, но и в том, что требуется много места для захоронения больших масс золы и шлаков (при сжигании твердого топлива).

Влияние КЭС на окружающую среду чрезвычайно велико. Например, о

масштабах теплового загрязнения воды и воздуха можно судить по тому, что около 20% тепла, которое получается в котле при сгорании всей массы топлива, теряется за пределами станции. Учитывая размеры производства электроэнергии на КЭС, объемы сжигаемого топлива, можно предположить, что они в состоянии влиять на климат больших районов страны. В то же время в современных условиях решается задача утилизации части тепловых выбросов путем отопления теплиц, создания подогреваемых прудовых рыбохозяйств. Зола и шлаки используют в производстве строительных материалов и т.д.

**Регенеративный цикл.** Для повышения экономичности работы паротурбинных установок, помимо повышения параметров пара, применяют так называемый регенеративный цикл, в котором питательная вода до ее поступления в котельный агрегат подвергается предварительному нагреву паром, отбираемым из промежуточных ступеней паровой турбины. На рисунке 1.6 представлена принципиальная схема паросиловой установки с регенеративным подогревом питательной воды, где  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  – доли отбираемого пара из турбины. Изображение в  $T,s$  – диаграмме носит условный характер, так как количество рабочего пара (рабочего тела) меняется по длине проточной части турбины, а диаграмма строится для постоянного количества.

Следует отметить, что поскольку питательной воде передается теплота отобранного пара, включая теплоту парообразования, а при получении работы используется лишь часть теплоты пара, не включающая теплоту парообразования, то потеря работы в результате отборов будет значительно меньше, чем увеличение энтальпии питательной воды. Поэтому в целом КПД цикла возрастает. Однако возрастает и удельный расход пара, так как отобранная часть пара не полностью участвует в совершении работы и для получения заданной мощности его расход надо увеличивать. Правда, это обстоятельство облегчает конструкцию последних ступеней турбин, позволяя уменьшить длину их лопаток.

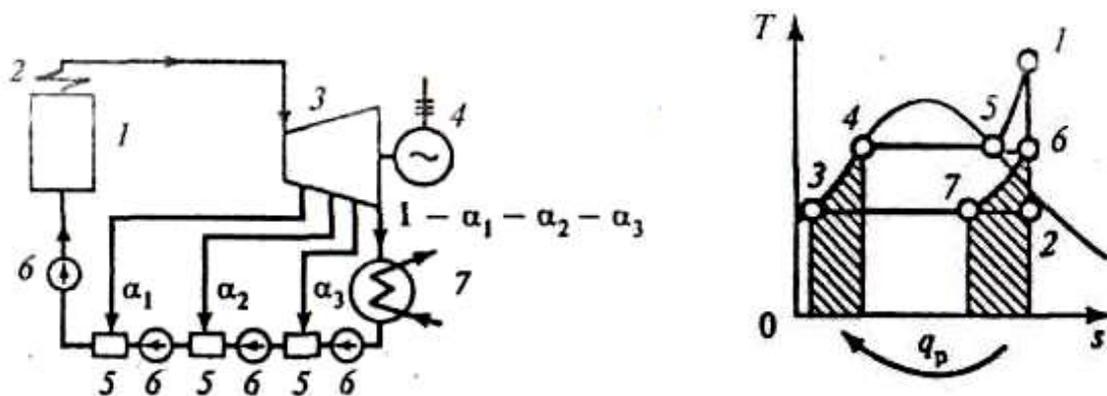


Рисунок 1.6 – Регенеративный подогрев питательной воды в цикле Ренкина:

- a* – схема установки: 1 – котел; 2 – пароперегреватель;  
 3 – паровая турбина с промежуточными отборами пара; 4 – электрогенератор;  
 5 – регенеративные подогреватели; 6 – насосы; 7 – конденсатор;  
 б – изображение (условное) процесса в  $T, s$  –координатах:  
 1 – 7 – точки диаграммы

Применение регенеративного подогрева позволяет, когда это желательно, исключить экономайзер подогрева питательной воды уходящими газами, используя теплоту уходящих газов для подогрева поступающего в топку воздуха.

Увеличение КПД при применении регенерации составляет 10—15%. При этом экономия теплоты в цикле возрастает с повышением начального давления  $p_1$  пара. Это связано с тем, что с повышением  $p_1$  увеличивается температура кипения воды, а следовательно, повышается количество теплоты, которое можно подвести к воде при подогреве ее отработанным паром. В настоящее время регенеративный подогрев применяется на всех крупных электростанциях.

**Цикл с промежуточным (вторичным) перегревом пара.** Из предыдущего следует, что при применении пара высокого давления его влажность в турбине в конце процесса расширения становится значительной даже при очень высокой начальной температуре. Между тем работа турбин на влажном паре недопустима, так как она вызывает увеличение потерь и износ (эрозию) турбинных лопаток в результате механического воздействия на них взвешенных в паре частиц влаги.

При использовании пара высокого давления повышение его начальной температуры до пределов, допустимых по соображениям прочности металла пароперегревателя и паровой турбины, может оказаться недостаточным для обеспечения

допустимой влажности пара в конце его процесса расширения в турбине. Поэтому пар на некоторой стадии расширения приходится отводить из турбины и подвергать повторному перегреву в специальном пароперегревателе, после чего повторно перегретый пар вновь вводится в турбину, где и заканчивается процесс его расширения. В результате этого при окончательном расширении пара до принятых на практике давлений влажность его не превышает допустимых значений.

Паротурбинные установки, в которых используется такой метод, называют установками с промежуточным перегревом пара. При правильном выборе давления отбора пара для его промежуточного перегрева и температуры промежуточного перегрева не только предотвращается чрезмерное увлажнение пара в конце процесса расширения, но и достигается некоторое увеличение термического КПД установки.

Применение одного промежуточного перегрева пара приводит к повышению термического КПД установки на 2 – 3%.

Схема паросиловой установки с промежуточным перегревом пара представлена на рисунке 1.7, а, а процессы в  $T,s$  – и  $i,s$  – диаграммах — рисунке 1.7, б.

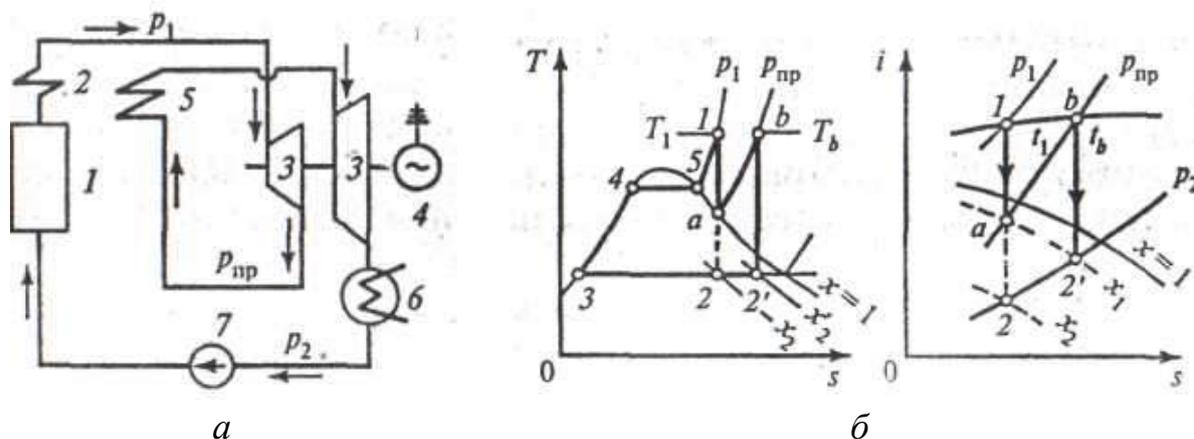


Рисунок 1.7 – Промежуточный перегрев пара в цикле Ренкина:

- а – схема установки: 1 – котел; 2 – пароперегреватель; 3 – турбина;
- 4 – электрогенератор; 5 – промежуточный (вторичный) пароперегреватель;
- 6 – конденсатор; 7 – насос (питательный);

б – изображение процесса в  $T,s$  – и  $i,s$  – диаграммах: 7 – 5 – точки диаграммы

**Теплофикационный цикл ТЭЦ.** В тех случаях, когда прилегающие к

тепловым электростанциям районы должны потреблять большие количества

теплоты, Целесообразнее прибегая; к комбинированной выработке теплоты и электроэнергии. Установки, служащие для комбинированной выработки теплоты и электроэнергии, называют теплоэлектроцентралями (ТЭЦ), они работают по так называемому теплофикационному циклу.

Этот вид электростанций предназначен для централизованного снабжения промышленных предприятий и городов электроэнергией и теплотой. Являясь, как КЭС, тепловыми электростанциями, они отличаются от последних использованием теплоты «отработавшего» в турбинах пара для нужд промышленного производства, а также для отопления, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения. При такой комбинированной выработке электроэнергии и теплоты достигается значительная экономия отлива по сравнению с раздельным энергоснабжением, т.е. выработкой электроэнергии на КЭС и получением тепла от местных котельных. Поэтому ТЭЦ получили широкое распространение в районах (городах) с большим потреблением теплоты и электроэнергии. В России в настоящее время на ТЭЦ производится около 30% всей вырабатываемой электроэнергии.

Простейшая схема теплофикационной установки показана на рисунке 1.8 с основными элементами паросиловой установки.

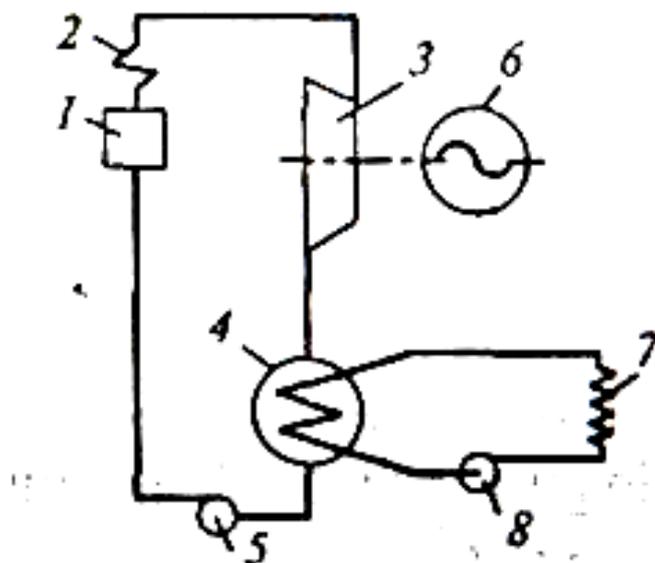


Рисунок 1.8 – Схема простейшей теплофикационной установки

Охлаждающая вода под действием насоса циркулирует по замкнутому контуру, в который включен потребитель. Температура ее на выходе из кон из

конденсатора 6 несколько ниже температуры конденсата  $t_n$ , но достаточно высока для обогрева помещений. Конденсат при температуре  $t_n$  забирается насосом 5 и после сжатия подается в котел 1. Охлаждающая вода нагревается за счет теплоты конденсирующего пара и под напором, создаваемым насосом 8, поступает в отопительную систему 7. В ней нагретая вода отдает тепло окружающей среде, обеспечивая необходимую температуру помещений. На выходе из отопительной системы охлажденная вода вновь поступает в конденсатор и в нем опять нагревается поступающим из турбины паром.

При наличии более или менее постоянного потребителя производственного пара пользуются турбиной, работающей с противодавлением без конденсатора.

В теплофикационных установках используются турбины трех типов:

- с противодавлением  $p_2 - 1,2 - 12$  бар;
- с ухудшенным вакуумом  $p_2 = 0,5 - 0,9$  бар;
- с регулируемыми отборами пара.

**Турбины с противодавлением** (рисунок 4.9, а) относительно просты, малогабаритны и дешевы, но применяются они мало, поскольку количество электроэнергии, вырабатываемое с их помощью, зависит не от электрических, а от тепловых потребителей, весьма нестабильных.

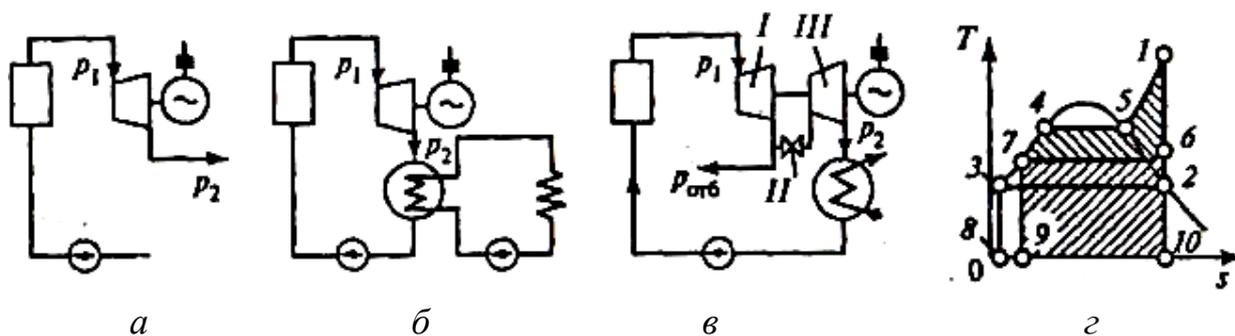


Рисунок 1.9 – Три типа установок – с противодавлением (а), с ухудшенным вакуумом (б), с регулируемыми отборами пара (в) и теплофикационный цикл (г):

I – часть турбины высокого давления; II – регулятор количества отбираемого пара; III – часть турбины низкого давления

**Турбины с ухудшенным вакуумом** (рисунок 4.9, б) при отсутствии тепловых потребителей могут работать с расширением пара до глубокого вакуума,

как конденсационные, но выработка электроэнергии у них тоже зависит от расхода теплоты.

Только турбины с *регулируемыми отборами* пара не имеют отмеченных недостатков, позволяя свободно изменять электрическую и тепловую нагрузки, т.е. работать по свободному графику. Они в основном и применяются на ТЭЦ. На рисунке 4.9, в приведена схема такой установки с одним регулируемым в зависимости от потребителей электроэнергии и теплоты отбором пара при  $p_{отб}$ , которое устанавливается с помощью клапана II, расположенного на магистрали между ступенями турбины высокого I и низкого III давлений.

Теплофикационный цикл на  $T,s$  – диаграмме приведен на рисунке 4.9, з. Площадь, образуемая контуром 7 – 4 – 5 – 1 – 6 – 7, соответствует теплоте  $q_{пол}$ , превращенной в турбине в механическую работу. Площадь, расположенная под указанным контуром и соответствующая количеству теплоты  $q_2$  (контур 7 – 6 – 10 – 9 – 7), уносимому охлаждающей водой, в данном теоретическом случае не теряется бесполезно, а используется для отопления. Таким образом, общее количество полезно используемой теплоты складывается из  $q_{пол}$  и  $q_2$ .

Термический КПД теплофикационного цикла ниже термического КПД соответствующего конденсационного цикла, в котором пар расширяется в турбине до очень низкого давления ( $p_2 = 3 - 5$  кПа), производя при этом полезную работу, и превращается в охладителе в конденсат, а отнятая от него в конденсаторе теплота полностью теряется с охлаждающей водой. Это объясняется тем, что в теплофикационном цикле конечное давление пара значительно превосходит обычное давление в конденсаторе паровой турбины, работающей по конденсационному циклу. Увеличению же давления  $p_2$ , как в этом можно легко убедиться, рассматривая  $T,s$  – диаграмму (рисунок 4.9, а), соответствует сокращение количества теплоты  $q_{пол}$ , используемой в паровой турбине (уменьшение площади 3 – 4 – 5 – 1 – 2 – 3), и увеличение количества теплоты  $q_2$ , уносимой охлаждающей водой (увеличение площади 9 – 7 – 6 – 10 – 9), что в итоге ведет к уменьшению  $\eta_t$

Однако применительно к теплофикационному циклу термический КПД его не может служить полноценной мерой экономичности, поскольку этим

КПД не учитывается полезное использование потребителем той части теплоты, которая не превращается в работу, т.е.  $q_2$ .

Поэтому для оценки экономичности теплофикационных циклов пользуются так называемым **коэффициентом использования** теплоты, представляющим собой отношение всего количества полезно использованной теплоты, т.е. суммы теплоты, превращенной в работу и равной  $q_{пол}$ , и теплоты, использованной потребителем без ее превращения в работу, равной  $q_2$ , ко всему количеству подведенной к рабочему телу теплоты:

$$\eta_{И.Т} = \frac{q_{общ}}{q_1} = \frac{q_{пол} + q_2}{q_1}$$

В теоретическом случае, поскольку  $q_1 = q_{пол} + q_2$ , этот коэффициент равен 1; практически величина его колеблется от 0,65 до 0,7. Это говорит о том, что в теплофикационном цикле степень теплоиспользования почти вдвое больше, чем в чисто конденсационном цикле, и что, следовательно, комбинированный способ выработки теплоты и электрической энергии значительно экономичнее способа их раздельной выработки.

Особенности технологической схемы ТЭЦ показаны на рисунке 4.10. Части схемы, которые по своей структуре подобны таковым для КЭС, здесь не показаны. Основное отличие заключается в специфике пароводяного контура.

Часть пара при расширении в турбине (с параметрами  $p_{отб} = 0,9 - 1,2$  МПа) отбирается и отводится в сетевой пароводяной подогреватель 2, через который сетевым насосом 1 прогоняется вода, используемая для отоплений зданий и других нужд городского хозяйства и промышленных предприятий.

На производство пар подается в тех случаях, когда вблизи станции имеются промышленные предприятия, требующие его для технологического процесса. Количество отбираемого от промежуточных ступеней турбины пара определяется потребностью тепловых потребителей в горячей воде и паре.

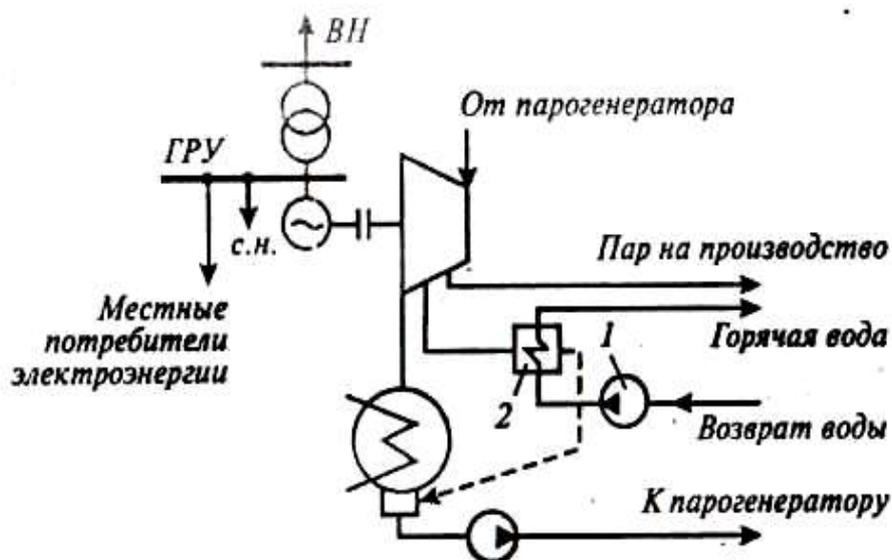


Рисунок 1.10 – Особенности технологической схемы ТЭЦ:  
1 – сетевой насос; 2 – сетевой подогреватель

Использование для теплофикации частично отработавшего пара из промежуточных ступеней турбины уменьшает количество пара, поступающего в ее конденсатор, а следовательно, и потери теплоты с циркуляционной водой. Вся теплота, содержащаяся в горячей воде и паре, которые поступают со станции в теплофикационную сеть, считается полезно отпущенной теплотой

Коэффициент использования теплоты теплоэлектроцентралей ( $\eta_{кл}$ ), учитывающий отпуск потребителям обоих видов энергии – электрической и тепловой, – достигает 60 – 70% и даже более. Этот показатель характеризует общее использование энергии топлива на ТЭЦ. Очевидно, что экономичность работы ТЭЦ зависит от величины отбора пара на теплофикацию. С уменьшением количества пара, поступающего в конденсаторы теплофикационных турбин, КПД ТЭЦ возрастает.

Отметим, что минимально возможное количество пара, проходящего последние ступени турбины и поступающего в конденсатор, указывается заводом-изготовителем турбины из соображений работы ее последних ступеней. В случае полного отсутствия отпуска теплоты в теплофикационную сеть турбины работают в конденсационном режиме, при этом КПД станции обычно не превышает 30 – 35%.

Из сказанного следует, что наиболее экономичным режимом работы ТЭЦ является ее работа по графику теплового потребления, т.е. при регулировании поступления пара в турбины соответственно отбору его на теплофикацию при минимальном пропуске пара в конденсатор.

Так как режимы работы тепловых и электрических потребителей различны, то осуществление указанного режима работы ТЭЦ возможно только при ее параллельной работе с другими электростанциями энергосистемы — ТЭС и ГЭС.

### 1.1.3. Цикл газотурбинной установки

В отличие от паротурбинного (паросилового цикла Ренкина для водяного пара) в циклах газотурбинных установок рабочим телом служат нагретые до высокой температуры сжатые газы. В качестве таких газов чаще всего используют смесь воздуха и продуктов сгорания жидкого (или газообразного) топлива.

Принципиальная схема газотурбинной установки (ГТУ с подводом тепла при  $p = \text{const}$ ) представлена на рисунке 4.11.

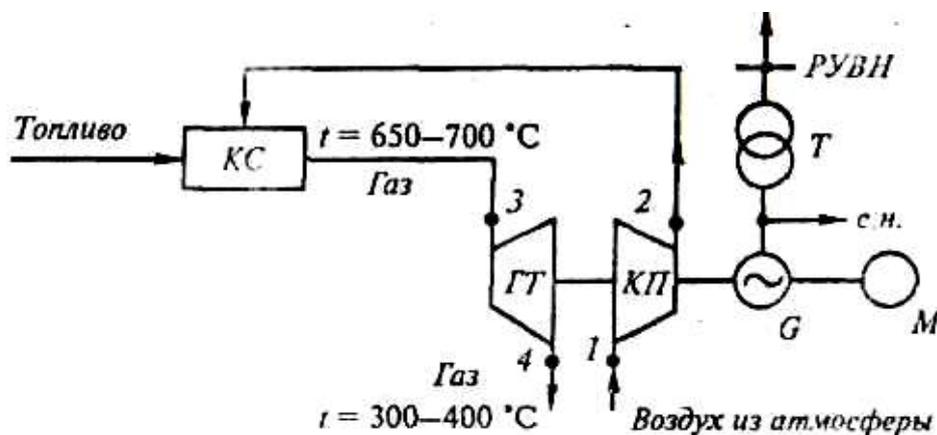


Рисунок 1.11 – Принципиальная технологическая схема электростанции с газовыми турбинами:

КС – камера сгорания; КП – компрессор; ГТ – газовая турбина;  
 G – генератор; Т – трансформатор; М – пусковой двигатель;  
 сн – собственные нужды

Воздушный компрессор КП сжимает атмосферный воздух, повышая давление с  $p_1$  до  $p_2$  и непрерывно подает его в камеру сгорания КС. Туда же специальным насосом непрерывно подается необходимое количество жидкого или

газообразного топлива. Образующиеся в камере продукты сгорания выходят из нее с температурой  $T_3$  и практически с тем же давлением  $p_2$  (если не учитывать сопротивления), что и на выходе из компрессора ( $p_2 = p_3$ ). Следовательно, горение топлива (т.е. подвод теплоты) происходит при постоянном давлении.

В газовой турбине ГТ продукты сгорания (рисунок 4.12) адиабатного расширяются, в результате чего их температура снижается до  $T_4$  (точка 4), а давление уменьшается до атмосферного  $p_0$ . Весь перепад давлений  $p_3 - p_0$  используется для получения технической работы в турбине  $l_{\text{тех}}$ . Большая часть этой работы  $l_k$  расходуется на привод компрессора; разность  $l_{\text{тех}} - l_k$  затрачивается на производство электроэнергии в электрическом генераторе  $G$  или на другие цели. Эта разность и составляет полезную работу цикла (расход энергии на привод топливного насоса невелик, и в первом приближении его можно не учитывать).

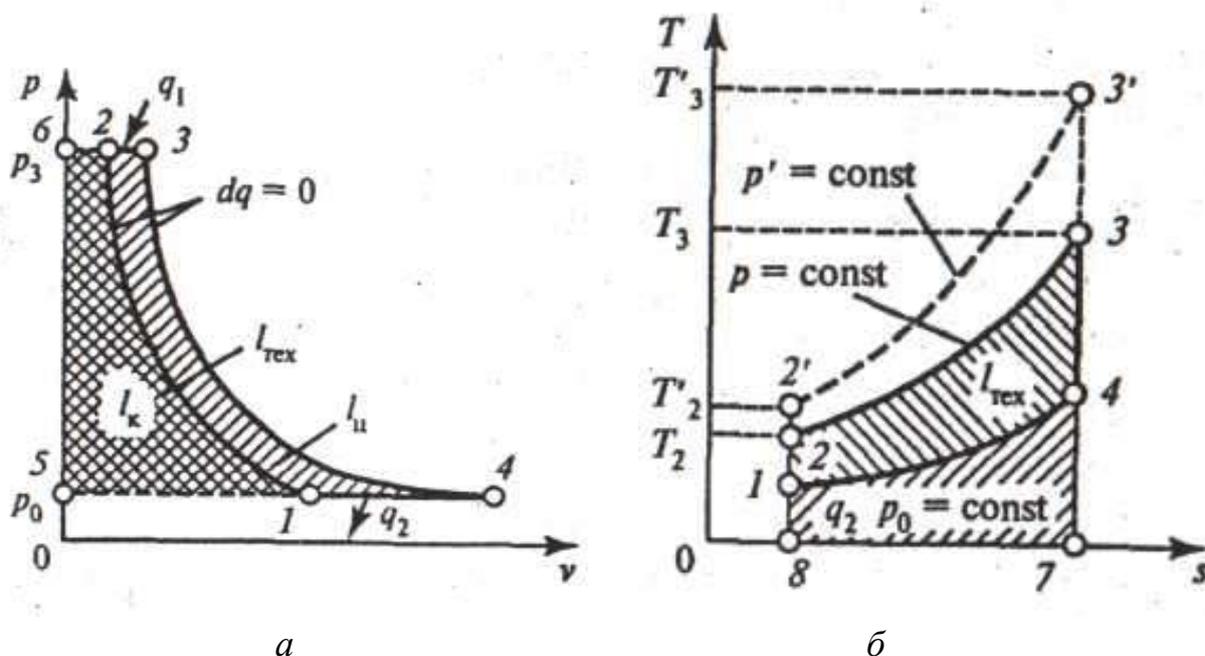


Рисунок 1.12 – Цикл ГТУ: *a* – в  $p, v$  – диаграмме; *б* – в  $T, s$  – диаграмме

Заменив сгорание топлива изобарным подводом теплоты (линия 2 – 3 на рисунке 4.12), а охлаждение выброшенных в атмосферу продуктов сгорания — изобарным отводом тепла (линия 4 – 1), получим цикл газотурбинной установки 1 – 2 – 3 – 4.

Полезная работа  $l_{\text{ц}}$  изображается в  $p, v$  - диаграмме площадью, заключенной внутри контура цикла (1 – 2 – 3 – 4). На рисунке 4.12, *a* видно, что полезная

работа равна разности между технической работой, полученной в турбине (площадь 6—3—4—5), и технической работой, затраченной на привод компрессора (площадь 6—2—1—5). Площадь цикла 1—2—3—4 в T,s – диаграмме эквивалентна этой же полезной работе (см. рис. 4.12, б). Теплота, превращенная в работу, получается как разность между количествами подведенной  $q_1$  (площадь 8—2—3—7) и отведенной  $q_2$  (площадь 1—4—7—8) теплоты. Коэффициент полезного действия идеального цикла ГТУ:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(\frac{T_4}{T_1} - 1)}{T_2(\frac{T_3}{T_1} - 1)} \quad (1.1)$$

В формуле (4.1) теплоемкость  $c_p$  принята для простоты постоянной.

Одной из основных характеристик цикла газотурбинной установки является степень повышения давления в компрессоре  $\pi$ , равная отношению давления воздуха после компрессора  $p_2$  к давлению перед ним  $p_1$ . Выразим отношение температур в формуле (4.1) через степень повышения давления  $\pi = p_2 / p_1$  из уравнения адиабаты:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left[ \frac{p_1}{p_2} \right]^{\frac{k-1}{k}} = \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}$$

Поскольку  $p_4 = p_1$  и  $p_3 = p_2$ , после ряда преобразований из (4.1) получим

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} \quad (1.2)$$

Формула (4.2) при  $k = 1,33$  дает следующие значения  $\eta_t$  для различных величин  $\pi$ :

$\pi$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\eta_t$ %	16	24	29	33	36	38.5	40.5	42	43.5

Коэффициент полезного действия идеального цикла непрерывно возрастает с увеличением  $\pi$ . Это связано с ростом температуры в конце процесса сжатия  $T_2$  и соответственно температуры газов перед турбиной  $T_3$ .

На рисунке 1.12, б отчетливо видно, что цикл  $1 - 2 - 3' - 4$ , в котором  $\pi$  больше, экономичнее цикла  $1 - 2 - 3 - 4$ , ибо по линии  $2' - 3'$  подводится больше теплоты  $q_1$  чем по линии  $2 - 3$ , при том же количестве отведенной в процессе  $4 - 1$  теплоты  $q_2$ . При этом  $T_2'$  и  $T_3'$  больше, чем соответственно  $T_2$  и  $T_3$ .

К сожалению, максимальная температура газов перед турбиной ограничивается жаропрочностью металла, из которого делают ее основные элементы (в авиационных двигателях  $1100 - 1200^\circ\text{C}$ , а в стационарных  $750 - 850^\circ\text{C}$ ). Поэтому приходится сознательно идти на снижение температуры горения топлива (за счет подачи излишнего количества воздуха).

При определении оптимального значения  $\pi$  для заданной начальной температуры газа стремятся не только к более высокому КПД, но и к минимальному расходу газа на единицу вырабатываемой мощности. Чем меньше этот расход, тем меньше размеры турбины и компрессора, а, следовательно, размеры всей установки. Значение  $\pi$ , отвечающее максимуму  $\eta$ , не совпадает со значением  $\pi$ , отвечающим минимуму расхода газа.

Оптимальные значения  $\pi = 3 - 6$ , в некоторых случаях  $10 - 12$ .

Очевидно, что эффективность ГТУ возрастает с понижением температуры воздуха, засасываемого в компрессор. Это приводит к увеличению полезной мощности ГТУ и, следовательно, к повышению ее КПД.

Чем совершеннее газовая турбина и компрессор, тем эффективнее газотурбинная установка, так как более совершенная турбина вырабатывает большую мощность, а более совершенный компрессор поглощает меньшую мощность, и в результате увеличивается полезная мощность и КПД ГТУ. При этом следует отметить, что влияние турбины на КПД газотурбинной установки больше, чем влияние компрессора.

Для повышения КПД ГТУ применяют способ регенерации теплоты (рисунк 1.13). В отличие от предыдущей принципиальной схемы в нее включен теплообменник 2, в котором воздух, идущий от компрессора в камеру сгорания,

нагревается отработавшими газами, уходящими из турбины в атмосферу. Вследствие частичного использования тепловой энергии отработавших газов КПД установки повышается.

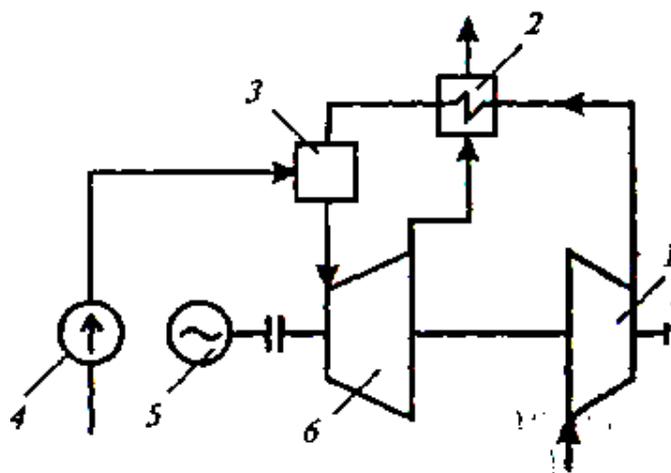


Рисунок 1.13 – Принципиальная схема газотурбинной установки разомкнутого процесса со сгоранием при постоянном давлении и регенерацией тепла:

1 – компрессор; 2 – теплообменник; 3 – камера сгорания; 4 – топливный насос; 5 – генератор электрического тока; 6 – газовая турбина

Идеальный цикл такой установки в  $p, v$  – и  $T, s$  – диаграммах показан на рисунке 1.14, *а* и *б*. Линия 1 – 2 изображает изоэнтропное сжатие воздуха (в компрессоре); линия 2 – 3 – изобарный подвод тепла к воздуху (в регенераторе); линия 3 – 4 — изобарный подвод тепла в камере сгорания; линия 4 – 5 – изоэнтропное расширение газа (в турбине); линия 5 – 6 – изобарный отвод тепла от продуктов сгорания (в регенераторе); линия 6 – 1 – изобарный отвод тепла от продуктов сгорания (в атмосферу).

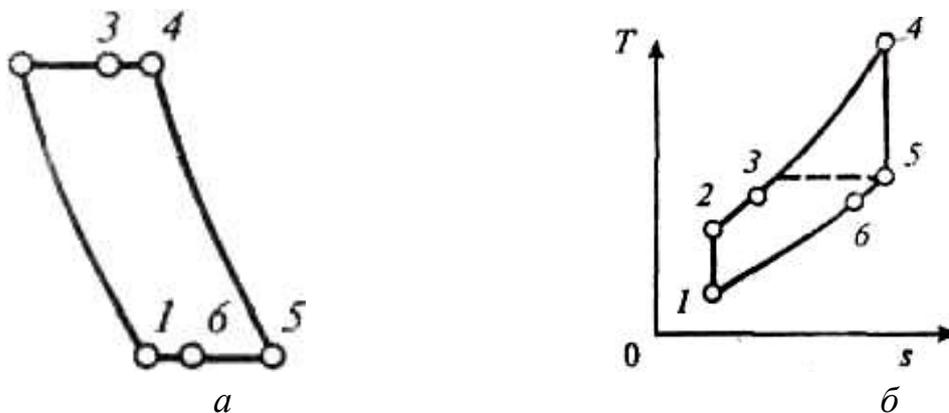


Рисунок 1.14 – Идеальный цикл газотурбинной установки со сгоранием при постоянном давлении и регенерацией тепла

Отношение количества теплоты, полученной воздухом в регенераторе, к количеству теплоты, необходимой для нагрева воздуха до температуры отработавших в турбине газов, называется степенью регенерации. Так как температура нагретого воздуха, покидающего регенератор, практически всегда меньше температуры отработавших газов, покидающих турбину, то  $\sigma < 1$ . В соответствии с рисунком 1.14.

$$\sigma = (T_3 - T_2) / (T_5 - T_2)$$

Определим термический КПД цикла. Количество теплоты, подведенной в цикле (от верхних источников теплоты), составляет

$$q_1 = c_p(T_4 - T_3) = c_p((T_4 - T_2) - (T_3 - T_2)) = c_p((T_4 - T_2) - \sigma(T_5 - T_2)).$$

Количество теплоты, отведенной в цикле (в нижний источник теплоты), меньше, чем в цикле без регенерации, на величину количества теплоты, отдаваемой на нагрев в регенераторе, т.е. на величину  $c_p(T_3 - T_2)$ . Поэтому количество теплоты, отводимой в цикле, будет

$$q_2 = c_p((T_5 - T_1) - (T_3 - T_2)) = c_p((T_5 - T_1) - \sigma(T_5 - T_2))$$

Термический КПД цикла

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{(T_5 - T_1) - \sigma(T_5 - T_2)}{(T_4 - T_2) - \sigma(T_5 - T_2)} \quad (1.3)$$

Обозначим отношение максимальной и минимальной температур в цикле через

$$\delta = T_4 / T_1$$

Можно показать, что при отсутствии регенерации ( $\sigma = 0$ ) уравнение (1.3) переходит в уравнение (1.2).

На рисунке 1.15 представлена зависимость  $\eta_t$ , от  $\sigma$  для некоторых значений  $\pi$  (степень повышения давления в компрессоре).

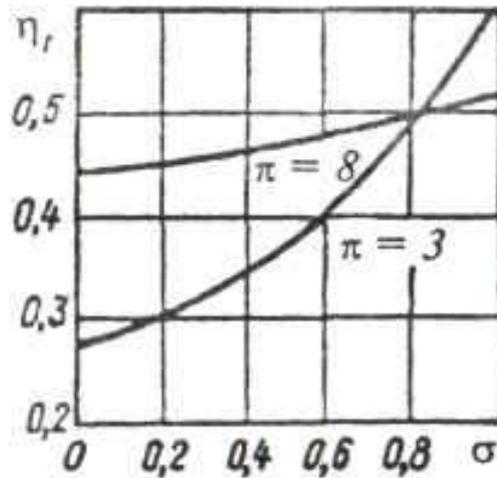


Рисунок 1.15 – Схема парогазовой установки

Из рисунка видно, что  $\eta_r$  увеличивается с ростом  $\sigma$ , причем это увеличение более значительно при сравнительно небольших значениях  $\pi$ . Однако для получения больших  $\sigma$  требуются регенераторы с большими поверхностями. Кроме того, включение регенератора схему вызывает дополнительное гидравлическое сопротивление. Все это несколько снижает экономичность установки, поэтому увеличение поверхности регенератора, т.е. увеличение, производится до определенного предела, зависящего от выполнения всей установки и определяемого окончательно технико-экономическим расчетом. Для установок с процессом  $p = \text{const}$  обычно  $\sigma = 0,7 — 0,8$ . Отметим, что основу современных газотурбинных электростанций России составляют газовые турбины мощностью от 25 до 100 МВт.

#### 1.1.4. Парогазовые установки

Высокий уровень температур при подводе теплоты в газотурбинной установке и низкий уровень отвода теплоты в паротурбинной установке привели к развитию комбинированного парогазового цикла, который применяется в разнообразных сочетаниях двух рабочих тел: газа и водяного пара. Парогазовый цикл содержит газотурбинную ступень в области высоких температур и паротурбинную в области низких. Отработавший в ступени газовой

турбины газ отдает свою теплоту в паротурбинной ступени для промежуточного перегрева пара, нагрева питательной воды, получения пара низкого давления в котле-утилизаторе и другие. На рисунке 1.16 представлена простейшая схема, а на рисунке 1.17 в  $T,s$  - диаграмме – теоретический цикл парогазовой установки с использованием теплоты из газовой ступени для подогрева питательной воды.

В камеру сгорания 2 (рисунок 1.16) подается топливо, а компрессором 1 – сжатый воздух. Продукты сгорания, отработав в газовой турбине 3, поступают в подогреватель 6, где нагревают питательную воду, поступающую в котел, и удаляются в атмосферу. Перегретый пар, получаемый в котлоагрегате 5, расширяется в паровой турбине 9 и конденсируется в конденсаторе 8. Конденсат насосом 7 перекачивается в подогреватель 6, где обогревается и поступает затем в котел.

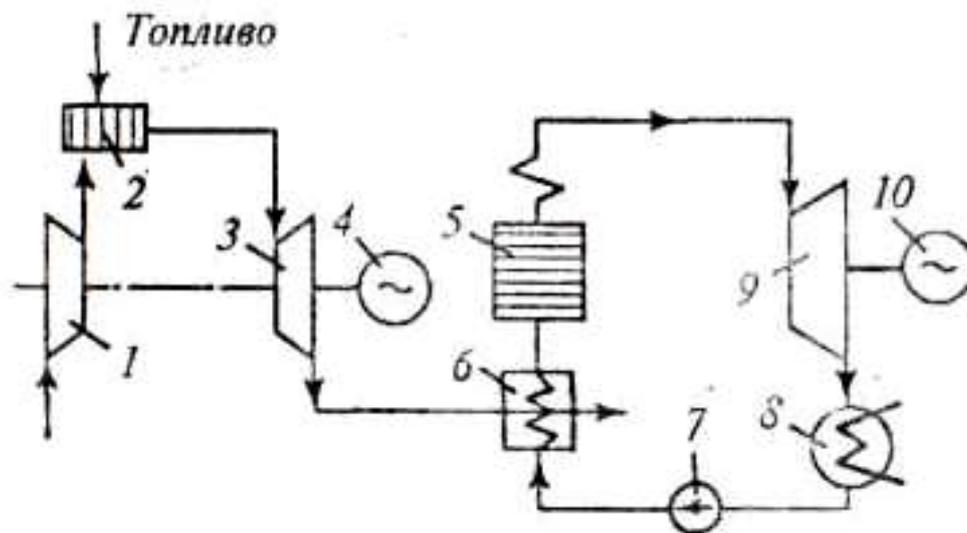


Рисунок 1.16 – Схема парогазовой установки

Полезная мощность, вырабатываемая газовой и паровой турбинами, передается генераторам электрического тока 4 и 10. Соотношение между количеством отработавших газов и количеством обогреваемой питательной воды определяется из условия, что количество теплоты, отдаваемой отработавшими газами, должно равняться количеству теплоты, необходимой для подогрева питательной воды до расчетной температуры.

Цикл этой установки в  $T,s$  – диаграмме, изображенной на рисунке 1.17, строится для 1 кг питательной воды и количества газов, приходящихся на 1 кг воды.

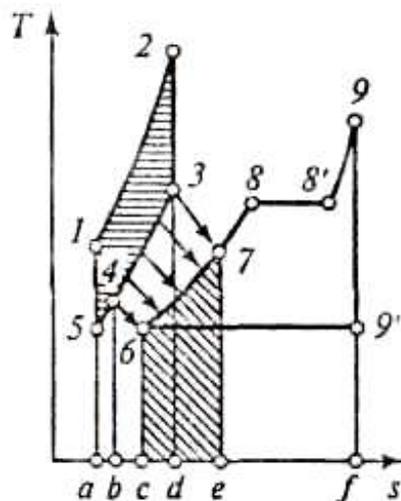


Рисунок 1.17 – Идеальный цикл парогазовой установки в  $T, s$  – диаграмме

Цикл газотурбинной части установки –  $1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 1$ , цикл Ренкина паротурбинной части –  $6 - 7 - 8 - 8' - 9 - 9' - 6$ .

При раздельном осуществлении газотурбинной и паротурбинной установок теплота, подводимая в цикле газотурбинной установки, измеряется площадью  $a - 1 - 2 - d$ , а полезная работа – площадью  $1 - 2 - 3 - 4 - 5$ . Тепло, подводимое в цикле паротурбинной установки, измеряется площадью  $c - 6 - 7 - 8 - 8' - 9 - f$ , а полезная работа – площадью  $6 - 7 - 8 - 8' - 9 - 9' - 6$ . Количество теплоты, измеряемое площадью  $3 - 5 - a - d$ , бесполезно отдается в процессе  $3 - 5$  отработавшими газами окружающей среде. В парогазовой же газ установке количество теплоты, изображаемое площадью  $3 - 4 - b - d$ , отдается к процессе  $3 - 4$  отработавшими газами питательной воде.

Эта площадь равна площади  $c - 6 - 7 - e$  (заштриховано), определяющей количество теплоты, получаемой в процессе  $6 - 7$  питательной водой. Следовательно, при одинаковой мощности количество теплоты, подводимой в паротурбинной установке, по сравнению с раздельной установкой уменьшается на величину площади  $c - 6 - 7 - e$ . Этот выигрыш в расходе тепла и определяет эффективность рассматриваемой парогазовой установки.

В парогазовой установке термический КПД общего цикла больше чем КПД каждого из составных циклов (газового и пароводяного) и, следовательно, наибольшего из них. Цикл строится для 1 кг воды и соответствующего количества газа на 1 кг воды, определяемого из теплового баланса подогревателя.

Возможен и другой тип парогазовой установки. На рисунке 1.18 представлена принципиальная схема ПГУ с высоконапорным парогенератором.

В топку парогенератора (котлоагрегата) компрессором 2 подается под давлением воздух. Давление продуктов сгорания в топке котла составляет 0,5 – 0,6 МПа (5,1 – 6,1 кгс/см<sup>2</sup>). Работа под наддувом значительно интенсифицирует процессы горения и теплообмена, в результате чего высоконапорный парогенератор 1 оказывается компактным и имеет высокий КПД. Перепетый пар, получаемый в парогенераторе 1 за счет сжигания жидкого или газообразного топлива, поступает в паровую турбину 5, после расширения в которой идет в конденсатор 7.

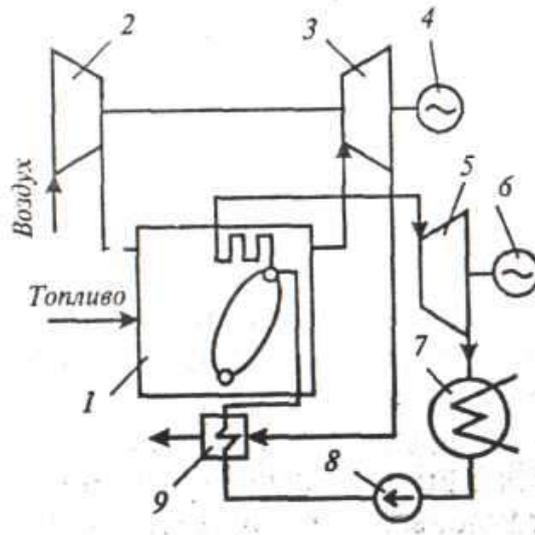


Рисунок 1.18 – Принципиальная схема парогазовой установки с высоконапорным парогенератором

Отсюда конденсат насосом 8 подается в парогенератор, и цикл паротурбинной части установки замыкается. Вал турбины соединен с валом электрического генератора 6. Продукты сгорания топлива (газы), охлажденные в поверхностях нагрева парогенератора до необходимой температуры, направляются в качестве рабочего тела в газовую турбину 3. Отработав в турбине, газы нагре-

вают в подогревателе 9 конденсат, идущий в парогенератор, и удаляются в атмосферу. Часть механической энергии, вырабатываемой газовой турбиной, затрачивается на привод компрессора, остальная часть преобразуется в электрическую энергию посредством электрического генератора 4. Общая электрическая мощность парогазовой установки складывается из мощностей, вырабатываемых генераторами 4 и 6.

Повышение эффективности достигается здесь за счет дополнительной мощности, получаемой в газотурбинной части установки.

КПД парогазовой установки повышается при регенеративном подогреве воды, подаваемой в парогенератор. Использование (полное или частичное) отработавшего в турбине пара для теплофикации также повышает эффективность установки. Ввиду того что рабочим телом для газовой турбины являются газы, уходящие из парогенератора, работа рассматриваемого типа парогазовой установки на твердом топливе в настоящее время невозможна, что является недостатком этих установок.

Рассмотренные две схемы парогазовых установок могут создаваться на жидком и газообразном топливе – для газотурбинной части и твердом топливе — для паротурбинной части установок (по схеме рисунке 1.16).

## **1.1.5 Атомные станции**

### **1.1.5.1 Общие положения**

Атомные станции (АЭС) — это по существу тепловые электростанции, которые используют тепловую энергию ядерных реакций.

Возможность использования ядерного топлива, в основном  $^{235}\text{U}$ , в качестве источника теплоты связана с образованием цепной реакции деления вещества и выделением при этом огромного количества энергии. Самоподдерживающаяся и регулируемая цепная реакция деления ядер урана обеспечивается в ядерном реакторе. Ввиду эффективности деления ядер урана  $^{235}\text{U}$  при «бомбардировке» их медленными тепловыми нейтронами пока преобладают реакторы на медленных тепловых нейтронах. В качестве ядерного горючего используют

обычно изотоп урана  $^{235}\text{U}$ , содержание которого в природном уране составляет 0,714% основная масса урана – изотоп  $^{238}\text{U}$  (99,28%). Ядерное топливо используют обычно в твёрдом виде. Его заключают в предохранительную оболочку. Такого рода тепловыделяющие элементы называют *ТВЭЛами*, их устанавливают в рабочих каналах активной зоны реактора. Тепловая энергия, выделяющаяся при реакции деления, отводится из активной зоны реактора с помощью теплоносителя, который прокачивают под давлением через каждый рабочий канал или через всю активную зону. Наиболее распространенным теплоносителем является вода, которую подвергают тщательной очистке.

Реакторы с водяным теплоносителем могут работать в водном или паровом режиме. Во втором случае пар получается непосредственно в активной зоне реактора.

При делении ядер урана или плутония образуются быстрые нейтроны, энергия которых велика. В природном или слабообогащенном уране, где содержание  $^{235}\text{U}$  невелико, цепная реакция на быстрых нейтронах не развивается. Поэтому быстрые нейтроны замедляют до тепловых (медленных) нейтронов. В качестве замедлителей используют вещества, которые содержат элементы с малой атомной массой, обладающие низкой поглощающей способностью по отношению к нейтронам. Основными замедлителями являются вода, тяжелая вода, графит.

В настоящее время наиболее освоены реакторы на тепловых нейтронах. Такие реакторы конструктивно проще и легче управляемы по сравнению с реакторами на быстрых нейтронах. Однако перспективным направлением является использование реакторов на быстрых нейтронах с расширенным воспроизводством ядерного горючего — плутония; таким образом может быть использована большая часть  $^{238}\text{U}$ .

На атомных станциях России используют ядерные реакторы следующих основных типов:

► РБМК (реактор большой мощности, канальный) — реактор на тепловых нейтронах, водографитовый;

► ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) — реактор на тепловых нейтронах, корпусного типа;

► БН (быстрые нейтроны) — реактор на быстрых нейтронах с жидкометаллическим натриевым теплоносителем.

Единичная мощность ядерных энергоблоков достигла 1500 МВт. В настоящее время считается, что единичная мощность энергоблока АЭС ограничивается не столько техническими соображениями, сколько условиями безопасности при авариях с реакторами.

Действующие в настоящее время АЭС по технологическим требованиям работают главным образом в базовой части графика нагрузки энергосистемы с продолжительностью использования установленной мощности 6500—7000 ч/год.

Технологическая схема АЭС зависит от типа реактора, вида теплоносителя и замедлителя, а также от ряда других факторов. Схема может быть одноконтурной, двухконтурной и трехконтурной.

На рисунке 1.19 в качестве примера представлена двухконтурная схема АЭС для электростанций с реакторами ВВЭР. Видно, что эта схема близка к схеме КЭС, однако вместо парогенератора на органическом топливе здесь используется ядерная установка.

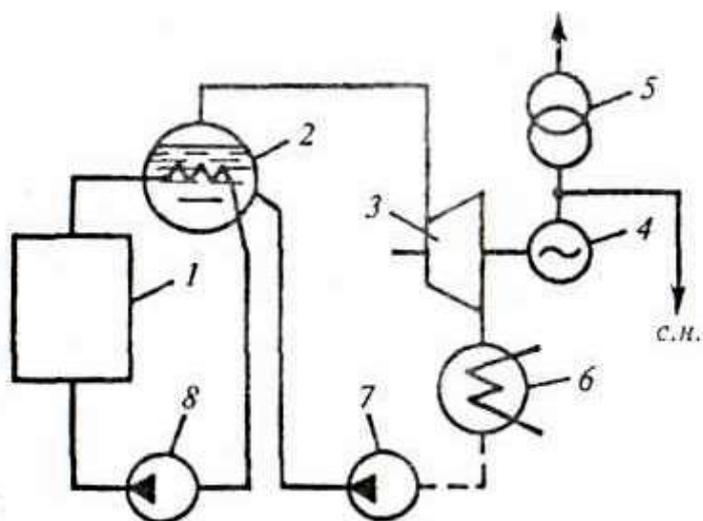


Рисунок 1.19 – Принципиальная технологическая схема АЭС с реактором типа ВВЭР:

- 1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – турбина; 4 – генератор; 5 – трансформатор;
- 6 – конденсатор турбины; 7 – конденсационный (питательный) насос;
- 8 – главный циркуляционный насос

АЭС, так же как и КЭС, строятся по блочному принципу, как в тепломеханической, так и в электрической части.

Ядерное топливо обладает очень высокой теплотворной способностью (1 кг  $^{235}\text{U}$  заменяет 2900 т угля), поэтому АЭС особенно эффективны в районах, бедных топливными ресурсами, например в европейской части России.

АЭС выгодно оснащать энергоблоками большой мощности. Тогда по своим технико-экономическим показателям они не уступают КЭС, а в ряде случаев и превосходят их. В настоящее время разработаны реакторы электрической мощностью 440 и 1000 МВт типа ВВЭР, а также 1000 и 1500 МВт типа РБМК. При этом энергоблоки формируются следующим образом: реактор сочетается с двумя турбоагрегатами (реактор ВВЭР-440 и два турбоагрегата по 220 МВт, реактор ВВЭР-1000 и два турбоагрегата по 500 МВт, реактор РБМК-1500 и два турбоагрегата по 750 МВт) или с турбоагрегатом одинаковой мощности (реактор 1000 МВт и турбоагрегатом 1000 МВт единичной мощности).

Перспективными являются АЭС с реакторами на быстрых нейтронах (БН), которые могут использоваться для получения тепла и электроэнергии, а также и для воспроизводства ядерного горючего. Технологическая схема энергоблока такой АЭС представлена на рисунке 1.20. Реактор типа БН имеет активную зону, где происходит ядерная реакция с выделением потока быстрых нейтронов. Эти нейтроны воздействуют на элементы из  $^{238}\text{U}$ , который обычно в ядерных реакциях не используется, и превращают его в плутоний  $^{239}\text{Pu}$ , который может быть впоследствии использован на АЭС в качестве ядерного горючего. Тепло ядерной реакции отводится жидким натрием и используется для выработки электроэнергии.

Схема АЭС с реактором БН трехконтурная, в двух из них используется жидкий натрий (в контуре реактора и промежуточном). Жидкий натрий бурно реагирует с водой и водяным паром. Поэтому, чтобы избежать при авариях контакта радиоактивного натрия первого контура с водой или водяным паром, выполняют второй (промежуточный) контур, теплоносителем в котором является нерадиоактивный натрий. Рабочим телом третьего контура является вода и водяной пар.

В настоящее время в эксплуатации находятся энергоблоки типа БН, из них наиболее крупный БН-600.

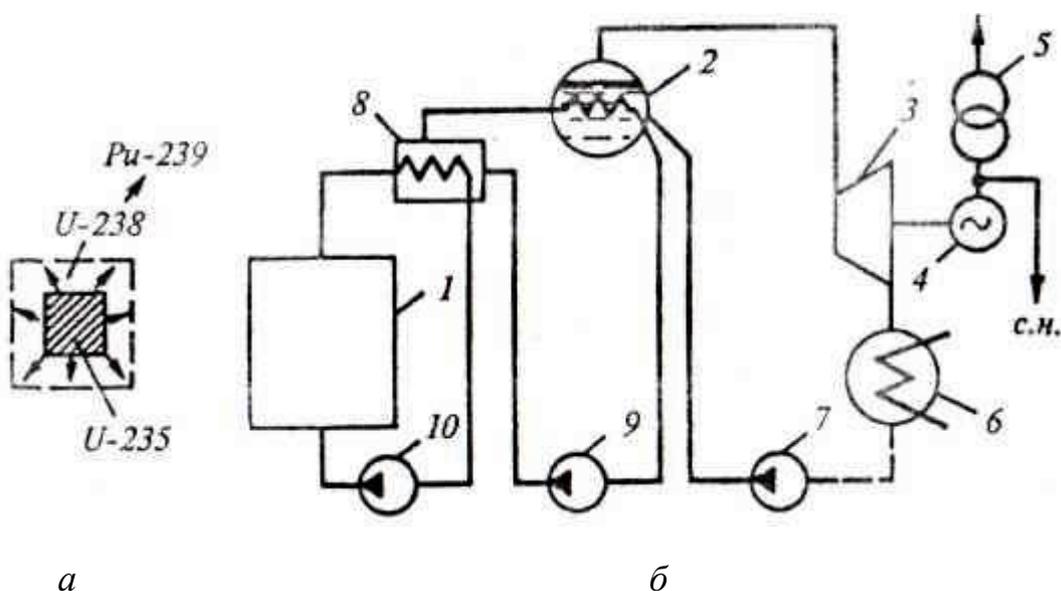


Рисунок 1.20 – Принципиальная технологическая схема АЭС с реактором типа БН:

*а* — принцип выполнения активной зоны реактора; *б* — технологическая схема: 1—7 — аналогичны указанным на рисунке 4.20; 5 — теплообменник натриевых контуров; 9 — насос нерадиоактивного натрия; 10 — насос радиоактивного натрия

АЭС не имеют выбросов дымовых газов и не имеют отходов в виде золы и шлаков. Однако удельные тепловыделения в охлаждающую воду у АЭС больше, чем у ТЭС, вследствие, большего удельного расхода пара, а следовательно, и больших удельных расходов охлаждающей воды. Поэтому на большинстве новых АЭС предусматривается установка градирен, в которых теплота от охлаждающей воды отводится в атмосферу.

Важной особенностью возможного воздействия ЛЭС на окружающую среду является необходимость захоронения радиоактивных отходов. Это делается в специальных могильниках, которые исключают возможность воздействия радиации на людей.

Чтобы избежать влияния возможных радиоактивных выбросов АЭС на людей при авариях, применены специальные меры по повышению надежности

оборудования (дублирование систем безопасности и другие), а вокруг станции создается санитарно-защитная зона.

По данным Росэнергоатома, в ближайшей перспективе будет наблюдаться дальнейшее развитие атомной энергетики как по мощности АЭС, так и количеству вырабатываемой электрической энергии на АЭС России.

### 1.1.5.2 Циклы АЭС и их эффективность

Как уже отмечалось, на АЭС ядерный тепловой двигатель состоит из реактора, являющегося источником теплоты (подобно паровому котлу или камере сгорания), и соответственно паро- или газотурбинной установки, где эта теплота превращается в механическую работу. Поэтому теоретические циклы ядерных тепловых двигателей подобны рассмотренным выше циклам паротурбинных и газотурбинных двигателей и к ним применимы те же оценочные критерии. Однако существуют и некоторые особенности:

- 1) возможность широко изменять тепловую мощность реактора;
- 2) ограниченность ее максимальной величины термостойкостью оболочек *твэлов* (сплавы из Al и Mg — до 450°C, нержавеющая сталь — до 600°C, другие материалы — до 1000°C) и термостойкостью ядерного топлива (металлический уран — до 600°C, двуокись урана UO<sub>2</sub> — 2760°C);
- 3) небольшая доля топливной составляющей в балансе стоимости вырабатываемой энергии (10—15% против 50—60% на ТЭС), которая при воспроизводстве ядерного топлива становится совсем ничтожной;
- 4) последнее обстоятельство предъявляет к АЭС не только требование высокого термического КПД цикла ( $\eta_t$ ), но и максимальной единичной мощности, позволяющей снизить капиталовложения в строительство электростанций и энергосиловых установок судов.

Если обозначить тепловую мощность реактора  $Q_T$ , то максимальная теоретическая мощность АЭС, кВт,

$$N_T^{max} = Q_T \cdot \eta_t.$$

Можно получить

$$Q_T = K_T \cdot K_{нр} \cdot F(T_{0пр} - T_{1ср}) \quad (1.4)$$

где  $K_T$  — коэффициент теплопередачи от ядерного топлива к теплоносителю;

$K_{нр}$  — коэффициент неравномерности тепловыделения по радиусу реактора;

$F$  — омываемая площадь поверхности *твэлов* реактора;

$T_{0пр}$  — предельно допустимое значение температуры наиболее напряженной поверхности *твэла*;

$T_{1ср}$  — средняя температура подвода теплоты в цикле.

Термический КПД цикла определяется общей формулой:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_{2ср}}{T_{1ср}},$$

где  $T_{2ср}$  — средняя температура отвода теплоты в цикле.

Следовательно,

$$N_T^{max} = K_T \cdot K_{нр} \cdot F(T_{0пр} - T_{1ср}) \left(1 - \frac{T_{2ср}}{T_{1ср}}\right) \quad (1.5)$$

Из формулы (1.5) видно, что с повышением температуры  $T_{1ср}$  подвода теплоты в цикле тепловая мощность реактора  $Q_T$  уменьшается, а термический КПД цикла  $\eta_t$  возрастает.

Отсюда можно найти оптимальную среднюю температуру подвода теплоты в цикле, взяв первую производную  $\frac{dN_T^{max}}{dT_{1ср}}$  выражения (1.5) и приравняв ее нулю. В результате получим

$$T_{1ср}^{opt} = 1 - \sqrt{T_{0пр} \cdot T_{2ср}}$$

и соответственно ей оптимальное значение термического КПД

$$\eta_t^{\text{опт}} = 1 - \sqrt{T_{2\text{ср}} \cdot T_{0\text{пр}}} \quad (1.6)$$

Из полученных результатов очевидна роль значения предельной температуры тепловыделяющих элементов  $T_{0\text{пр}}$ . Как видно из выражений (1.4) и (1.6), чем больше  $T_{0\text{пр}}$ , тем больше оптимальный КПД  $\eta_t^{\text{опт}}$  и тем больше оптимальная средняя температура подвода теплоты в цикле  $T_{1\text{ср}}^{\text{опт}}$ . При этом с увеличением  $T_{0\text{пр}}$  выделение теплоты  $Q_T$  согласно уравнению (1.4) увеличивается. Таким образом, увеличивается электрическая мощность атомной установки.

Согласно изложенному в зависимости от допускаемой предельной температуры  $T_{0\text{пр}}$  различают так называемые низкотемпературные и высокотемпературные реакторы.

Последние позволяют повысить давление и температуру пара в цикле АЭС. Они обеспечивают наибольшую эффективность при более простой схеме станции и рассчитаны на применение воды в качестве теплоносителя.

Одним из путей повышения параметров пара АЭС является использование газовых ( $\text{CO}_2$ , воздуха, гелия, аргона) и жидкометаллических (натрия, сплава натрия с калием) теплоносителей в реакторе, позволяющих достигнуть высоких параметров пара непосредственно во вторичном контуре двухконтурной АЭС.

Электрическая мощность атомной установки определяется из выражения

$$N_{\text{Э}} = Q_T \eta_t \eta_{oi} \eta_M \eta_G \eta_{CH}$$

где  $\eta_{oi}$  — относительный внутренний КПД турбины;

$\eta_M$  — механический КПД;

$\eta_G$  — КПД электрического генератора;

$\eta_{CH}$  — КПД оборудования собственных нужд установки.

В настоящее время наиболее широко применяются паротурбинные ядерные установки, реже — газотурбинные. Для повышения эффективности в них используются все рассмотренные выше усовершенствования (способы): регенерация теплоты, промежуточный перегрев пара, парогазовые и бинарные циклы и т.д.

Основное назначение ядерных установок — выработка электроэнергии на электростанциях, но они устанавливаются также на крупных судах и на подводных лодках.

В России применяют и строят главным образом паротурбинные установки.

### 1.1.5.3 Циклы паротурбинных АЭС

На современных АЭС паротурбинные циклы осуществляются по различным схемам: одно- и двухконтурным. На рисунке 1.21 представлены циклы одноконтурных схем паротурбинных АЭС в  $T,s$ -диаграмме.

Ранее указывалось, что при расширении пара в турбине в области насыщенного пара снижается экономичность установки и возникает эрозия лопаток турбин. Вследствие этого влажность пара в конце расширения не должна превышать от 12 до 14%. Для выполнения этого условия применяется промежуточная подсушка — сепарация пара и его перегрев — промежуточный и начальный. При давлении в конце расширения  $p_2 = 0,0034—0,0039$  МПа сепарация необходима уже при начальном давлении  $p_1 = 0,3—0,4$  МПа, если же  $p_1 > 4,5$  МПа, необходима двухступенчатая сепарация, а при  $p_1 > 8,0$  МПа — трехступенчатая. Сепарация дает, кроме того, повышение на 1—3% КПД реального цикла, однако серьезно усложняет установку, из-за чего больше двух ступеней не делают (рисунок 1.21, а).

На рисунке 1.21, а пунктиром  $A-B$  условно показано изменение температуры поверхности *твэлов*. Процесс 4-5-1 - нагрев воды до температуры насыщения (точка 5) и парообразование ее до получения сухого пара (точка 1); процессы 1—а, б—с и д—2 — расширение пара в турбине, а а—б и с—д — подсушка в сепараторах. Точка 3 соответствует конечной температуре регене-

ративного подогрева питательной воды.

Термический КПД этого цикла определяется так:

$$\eta_t = \frac{\Delta i_T}{(i_1 - i_4)'} ,$$

где  $\Delta i_T = (i_1 - i_2)K$  - суммарный перепад, использованный в турбине с учетом отборов на регенерацию и сепарации; коэффициент  $K < 1$ . Из-за сложности выражения  $K$  мы его здесь не приводим.

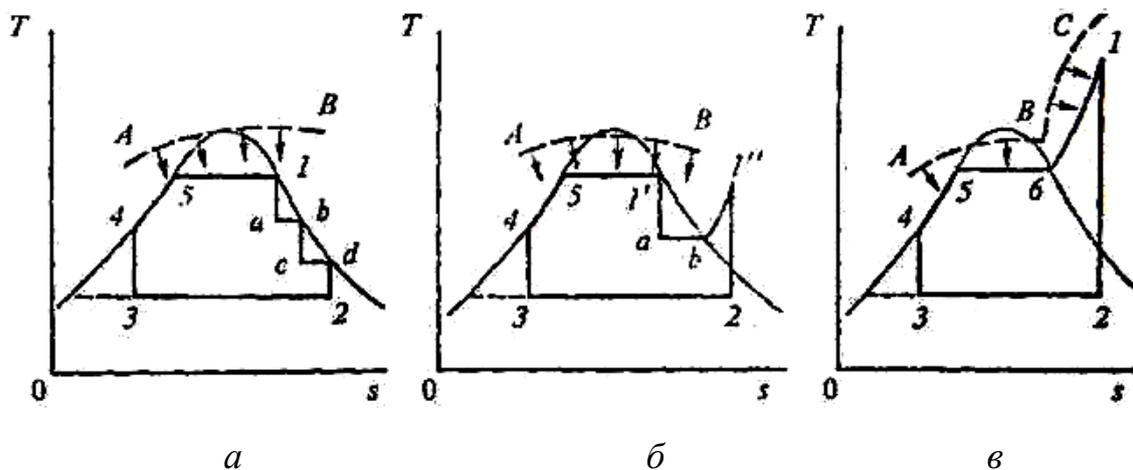


Рисунок 1.21 – Циклы одноконтурных паротурбинных АЭС с реакторами кипящего типа:

*a* — насыщенного пара с двухступенчатой промежуточной сепарацией;  
*б* — насыщенного пара с одноступенчатой сепарацией и промежуточным перегревом пара; *в* — с начальным перегревом пара.

При нежелательности двухступенчатой сепарации вместо второй ступени вводят промежуточный перегрев пара  $b-1''$  (рисунок 1.21, б) острым (не поступившим еще в турбину) или отборным паром. Степень перегрева острым паром зависит от температурного напора в пароперегревателе  $\Delta t_{\text{мп}} = t_1 - t_{1'} \approx 15 - 30^\circ\text{C}$ , выбираемого с учетом начального и промежуточного давлений пара; мощности турбины и конечной влажности пара. Если брать острый пар из паропровода перед стопорным клапаном турбины, то можно повысить начальное давление пара, снизить конечную влажность, за счет чего повысить КПД ступеней низкого давления. Вместе с тем паро-паровой перегрев усложняет водный режим и схему. Важное значение имеет правильный выбор давления осушки и пере-

грева пара (*a-b-1*" ).

Опыт проектирования и эксплуатации АЭС показал, что самые высокие параметры пара на входе в турбину ( $p_1 \geq 10$  МПа и  $t_1$  до 500—550 °С) реализуются в одноконтурной схеме с кипящими реакторами (водой и графитом в качестве замедлителя). Водяной пар, выполняющий роль одновременно теплоносителя реактора и рабочего тела турбины, перегревается в *твэлах* и затем направляется непосредственно в турбину.

Начальный перегрев пара (процесс *б — 1* на рисунке 1.21, *в*) производится в ядерном реакторе (поэтому называется ядерным перегревом), в каналах или выделенной части активной зоны до температуры (точка 1), обеспечивающей допустимую влажность в конце расширения (точка 2). Этому условию удовлетворяют так называемые сопряженные начальные параметры пара. При конечном давлении пара  $p_2 = 0,0039$  МПа сопряженными начальными параметрами являются: 7,0 МПа — 450°С; 8,8 МПа — 480°С; 12,3 МПа — 515°С. Если  $t_1$  ниже, а  $p_1$  выше этих значений, необходима промежуточная сепарация или перегрев пара. На рисунке 1.21, *в* пунктиром *A — B — C* показано изменение температуры *твэлов*.

Этот цикл перспективен, поскольку позволяет получить параметры пара, соответствующие параметрам выпускаемых отечественными заводами паровых турбин перегретого пара, повысить тепловую экономичность, сократить удельный расход пара и расход воды на конденсацию пара. Основные трудности его реализации связаны с проблемой создания надежной зоны ядерного перегрева, устойчиво работающей при высоких температурах, больших тепловых нагрузках и глубинах выгорания ядерного топлива. Этот цикл применен для второго блока Белоярской АЭС с начальными параметрами 8,0 МПа и 500 °С, а также, на АЭС за рубежом.

Основные теоретические циклы двухконтурных АЭС с реакторами, охлаждаемыми водой под давлением (ВВЭР), приведены на рисунке 1.22. Общей особенностью этих циклов является ограничивающее влияние параметров промежуточного теплоносителя (зависящих от его свойств) на параметры цикла.

В цикле с *начальным перегревом пара* (рисунок 1.22, а) нагрев воды (процесс 4-5), парообразование (процесс 5-6) и перегрев пара (процесс 6-1) осуществляются за счет подвода теплоты от теплоносителя (линия АВ). Температура перегрева пара (точка 1) зависит от максимальной температуры воды-теплоносителя (точка В) и температурного напора ( $t_A - t_1$ ). Давление пара во втором контуре зависит от давления теплоносителя, температуры пара  $t_1$ , давления  $p_2$  и влажности пара в конце расширения в турбине.

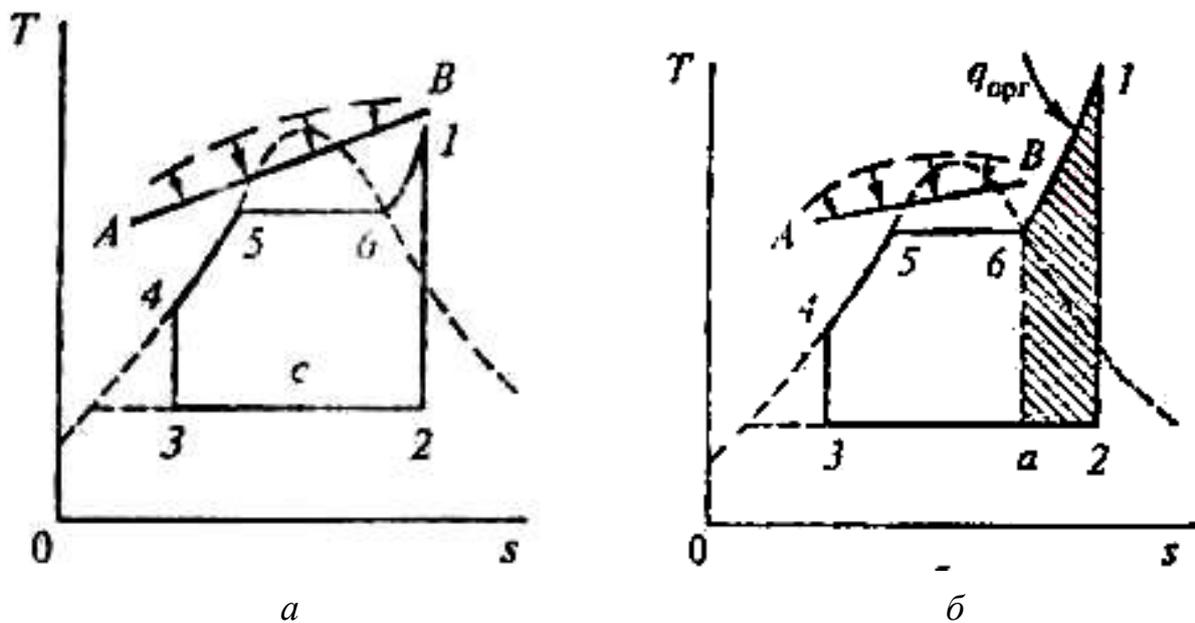


Рисунок 1.22 – Циклы двухконтурных паротурбинных АЭС с реакторами, охлаждаемыми водой под давлением:

а — с начальным перегревом пара; б — с начальным (огневым) перегревом пара от постороннего источника.

Кроме того, имеются двухконтурные АЭС, в которых применяется *огневой перегрев пара* за счет теплоты от сжигания органического горючего  $q_{орг}$  (рисунок 1.22, б). В этом случае возможна практически любая допустимая для паровой турбины температура перегрева пара (точка 1), а также любые параметры, включая сверхкритические с промежуточным перегревом пара. Доля мощности, приходящейся на огневой пароперегреватель, может выбираться в широких пределах (0,23—0,84) в зависимости от  $t_6$  и  $x$ .

По этому циклу работают АЭС в США и ФРГ, но в последние годы от

него оказываются из-за сложности эксплуатации.

## 1.2. Гидроэлектрические станции

### 1.2.1 Общие положения

*Гидроэлектрические станции* — это высокоэффективные источники электроэнергии. В большинстве случаев гидроэлектростанции представляют собой объекты комплексного назначения, обеспечивающие нужды электроэнергетики и других отраслей народного хозяйства: мелиорации земель, водного транспорта, водоснабжения, рыбного хозяйства и других.

*Гидроэлектрическая станция* — это комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия водотока преобразуется в электрическую энергию. ГЭС состоит из *гидротехнических сооружений*, обеспечивающих необходимую концентрацию потока воды и создание сосредоточенного *напора*, и энергетического оборудования, преобразующего энергию движущейся под напором воды в электрическую энергию.

По напору ГЭС делятся на *высоконапорные* (более 80 м), *средненапорные* (от 25 до 80 м) и *низконапорные* (до 25 м).

Принято называть совокупность гидротехнических сооружений, энергетическое и механическое оборудование *гидроэнергетической установкой* (ГЭУ).

Различают следующие основные типы гидроэнергетических установок:

- гидроэлектростанции (ГЭС);
- насосные станции (НС);
- гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС);
- приливные электростанции (ПЭС).

Как уже отмечалось, ГЭС — это предприятие, на котором гидравлическая энергия водотока преобразуется в электрическую.

Основными сооружениями ГЭС на равнинной реке являются *плотина*, создающая водохранилище и сосредоточенный перепад уровней, т.е. напор, и *здание* ГЭС, в котором размещаются гидравлические турбины, генераторы, электрическое и механическое оборудование. В случае необходимости строятся водо-

сбросные и судоходные сооружения, рыбопропускные сооружения и т.п.

Общий вид ГЭС приплотинного типа представлен на рисунке 1.23.

Вода под действием силы тяжести по водоводам движется из верхнего бьефа в нижний, вращая рабочее колесо турбины. Гидравлическая турбина соединена валом с ротором электрического генератора. Турбина и генератор вместе образуют *гидрогенератор*. В турбине гидравлическая энергия преобразуется в механическую энергию вращения на валу агрегата, а генератор преобразует эту энергию в электрическую. Возможно создание на реках каскадов ГЭС. В России построены и успешно эксплуатируются Волжский, Камский, Ангарский, Енисейский и другие каскады ГЭС.

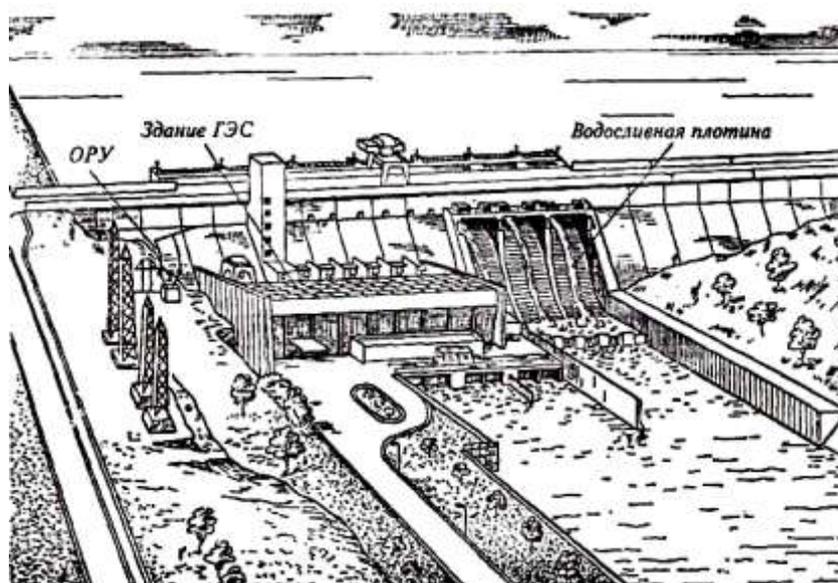


Рисунок 1.23. Общий вид ГЭС приплотинного типа

Гидроэлектростанции как источник электрической энергии имеют существенные преимущества перед тепловыми и атомными электростанциями. Они лучше приспособлены для автоматизации и требуют меньшего количества эксплуатационного персонала. Показательны следующие средние значения удельной численности персонала станций различного вида на 1 млн кВт установленной мощности: для ГЭС — 300, для ТЭС — 1400, для АЭС — 1800 чел. Но это только на самой станции, а еще нужно добавить трудозатраты на добычу и транспортировку топлива, в итоге требуемая удельная численность персонала на 1 млн кВт для ТЭС (АЭС) в среднем составляет 2500 чел.

В России построены и эксплуатируются крупные ГЭС: каскад Волжских ГЭС, каждая мощностью 2530 МВт и менее; Братская ГЭС — 4500 МВт. Красноярская ГЭС — 6000 МВт. Саяно-Шушенская ГЭС — 6400 МВт и много других.

**Малые ГЭС.** В настоящее время в мире и России большой интерес вызывает возможность создания малых ГЭС (мощностью до 30 МВт). Они могут создаваться в короткие сроки с использованием унифицированных гидроагрегатов и строительных конструкций с высоким уровнем автоматизации систем управления. Экономическая эффективность их использования существенно возрастает при комплексном использовании малых водохранилищ (восстановления объема водохранилища, рыбоводство, водозаборы для систем орошения и водоснабжения и т.п.).

**Насосная станция** предназначена для перекачки воды с низких отметок на высокие и транспортировки воды в удаленные пункты.

На насосной станции устанавливаются насосные агрегаты, состоящие из насоса и двигателя. Насосная станция является потребителем электроэнергии.

Они используются для водоснабжения тепловых и атомных станций, коммунально-бытового и промышленного водоснабжения, в ирригационных системах, судоходных каналах и т.п.

**Гидроаккумулирующая электростанция** предназначена для перераспределения во времени энергии и мощности в энергосистеме. В часы пониженных нагрузок ГАЭС работает как насосная станция. За счет потребляемой энергии она перекачивает воду из нижнего бьефа в верхний и создает запасы гидроэнергии за счет 1 повышения уровня верхнего бьефа.

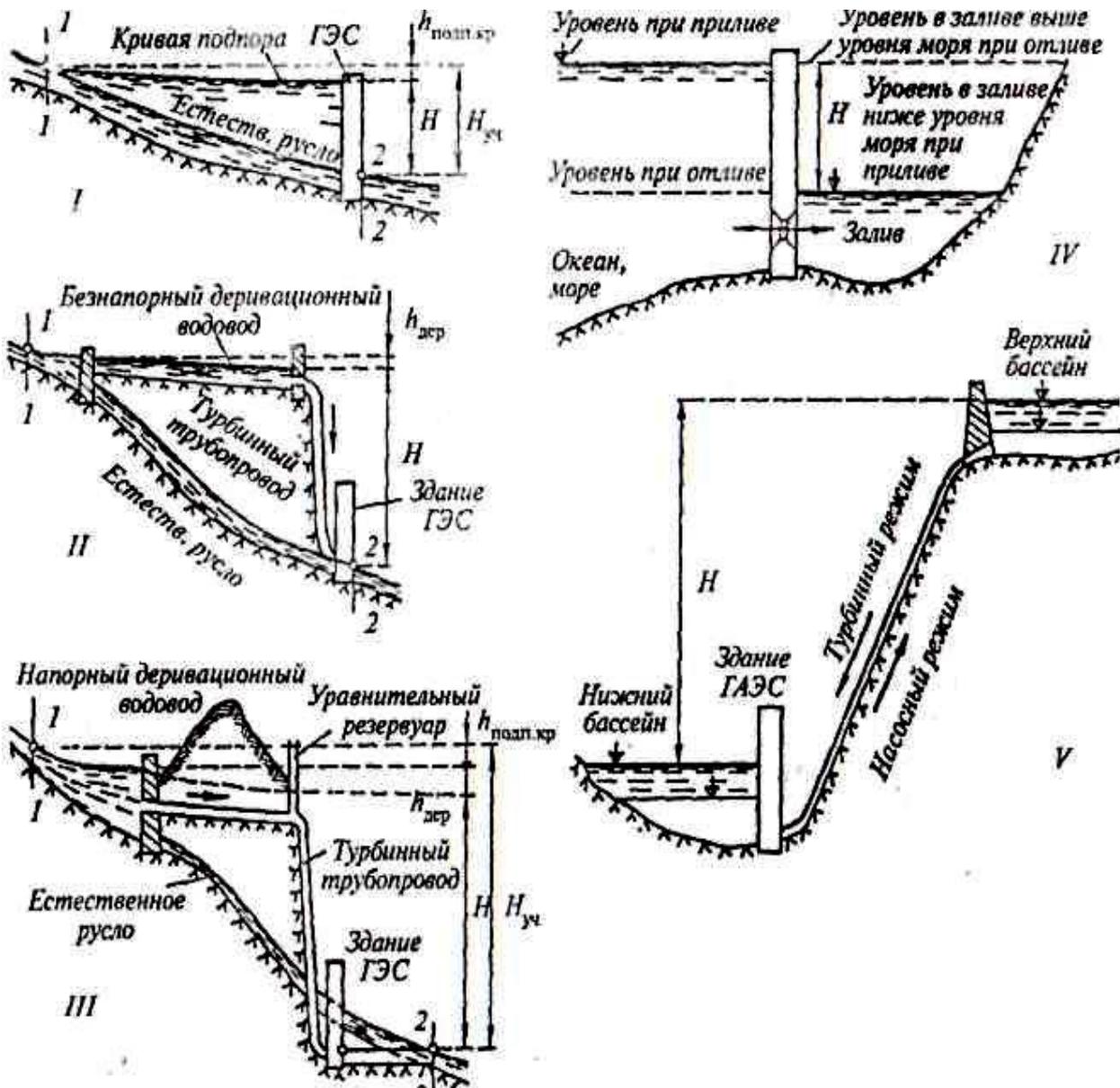
В часы максимальной нагрузки ГАЭС работает как гидроэлектростанция. Вода из верхнего бьефа пропускается через турбины в нижний бьеф, и ГАЭС вырабатывает и выдает электроэнергию в энергосистему. В процессе работы ГАЭС потребляет дешевую электроэнергию, а выдает более дорогую в период пика нагрузки (за счет разности тарифов). Заполняя провалы нагрузки в энергосистеме, позволяет работать агрегатам атомных и тепловых станций в наиболее экономичном и безопасном режиме, резко снижая при этом удельный расход

топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии в энергосистеме.

В настоящее время в России работает Загорская ГАЭС мощностью 1200 МВт, ведется проектирование других ГАЭС.

Работа ГАЭС показана на рисунке 1.24, схема V.

**Приливные электростанции** сооружаются на побережье морей и океанов со значительными приливно-отливными колебаниями уровня воды. Для этого естественный залив отделяется от моря плотиной и зданием ПЭС. При приливе уровень моря будет выше уровня воды в отделенном от него заливе, а при отливе, наоборот, ниже уровня воды в заливе (рисунок 1.24, схема IV). Перепады этих уровней создают напор, который используется при работе гидротурбин ПЭС.



## Рисунок 1.24 – Принципиальные схемы создания напора

В некоторых морских заливах приливы достигают 10 — 12 м, а наибольшие приливы наблюдаются в заливе Фанди (Канада) и достигают 19,6 м.

Технические ресурсы приливной энергии России оцениваются в 200—250 млрд. кВт • ч в год и в основном сосредоточены у побережья Охотского, Берингова и Белого морей.

### 1.2.2. Энергия речного водотока

Работа гидравлических станций в значительной мере основывается на законах науки, называемой гидравликой; она включает в себя гидростатику, изучающую равновесие жидкостей, и гидродинамику, изучающую движение жидкостей

Известно, что вода покрывает почти три четверти нашей планеты. Значительное количество воды испаряется и выпадает в виде осадков на поверхность Земли, в том числе и на отдельные участки суши, расположенные над уровнем океана. Спускаясь с возвышенных участков на более низкие в виде больших и малых водотоков, эти постоянно возобновляемые природой массы воды теряют энергию, которая может быть эффективно использована. В естественном состоянии эта энергия расходуется на преодоление сил трения при взаимодействии потока с руслом, на перемещение наносов, преодоление препятствий в руслах (пороги, перекаты и других).

Территория, с которой стекает вода в реку, называется **водосборным бассейном** данной реки. Линия, проходящая по повышенным местам и отделяющая друг от друга соседние бассейны, называется водораздельной линией.

К водосборному бассейну моря относят водосборные бассейны всех рек, впадающих в данное море.

Количество воды, протекающей через поперечное сечение водотока в 1 с, называется расходом воды  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$  или л/с).

Хронологический график изменения расходов воды во времени называется **гидрографом**. Его строят по результатам регулярных измерений расходов воды в реке.

Суммарный объем воды, прошедший через поперечное сечение водотока от какого-либо начального момента времени  $t_0$  до некоторого конечного  $t_k$ , называется стоком  $W$ .

Величина стока реки за сутки, месяц или любой другой промежуток времени, в течение которого расход воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, сохраняет постоянное значение, равна  $W = Q t$ , где  $t$  - число секунд в данном промежутке времени.

При различном расходе воды в течение всего рассматриваемого интервала времени от  $t_0$  до  $t_k$  (по гидрографу) объем стока определяется по формуле:

$$W = \int_{t_0}^{t_k} Q(t) dt.$$

Отметим, что среднегодовой сток всех рек мира составляет 32 тыс. км<sup>3</sup>; в таблице 1.1 приведены данные о речном стоке отдельных стран мира.

Таблица 1.1. – Данные о речном стоке отдельных стран мира

Страна	Площадь территории, млн км <sup>2</sup>	Суммарный средний многолетний объем стока, км <sup>3</sup> /год	Удельная водность в среднем за год с 1 км <sup>2</sup> , л/с
Россия	17,075	4000	7,4
Бразилия	8,51	5300	11,9
США	9,36	2850	9,8
Китай	9,90	2600	8,3
Канада	9,98	1500	24,0
Норвегия	0,32	368	35,8
Франция	0,551	343	19,7
Югославия	0,256	123	15,2
Польша	0,312	58	5,9

Запасы поверхностного стока по территории России распределены неравномерно, что весьма неблагоприятно для народного хозяйства, в том числе и для энергетики. Более 80% речного стока российских рек приходится на еще мало освоенные территории бассейнов Северного Ледовитого и Тихого океанов.

Особенностью стока реки является его неравномерное распределение

как по годам, так и в течение года.

Многолетняя неравномерность стока неблагоприятна для всех отраслей народного хозяйства, и прежде всего для энергетики. **Различают *многоводные, средневодные* и *маловодные* годы.** В маловодные годы обычно значительно снижается выработка энергии на гидроэлектростанциях.

Для большинства рек России маловодный период наблюдается зимой, когда потребность в электроэнергии наибольшая.

Численное значение энергии водотока определяют следующим образом. Водоток разбивают на ряд участков, начиная от истока до устья, и определяют полную энергию потока жидкости в начальном  $\mathcal{E}_1$  и конечном  $\mathcal{E}_2$  створах участка, используя известное уравнение Бернулли. Теряемая энергия на этом участке будет равна разности  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$ :

$$\mathcal{E}_{\text{уч}} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = \rho g W \left( z_1 - z_2 + \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right), \quad (1.6)$$

где  $W$  — объем стока воды, м<sup>3</sup>;

$g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\rho$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>; каждый член выражения, заключенный в скобки, представляет собой удельную энергию массы протекающей жидкости в единицах напора, м;

$z_1$  и  $z_2$  — геометрическая высота над уровнем моря или над произвольно выбранной и плоскостью сравнения, м;

$p_1$  и  $p_2$  — давление, Па;

$v_1, v_2$  — средняя скорость, м/с;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — коэффициент кинетической энергии, представляющий собой отношение действительной кинетической энергии к ее величине, полученной по средней скорости.

Разделив выражение (1.6) на время, получим среднюю мощность водотока на данном участке:

$$N_{yч} = \frac{\mathcal{E}_{yч}}{t} = \rho g Q \left( z_1 - z_2 + \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right). \quad (1.7)$$

Поскольку в естественных условиях разность кинетических энергии  $\frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g}$  незначительна, а давление одинаково, то выражения (1.6) и (1.7) принимают вид:

$$\mathcal{E}_{yч} = \rho g W H_{yч}; \quad (1.8)$$

$$N_{yч} = \rho g Q H_{yч}, \quad (1.9)$$

где  $H_{yч} = z_1 - z_2$  — разность уровней (падение уровней) свободной поверхности водотока в пределах рассматриваемого участка, м.

Для водотоков с чистой пресной водой  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  и при  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  формула (1.9) приводится к удобному виду, кВт:

$$N_{yч} = 9,81 Q H_{yч}. \quad (1.10)$$

Формулы (1.8) и (1.10) выражают теоретическую (потенциальную) энергию и мощность на рассматриваемом участке.

Суммируя потенциальные энергетические ресурсы по участкам водотока, получаем потенциальные энергетические ресурсы реки.

Гидроэнергетические ресурсы подразделяются на теоретические (потенциальные), технические и экономические.

Теоретические гидроэнергетические ресурсы — это теоретические запасы, определяемые по формуле

$$\mathcal{E} = 8760 \sum_{i=1}^n 9.81 Q_i H_i$$

где  $\mathcal{E}$  — энергия кВт · ч;

$Q_i$  — средний годовой расход реки на 1-м рассматриваемом участке, м<sup>3</sup>/с;

$H_i$  — падение уровня реки на этом участке, м;

$n$  — число участков;

8760 — число часов в году.

Они подсчитываются в предположении, что весь сток будет использован для выработки электроэнергии без потерь при преобразовании гидравлической энергии в электрическую.

Мировые потенциальные гидроэнергетические ресурсы оцениваются в  $35 \cdot 10^3$  млрд. кВт·ч в год, потенциальные ресурсы России составляют 2896 млрд. кВт · ч.

Технические гидроэнергетические ресурсы — всегда меньше теоретических, так как они учитывают потери:

- гидравлических напоров в водоводах, бьефах, на неиспользуемых участках водоков;
- расходов воды на испарение из водохранилищ, фильтрацию, холостые сбросы и т.п.;
- энергии в различном гидроэнергетическом оборудовании.

Технические ресурсы характеризуют возможность получения энергии на современном этапе.

Технические гидроэнергетические ресурсы России составляют 1670 млрд. кВт · мч в год, в том числе по малым ГЭС — 382 млрд. кВт · ч в год.

Выработка электроэнергии на действующих ГЭС России в 2002 г. составила 170,4 млрд. кВт·ч, в том числе на малых ГЭС — 2,2 млрд. кВт · ч.

**Экономические гидроэнергетические ресурсы** — это часть технических ресурсов, которую по современным представлениям целесообразно использовать в обозримой перспективе. Они существенно зависят от прогресса в энергетике, удаленности ГЭС от места подключения к энергосистеме, обеспеченности рассматриваемого региона другими энергетическими ресурсами, их стоимостью, качеством и т.п.

### 1.2.3 Схемы создания напора и основное оборудование ГЭС

Наиболее эффективное использование энергии водотока возможно при концентрации перепадов уровней воды на относительно коротком участке. Для использования падения уровней рек, распределенных по значительной длине водотока, прибегают к искусственному сосредоточению перепада, что может быть осуществлено различными способами. Различают три основные схемы:

- плотинная, при которой напор создается плотиной;
- деривационная, где напор создается преимущественно с помощью деривации (отведения, отклонения), выполняемой в виде канала, туннеля или трубопровода;
- комбинированная, в которой напор создается плотиной и деривацией.

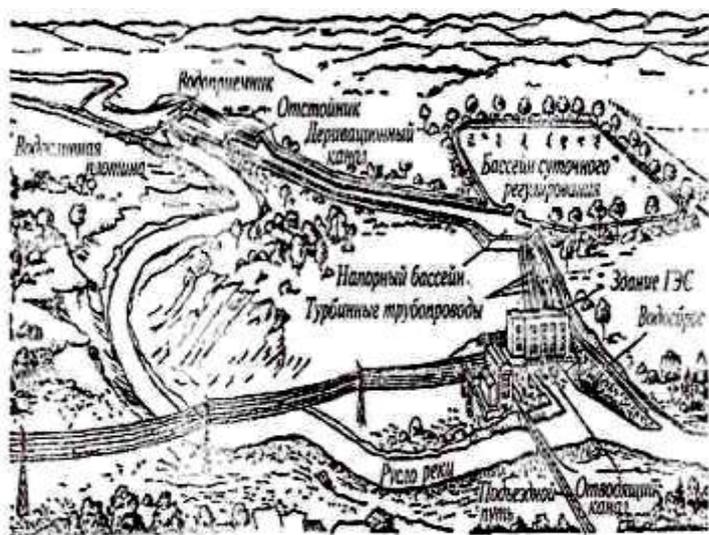
**Плотинная схема** (рисунок 1.24, схема I) предусматривает создание подпора уровня водотока путем сооружения плотины. Образующееся при этом водохранилище может использоваться в качестве регулирующей емкости, позволяющей периодически накапливать запасы воды и более полно использовать энергию водотока.

В гидроузлах, осуществленных по плотинной схеме создания напора, различают русловые и приплотинные здания станций.

ГЭС с русловым зданием характеризуется тем, что ее здание входит в состав водоподпорных сооружений и воспринимает давление воды со стороны верхнего бьефа. Конструкция здания в этом случае должна удовлетворять всем требованиям устойчивости и прочности, предъявляемым к плотинам. Размеры здания, в частности его высота, определяются напором, поэтому ГЭС с русловыми зданиями строятся при сравнительно небольших напорах — до 30 — 40 м (каскад Волжских ГЭС).

ГЭС с приплотинным зданием характеризуется тем, что ее здание располагается за плотиной (рисунок 1.23) и не воспринимает давления воды. На крупных современных гидроэлектростанциях такого типа напор достигает до 300 м (Красноярская ГЭС).

*Деривационная схема* (рисунок 1.24, схемы II и III) позволяет получить сосредоточенный перепад путем отвода воды из естественного русла по искусственному водоводу, имеющему меньший продольный уклон. Благодаря этому уровень воды в конце водовода оказывается выше уровня воды в реке; эта разность уровней и является напором гидроэлектростанции. В зависимости от типа искусственных водоводов (деривации) различают ГЭС с напорной и с безнапорной деривацией. При безнапорной деривации отвод воды из реки осуществляется безнапорными водоводами, например открытым каналом (рисунок 1.25, а). Для забора воды в деривационный канал в русле реки возводится невысокая плотина,



а



б

Рисунок 1.25 – Общий вид деривационной ГЭС:

а – с безнапорной деривацией; б – с напорной деривацией

создающая водохранилище. Вода в канал поступает через водоприемник. Плотины, водоприемник, а в ряде случаев и другие сооружения (водосброс, отстойник и др.) образуют так называемый головной узел деривационной гидроэлектростанции. Деривационный канал заканчивается напорным бассейном, из которого вода по трубопроводам подается к турбинам в здание станции. Пройдя через турбины вода отводится обратно в русло реки по отводящему каналу. Напорный бассейн, трубопроводы, здание станции и другие сооружения, примыкающие к ним, образуют станционный узел, который в зависимости от длины деривации может находиться на значительном удалении от головного узла.

На рисунке 1.25, б показан общий вид ГЭС с напорной деривацией в виде напорного туннеля. В ряде случаев для защиты деривационных напорных водоводов от перегрузок избыточным внутренним давлением может потребоваться строительство специального сооружения — уравнивающего резервуара.

Создание или увеличение сосредоточенного перепада уровней воды можно осуществить также посредством отводящего деривационного водовода, продольный уклон которого меньше уклона естественного русла. В этом случае здание ГЭС располагается в глубокой выемке или под землей в удалении от нижнего сечения используемого участка водотока.

Сооружение деривационных ГЭС оказывается целесообразным в горных условиях при больших уклонах рек и относительно малых расходах воды: тогда при небольшой протяженности и малой площади сечения деривационного водовода можно получить большой напор (до 1000 м и более) и соответственно большую мощность.

**Комбинированная схема** (рисунок 1.24, схема III) предусматривает создание напора посредством использования напора как плотины, так и деривационных сооружений.

На всех гидроэлектростанциях, осуществленных по любой из указанных выше схем, механическая энергия движущихся масс воды преобразуется в электрическую с помощью гидротурбин и гидрогенераторов, размещенных вместе с многочисленным вспомогательным оборудованием в зданиях станции.

### 1.2.3.1. Напоры гидроэлектрических станций

Напоры гидроэлектрических станций определяются в соответствии с типами ГЭС. Разность отметок верхнего и нижнего бьефов называется статическим напором, м:

$$H_{ст} = \Delta ВВ - \Delta НБ.$$

Разность удельных энергий потока в сечении 1—1 верхнего бьефа до входа в энергетические водоводы и в сечении 2—2, расположенном в нижнем бьефе за отсасывающими трубами гидротурбин, называется напором брутто, м (рисунок 1.26):

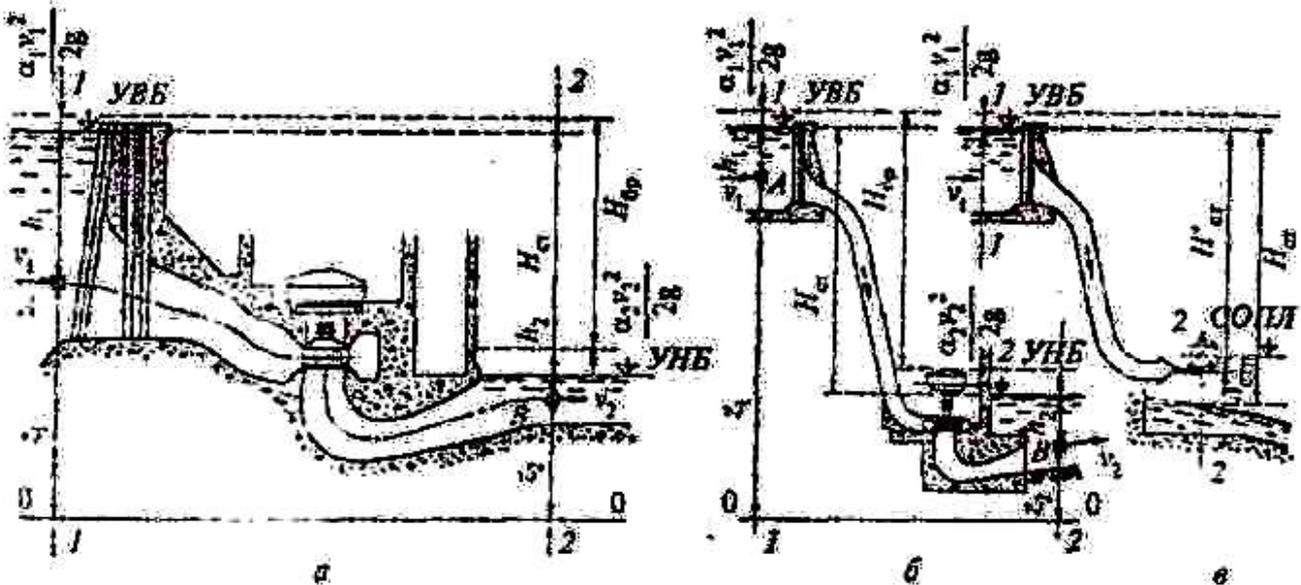


Рисунок 1.26 – Схемы определения напоров ГЭС:

*a* – русловая ГЭС; *б* – деривационная ГЭС; *в* – ГЭС с ковшовыми турбинами

$$H_{бр} = H_{ст} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}.$$

Разность напора брутто и гидравлических потерь в подводящем и отводящем водоводах  $h_{пот}$  (по длине и местные) называется напором нетто, м:

$$H_{н} = H_{ст} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - h_{пот}.$$

Поскольку разность кинетических энергий обычно невелика, В большинстве случаев для практических расчетов напор, используемый турбинами ГЭС, м, принимается равным

$$H = H_{\text{ст}} - h_{\text{пот}}.$$

Потери напора  $h_{\text{пот}}$  обычно составляют 2 — 5%  $H_{\text{ст}}$ .

При использовании на ГЭС активных ковшовых гидротурбин с выпуском воды из сопла в атмосферу имеется еще дополнительная потеря напора  $h_{\text{стр}}$  (рисунок 1.26, в), равная разности отметок оси струи и уровня нижнего бьефа. Напор турбин в этом случае определится выражением

$$H = H_{\text{ст}} - h_{\text{стр}} - h_{\text{пот}}. \quad (1.11)$$

### 1.2.3.2. Гидротурбины

Основным энергетическим оборудованием ГЭС являются гидротурбины и генераторы.

*Гидравлической турбиной* называется машина, преобразующая энергию движения воды в механическую энергию вращения ее рабочего колеса. Гидротурбины разделяют на два класса: активные и реактивные. Турбина называется активной, если используется только кинетическая энергия потока, и реактивной, если используется и потенциальная энергия при реактивном эффекте.

Наиболее распространенными активными гидротурбинами являются ковшовые (рисунок 1.27, а).

*В ковшовой активной турбине* потенциальная энергия гидростатического давления в суживающейся насадке — сопле — полностью превращается в кинетическую энергию движения воды. Рабочее колесо турбины выполнено в виде диска, по окружности которого расположены ковшеобразные лопасти 7 (рис. 5.5, а).

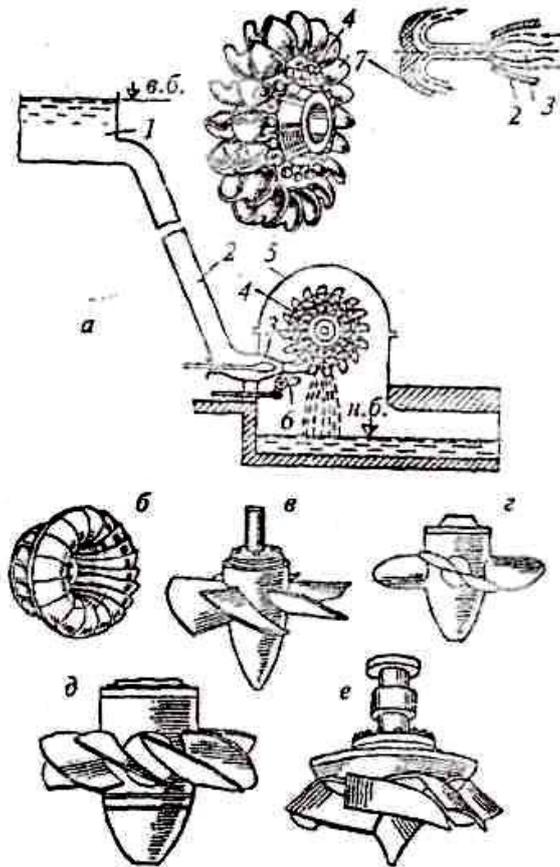


Рисунок 1.27 – Общий вид рабочих колес гидротурбин:

*a* – принцип работы и общий вид ковшовой турбины; 1 – бассейн верхнего уровня (бьефа); 2 – турбинный трубопровод; 3 – сопло; 4 – рабочее колесо; 5 – кожух; 6 – регулировочная игла; 7 – лопасти (ковши); б – радиальноосевое; в – пропеллерное; г – поворотнo-лопастное; д – двухперовое; е – диагональное.

Вода, огибая поверхности лопастей, меняет направление движения. При этом возникают центробежные силы, действующие на поверхности лопастей, и энергия движения воды преобразуется в энергию вращения колеса турбины.

Если скорость движения воды, вытекающей из турбины, равна нулю, то вся кинетическая энергия воды, не считая потерь, превращается в механическую энергию турбины.

Внутри сопла расположена регулирующая игла 6 (рисунок 1.27, *a*) перемещением которой меняется выходное сечение сопла, а следовательно, и расход воды.

В *реактивной гидравлической турбине* на лопастях рабочего колеса преобразуется как кинетическая, так и потенциальная энергия воды в механи-

ческую энергию турбины. Вода, поступающая на рабочее колесо турбины, обладает избыточным давлением, которое по мере протекания воды по проточному тракту рабочего колеса уменьшается. При этом вода оказывает реактивное давление на лопасти турбины и слагающая потенциальной энергии воды превращается в механическую энергию рабочего колеса турбины.

За счет кривизны лопастей изменяется направление потока воды, при котором, как и в активной турбине, кинетическая энергия воды в результате действия центробежных сил превращается в механическую энергию турбины. Рабочее колесо реактивной турбины в отличие от активной полностью находится в воде, т.е. поток воды поступает одновременно на все лопасти рабочего колеса. Различные конструкции рабочих колес реактивных турбин показаны на рисунке 1.27, б-е.

У *радиально осевых турбин* лопасти рабочего колеса имеют сложную кривизну, поэтому вода, поступающая с направляющего аппарата, постепенно меняет направление с радиального на осевое. Такие турбины используют в широком диапазоне напоров от 30 до 600 м. В настоящее время созданы уникальные радиально осевые турбины мощностью 700 МВт.

*Пропеллерные турбины* обладают простой конструкцией и высоким КПД, однако у них с изменением нагрузки КПД резко уменьшается.

У *поворотно-лопастных гидротурбин* в отличие от пропеллерных лопасти рабочего колеса поворачиваются при изменении режима работы для поддержания высокого значения КПД.

*Двухперовые турбины* имеют спаренные рабочие лопасти, что позволяет повысить расход воды. Широкое применение их ограничено конструктивными сложностями. Сложная конструкция свойственна также *диагональным турбинам*, у которых рабочие лопасти поворачиваются относительно своих осей.

Радиально-осевые турбины установлены на Братской, Красноярской ГЭС и другие. Поворотно-лопастными турбинами оборудованы Куйбышевская, Волгоградская, Каховская и Кременчугская ГЭС и др.

На электрических станциях турбина и генератор связаны общим валом. Частоты их вращения не могут выбираться произвольно. Они зависят от числа

пар полюсов ротора генератора и частоты переменного тока, которая должна соответствовать стандартной. Кроме того, необходимо учитывать, что при небольших частотах вращения турбины получают громоздкими и дорогими. Чтобы получить скорости агрегатов, близкие к оптимальным, при больших напорах используют турбины с малыми значениями коэффициента быстроходности, а при небольших напорах — с большими значениями этого коэффициента.

Разнообразие природных условий, в которых сооружаются ГЭС, определяет разнообразие конструктивного исполнения турбин. Мощности турбин изменяются от нескольких киловатт до 640 МВт, а частота вращения - от  $16 \frac{2}{3}$  до  $1500 \text{ мин}^{-1}$ .

В последнее время стали применяться горизонтальные агрегаты (капсульные), в которых генератор заключен в герметичную капсулу, обтекаемую водой. КПД таких агрегатов выше (95-96%) благодаря лучшим гидравлическим условиям обтекания.

При сооружении ГЭС обычно решают комплекс народнохозяйственных задач, в который помимо выработки электрической энергии входят регулирование стока воды и улучшение судоходства реки, создание орошаемых массивов, развитие энергоемких производств, использующих местное сырье, и т.д.

В настоящее время на равнинных реках сооружают станции, напор которых достигает 100 м, например на Братской ГЭС, построенной на Ангаре, и на Асуанской ГЭС, построенной в Египте.

На рисунке 1.28 показана Саяно-Шушенская ГЭС на р. Енисее, у которой высота плотины составляет 240 м и вода по водоводам поступает к 10 турбинам, вращающим электрические генераторы мощностью по 640 МВт каждый.

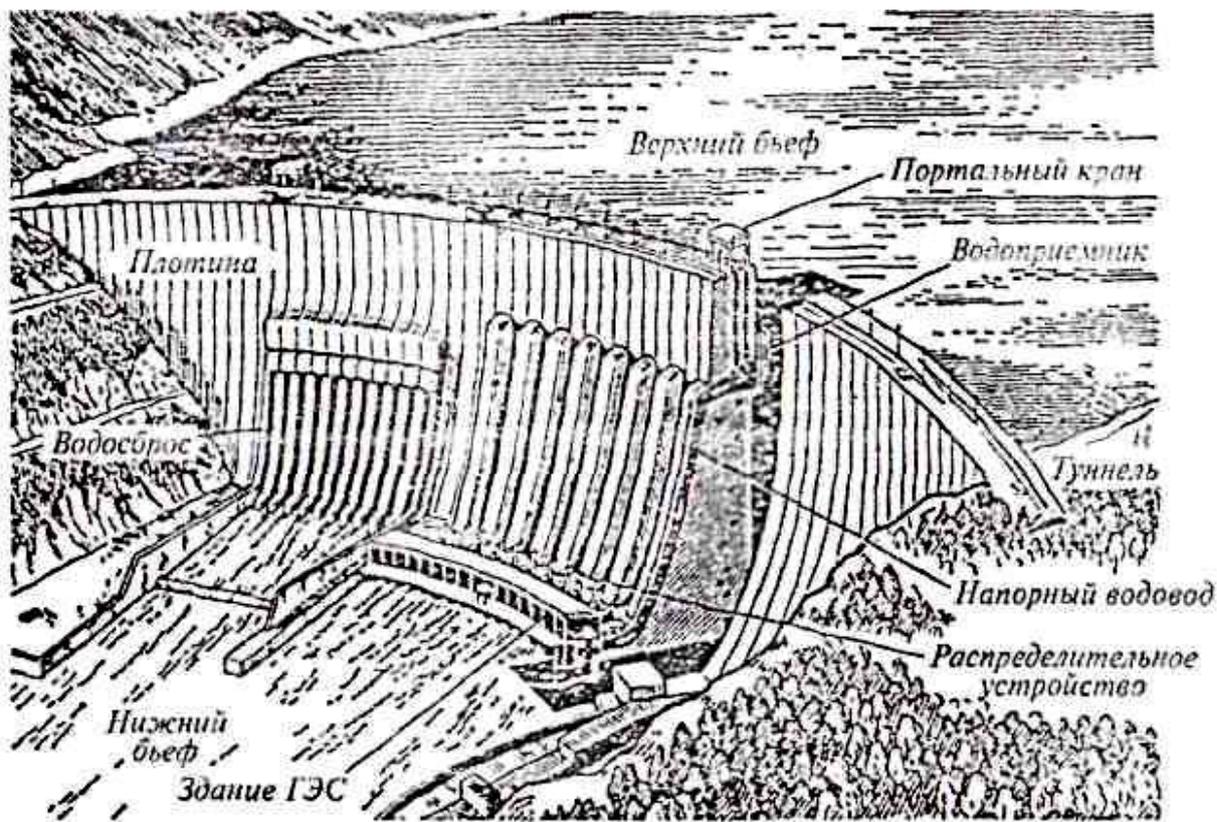


Рисунок 1.28 – Общий вид Саяно-Шушенской ГЭС (приплотинного типа с напором 240 м, мощностью 640 МВт)

#### 1.2.4. Энергия и мощность ГЭС

Энергия, используемая ГЭС, может быть определена из (5.3) путем замены  $H_{уч}$  на напор  $H$  по (5.6) или по (5.7). Однако на ГЭС выработку энергии и мощность принято измерять на выводах гидрогенератора, поэтому энергия и мощность ГЭС будут определяться с учетом коэффициентов полезного действия гидротурбины и электрогенератора.

Мощность на валу гидротурбины (кВт) определяется как

$$N_T = 9,81Q_T H \eta_T,$$

где  $Q_T$  — расход воды через гидротурбину, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – напор турбины с учетом потерь по (5.6) или (5.7);

$\eta_T$  — коэффициент полезного действия (КПД) турбины (у современных крупных гидротурбин  $\eta_T=0,93—0,96$ ).

Электрическая мощность гидрогенератора

$$N_{\text{ген}} = N_{\text{т}} \eta_{\text{ген}},$$

где  $\eta_{\text{ген}}$  — КПД гидрогенератора, обычно равный 0,97.

Регулирование мощности агрегата ГЭС производится изменением расхода воды, проходящей через гидротурбину. Мощность ГЭС в  $i$ -тый момент времени равна

$$N_{ri} = 9.81 Q_{ri} H_{ri} \eta_{ri},$$

где  $Q_{ri}$ ,  $H_{ri}$ ,  $\eta_{ri}$  — расход ГЭС, напор ГЭС и КПД ГЭС в  $i$ -й момент времени.

Выработка электроэнергии ГЭС (кВт · ч) за период времени  $T$ (ч) определяется как

$$\mathcal{E}_{\text{ГЭС}} = \int_0^E N_{ri} dt.$$

В качестве расчетного периода  $T$  рассматриваются час, сутки, неделя, месяц, год.

Годовая выработка электроэнергии ГЭС не является постоянной величиной, а изменяется в зависимости от объема стока, поступившего в водохранилище, степени его регулирования и условий эксплуатации ГЭС. При годичном регулировании годовая выработка электроэнергии ГЭС, как правило, существенно колеблется — в основном за счет энергоотдачи в паводковый период.

При многолетнем регулировании неравномерность выработки электроэнергии по годам бывает незначительной.

Очевидно, что электрическая мощность, подведенная к потребителю, меньше мощности, производимой гидроэлектростанцией,  $N_{\text{ГЭС}}$ . Сумма всех потерь при передаче электрической мощности от ГЭС до потребителя и при многократных преобразованиях ее в повышающих и понижающих трансформаторах можно оценить при помощи КПД системы передачи и преобразований  $\eta_{\text{пер}}$ . Обычно  $\eta_{\text{пер}}$  составляет 0.92—0,93.

Установленная мощность ГЭС  $N_{\text{уст}}$  определяется как сумма номинальных (паспортных) мощностей установленных на ней генераторов. Она соответствует максимальной мощности, которую может развить гидроэлектростанция.

### 1.2.5. Нетрадиционные источники энергии

При существующем уровне технологического развития и сложившийся на настоящий момент на мировых энергетических районах конъюнктуре лишь весьма незначительная их часть может быть эффективно использована. В таблице 1.2 приведены просчитанные сценарии роста использования НВИЭ.

Таблица 1.2 – Сценарий роста использования НИЭ

Источники энергии	2020 г. (минимальный сценарий)		2020 г. (максимальный сценарий)	
	млн. т.н.э.	доля в ст-ре НИЭ,%	млн. т.н.э.	доля в ст-ре НИЭ,%
Биомасса в современных технологиях	243	45	561	42
Солнечная энергия	109	20	355	26
Ветряная энергия	85	16	215	16
Геотермальная энергия	40	7	31	7
Энергия малых лет	48	9	69	5
Океаническая энергия	14	3	54	4
<b>Итого</b>	<b>539</b>	<b>100</b>	<b>1345</b>	<b>100</b>

т. н. э. — тонна нефтяного эквивалента

Так, если суммарный теоретический потенциал приливной энергии составляет около 22000 ТВт • ч в год, то лишь 200 ТВт • ч в год могут в настоящее время рассматриваться как пригодные к освоению с технологической точки зрения. Тем не менее, и эта величина представляется весьма значительной: она превышает суммарное годовое производство электроэнергии в Бельгии, Дании, Финляндии, Португалии вместе взятые. Природные условия во многих странах мира позволяют им использовать НИЭ для энергоснабжения в несоизмеримо больших масштабах по сравнению с союзниками. Мировой Энергетический совет имеет сценарий развития, по которому использование НИЭ достигнет к 2020 году 30 % в мировом энергетическом балансе; а совет по НИЗ в Великобритании представил правительству доклад о возможности 20% вклада НИЭ в Энергетическом балансе страны к 2025 году.

Сегодня почти 30% мирового потребления энергоресурсов базируется на угле, нефти, природном газе и уране, остальные 10% — на ГЭС и биомассе (дрова). Остальные ВИЭ: ветер, геотермия, солнечная энергия и тепло окружающего воздуха вместе составляют примерно 1 %.

За историю развития человеческого общества потребление энергии на одного человека возросло более чем в 100 раз. За каждые 10 — 15 лет мировой уровень потребления энергии удваивается. В то же время запасы традиционных источников энергии — газа, нефти, угля истощаются, поэтому становится важным получать энергию через экологически чистые технологии.

### 1.2.5.1 Энергия Солнца

Неиссякаемым источником энергии на Земле является Солнце. Каждый год на поверхность Земли с солнечной энергией поступает  $3 \cdot 10^{24}$  Дж энергии. В то же время разведанные запасы нефти, угля, газа и урана по оценкам эквивалентны  $2,5 \cdot 10^{22}$  Дж, то есть менее чем за одну неделю Земля получает от Солнца такое же количество энергии, какое содержится во всех этих запасах. Ежегодно в процессах фотосинтеза образуется свыше 170 млрд. т сухого вещества, а количество энергии, связанное в нем, более чем в 20 раз превышает сегодняшнее годовое потребление энергии. Однако возникает вопрос: способна ли энергетика, основанная на использовании солнечного излучения, удовлетворить все возрастающие энергетические потребности общества. В глобальном масштабе солнечная энергетика способна обеспечить современный и будущий уровень энергозатрат человечества. Так, величина энергии солнечного излучения, падающего на неосвоенные территории, например, пустыни (около  $2 \cdot 10^7$  км<sup>2</sup>) составляет около  $5 \cdot 10^{18}$  кВт·ч. при освоении этой энергии хотя бы с 5 % -ным КПД уровень мирового производства энергии можно увеличить более чем в 200 раз. таким образом, при возможном народонаселении 10 млрд. человек получение энергии только с поверхности зоны пустынь будет в 10 — 12 раз превышать энергетические потребности человечества. При этом предвидится рост энергопотребления в расчете на душу населения в 5 раз по сравнению с настоящим временем.

К районам, благоприятным для освоения солнечной энергии, относится юг России, Забайкалье, отдельные районы Дальнего Востока. Здесь солнечный сезон длится 2200 — 3000 ч/год. За это время поток солнечной энергии составляет от 1200 до 1700 кВт-ч/м<sup>2</sup>.

Пока солнечную энергию применяют в основном для обогрева зданий. Гелиоприемник — это набор солнечных коллекторов. Каждый коллектор представляет собой хорошо теплоизолированный ящик, в котором находится нагреваемая солнечными лучами панель. Двойная стеклянная рама, закрывающая ящик сверху, пропускает солнечные лучи, но задерживает инфракрасное излучение от нагретой панели. Гелиоприемник смонтирован неподвижно на южном скате крыши дома под углом 60°, что обеспечивает в зимнее время наиболее эффективное использование солнечной радиации для отопления.

Солнечные элементы для непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую пока практически широко применяются только в космической технике для электропитания приборов спутников.

### **1.2.5.2 Приливная энергия**

Могучая волна океанского прилива каждые 12 ч. 25 мин. поднимает уровень моря на Беломорском и Охотском побережьях на 9 — 13 м. Прилив обладает огромной энергией. Использоваться могут обе фазы; прилив и отлив. Для современной энергетики крайне важно, что среднемесячная величина приливной энергии остается неизменной в любой период года и не зависит от водности, в отличие от энергии рек, подверженной значительным сезонным и многолетним колебаниям.

Разработана тонкостенная конструкция здания приливной электростанции (ПЭС), которая возводится в приморском промышленном центре и транспортируется на плаву к месту установки, например, к створу губы. При этом отпадает необходимость в возведении дорогостоящих перемычек, ограждающих котлован ПЭС от моря.

### **1.2.5.3 Энергия волн**

Простейшим и наиболее распространенным являются поплавковые установки, в которых колебательное движение поплавков преобразуется в электрическую энергию. Другой тип установки — «осуществляющий (колеблющийся) водяной столб» — основан на принципе сжатия и расширения воздушного столба, расположенного над поверхностью воды и заключенного в камеру. Нижняя открытая часть камеры расположена ниже минимального уровня воды. Воздух приводит в движение турбину, связанную с генератором.

### **1.2.5.4 Энергия ветра**

Сильные и постоянные ветры дуют на крайнем Севере, на побережье Охотского моря, на Камчатке и Курилах, в Приморском крае, на юге Западной Сибири, в Прикаспийской низменности и позволяет устанавливать ветряки, позволяющие вырабатывать электроэнергию.

### **1.2.5.5 Энергия биомассы**

Принципиально возможно также освоение энергии солнечного света, падающего на поверхности морей и океанов через преобразование ее в биомассу фитопланктона с последующей конверсией биомассы в метан и метанол. Плантации микроводорослей, по оценкам специалистов, представляют собой наиболее продуктивные системы 50 — 100 т/га в год.

Растительный покров Земли составляет свыше 1800 млрд. т сухого вещества, образованного в процессе фотосинтеза лесными, травяными, сельскохозяйственными экосистемами. Существенная часть энергетического потенциала биомассы потребляется человеком. Для сухого вещества простейшим способом превращения биомассы в энергию является сгорание, в процессе которого выделяется тепло, преобразуемое далее в механическую или электрическую энергию. Сырая биомасса может быть преобразована в энергию в процессе биометаниогенеза и получения спирта.

**Биомасса** — термин объединяющих все органические вещества растительного и животного происхождения. Биомасса делится на *первичную* (растения, животные, микроорганизмы) и *вторичную* — отходы при переработке первичной биомассы и продукты жизнедеятельности человека и животных.

Энергия, запасенная в первичной и вторичной биомассы, может конвертироваться в технически удобные виды топлива или энергию несколькими путями:

- ◆ получение растительных углеводов (растительные масла, предельные и непредельные углеводороды);
- ◆ термохимическая конверсия (твердой, до 60% биомассы в топливо: прямое сжигание, пиролиз, газификация, сжижение, флестпиролиз);
- ◆ биотехнологическая конверсия биомассы (при влажности от 75% и более в топливо: низкоатомные спирты, жирные кислоты и биогаз).

Доля биомассы среди первичных источников энергии в мире составляло в 1995 г. 14,7% их общего энергетического потребления, равного 373 ЭДж, в том числе в промышленных странах — 2,8% (из 247 ЭДж используемой энергии), в развивающихся странах — 11,9% (из 126 ЭДж). Ресурсы биомассы (Эдж) в середине XXI века оцениваются следующим образом: всего 298,1 (в том числе от энергетических плантаций 266,9); в США (Канаде 40,7 (34,8)); Европе 15,2 (11,4); Японии 1,2 (0,9); Австралии и Новой Зеландии 18,5 (17,9); Латинской Америке 55,9 (51,4); Африке 55,5 (52,9); Китае 19,7 (16,3), в остальных странах Азии 40,2 (33,4); Океании 1,4 (1,11).

**Достоинства растительной биомассы** как источника энергии:

- ◆ возобновляемость данного вида топлива;
- ◆ экологическая чистота в сравнении с другими видами топлива;
- ◆ отсутствие воздействия на баланс свободного углерода в атмосфере, ведущего к развитию «парникового эффекта».

**Недостатки:**

- ◆ неравномерность распределения биомассы;

- ◆ недоступность определенной доли растительных ресурсов для рентабельного использования;
- ◆ наличие альтернативных направлений применения;
- ◆ технические трудности при использовании на транспорте.

Расчетами установлено, что если незанятые сельскохозяйственные почвы использовать для производства биомассы, то можно получить 15 — 20 млн. т.н.э./год. Использование биомассы и отходов в 2010 году достигло 70 млн. т.н.э./год, при этом на 1 млн. т.н.э./год потребовалась установленная мощность солнечных батарей, ветроустановок и малых ТЭС в странах ЕС 5,3 ГВт, а к 2012 году она может достичь 55 ГВт. Активные солнечные установки дадут ЕС 200000 т.н.э./год.

Технологии получения энергии из биомассы находятся на пороге нового прорыва, как считают в Великобритании специалисты Королевского института международных отношений. Правительства и международные организации призывают к большой поддержке развития этих технологий. Подобные проекты осуществляются в США, Скандинавии, Бразилии и некоторых странах ЕС. В министерстве энергетики США считают, что биомасса станет наиболее важной из возобновляемых источников в ближайшие 25 лет. Наибольший энергетический потенциал имеют энергетические технические культуры; предназначение для сжигания на электростанциях с передовыми технологиями. Эти культуры должны районироваться. Так, в Северной Европе оптимальными являются тополь, ива, хвойные и *miscanthus* — гигантская трава. В дальнейшем растительное топливо будет играть особо важную роль в тропических и субтропических регионах.

При рассмотрении технических и экономических аспектов энергетического использования растительной биомассы следует учитывать, что для энергетики представляет интерес три возможных направления:

- ◆ прямое сжигание биомассы в специализированных топках;
- ◆ термодинамическая газификация растительной биомассы с последующим использованием генераторного газа в тепловых двигателях;
- ◆ каталитический реформинг с получением жидкого топлива.

### ***Биогазовые технологии.***

**Биогазовые технологии** — наиболее радикальный, экологически чистый, безотходный способ переработки, утилизации и обезвреживания разнообразных органических отходов растительного и животного происхождения. Эти технологии одновременно решают несколько проблем:

- ◆ экологическую (ликвидация отходов);
- ◆ агрохимическую (получение экологически чистых удобрений и повышение плодородия почв с постепенным восстановлением и экологической чистоты);
- ◆ социальную (улучшение условий труда и быта, получение экологически чистой продукции).

*Биометаногенез*, или *метановое брожение* — давно известный процесс превращения биомассы в энергию. Он был открыт в 1776 г. Вольтой, который установил получение метана в болотном газе. Биогаз, полученный из органического сырья в ходе метанового брожения в результате разложения органических субстратов различной природы при участии смешанной микробной популяции, представляет собой смесь из 65 — 75% метана и 20 — 30% углекислоты, а также незначительных количеств сероводорода, азота, метана и водорода. Теплотворная способность биогаза зависит от соотношения метана и углекислоты и составляет 5 — 7 ккал/м<sup>3</sup>; 1 м<sup>3</sup> биогаза эквивалентен 4 кВт·ч электроэнергии, 0,6 л керосина, 1,5 кг угля и 3,5 кг дров.

Технически реализация биогазовых технологий достаточно проста, и они могут применяться в широком диапазоне: от индивидуального крестьянского подворья до крупных животноводческих комплексов, городов-миллионеров при любых климатических условиях. Переработка 1 тонны свежего коровьего или свиного навоза (при влажности 85%) может дать 45 — 60 м<sup>3</sup> биогаза, 1 т куриного помета — 1 м<sup>3</sup> биогаза. Биогаз несложно компенсировать и использовать в дизельных двигателях вместо бензина или мазута.

Переработка органических отходов производится в закрытом помещении. Технология переработки состоит из этапов:

- ◆ сортировка отходов, отделение неорганических примесей;
- ◆ размельчение до фракции не более 50 мм;
- ◆ подготовка суспензии из мелких фракций и воды с температурой 42° С;
- ◆ анаэробная переработка в течение 2 недель;
- ◆ сбор газа и удаление остатков на поля.

Сегодня разработаны установки для биометаногенеза нескольких категорий: реакторы для небольших ферм развитых стран 150 — 500 м<sup>3</sup>; реакторы для переработки промышленных стоков (спиртовой, сахарной промышленности) 150 — 10000 м<sup>3</sup> и реакторы для переработки твердого мусора городских свалок (1 — 20·10<sup>6</sup> м<sup>3</sup>).

Наиболее интенсивно биогазовые технологии внедрены в Китае. В 80-х годах там производилось около 110 млрд. м<sup>3</sup> биогаза, что эквивалентно 60 — 80 млн. т сырой нефти. Затем биогазовые установки стали внедряться на Филиппинах, Израиле, в 90-е годы XX века они пришли в страны центральной Европы. Уже сейчас на территории Франции работает более 20 установок, перерабатывающих городской мусор. В Нью-Йорке биогазовая установка при переработке содержимого городской свалки производит около 100 млн. м<sup>3</sup> биогаза в год.

### ***Биоконверсия с получением спирта.***

Этиловый спирт является прекрасным экологически чистым горючим для двигателей внутреннего сгорания. Поэтому в странах с большими запасами растительной биомассы сегодня уже налажено производство моторных топлив из нее.

В качестве топлива спирт стали применять в США и Германии в 30 — 40-е гг., а в настоящее время интерес к такому топливу существенно возрос в таких странах, как Бразилия.

Спирт для технических целей производят путем спиртового брожения биомассы. Это чаще всего отходы сахарного тростника — бегасса, маниоки, батата, сладкого сорго, топинамбура. Для стран умеренного климата

сырьем для получения спирта и применения эталона в качестве топлива очевидны. Это касается экономических — они определяются рядом условий: климатом и продуктивностью зеленой биомассы, себестоимостью продукции и наличием других энергоносителей.

### ***Углеводороды из биомассы.***

Первые попытки найти среди фотосинтезирующих организмов потенциальных продуцентов энергоносителей в виде жидких углеводородов относятся к 1978 г., когда исследователи обнаружили в соке некоторых растений, главным образом, у представителей семейства молочайных, жидкие углеводороды. Несколько позже удалось найти способность к синтезу жидких углеводородов у водорослей и бактерий. Было установлено, что у зеленой водоросли *Botrococcus brauni* содержание углеводородов может составлять от 15 до 75%. Эта гигантская одноклеточная водоросль обитает в водоемах с пресной и солоноватой водой в умеренных и тропических широтах.

Углеводороды накапливаются в биомассе ботрикокцены и могут быть выделены простым центрифугированием, в ходе которого они вытекают из клеток. Фракция углеводородов, синтезируемая водорослью, аналогична керосину или дизельному топливу.

Такие водоросли найдены в других частях света — в озере Мозамбик в Африке, Казахстане в районе озера Балхаш. Сегодня в США уже действует ферма по выращиванию таких водорослей на площади 52 тыс. га. Продуктивность процесса получения углеводородов составляет до 4800 м<sup>3</sup> в сутки. Для улучшения топливных характеристик водорослевые углеводороды гидрируют.

Возможности использования возобновимых источников энергии в России представлены в таблице 1.3.

Особенно перспективно использование нетрадиционных источников энергии в конкретных районах Сибири, где отсутствуют сосредоточенные потребители, а потребление энергии характеризуется малой плотностью.

Таблица 1.3 – Производство энергоресурсов за счет использования НИЭ в России (млн. т.у.т. в год)

Показатели	2000 г	2010 г
НВИЭ. в том числе	3.7 - 6.5	12.7 - 18.0
ТХУ (тепловые насосы),	0.02 - 0.15	0,1 - 0,2
Малые и мини ТЭС;	0.03 - 0.15	.03 - 0,15
Биомасса,	1.9 - 3,4	7,3 - 10,0
Энергия ветра,	0.1- 0.25	0.5 - 0,8
Энергия солнца,	0.4 - 1.05	2.13 - 3.2
Геотермальная энергия	1.25 - 1,5	2,6 - 3.6

Производство энергоресурсов за счет использования НИЭ в Наиболее реальными возобновляемыми ресурсами Иркутской области могут быть: малая бесплотинная энергетика, ветровая энергетика, солнечная энергия для теплоснабжения, биомасса в виде отходов лесосеки, горючая составляющая твердых бытовых отходов.

## Раздел II. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

### Глава 1. Основные направления энергосбережения

#### 1.1. Нормативные документы в области энергосбережения

Основное место в административном управлении энергосбережением занимает нормативно-правовое регулирование, включающее разработку и принятие законодательных, нормативных и иных актов, стимулирующих потенциальных участников процесса энергосбережения к осуществлению энергоэффективных мероприятий, формирующих законодательную базу энергосбережения.

Во многих странах — Франции, Германии, Японии и других — после энергетического кризиса 1973 года были приняты законы, касающиеся эффективного использования энергии. В 90-х годах после изменения структуры экономики в странах СНГ составляющая стоимости энергии в конечном продукте, работе или услугах стала играть доминирующую роль и проблема эффективного использования энергии стала одной из первоочередных. В связи с этим в 1994 году на Украине был принят Закон «Об энергосбережении». Затем аналогичные законы были приняты в 1996 году в России и в 1998 году в Беларуси. Общие принципы законов об энергосбережении стран СНГ во многом совпадают, но имеют отличие в деталях, характеризующих особенности развития каждого государства.

**Что такое закон? Закон** — постановление государственной власти, нормативный акт, принятый государственной властью; установленные государством обязательные правила; обладает высшей юридической силой по отношению к другим нормативным актам.

Закон «Об энергосбережении» был принят и вступил в силу в июне 1996 г. Им регулируются отношения, возникающие в процессе деятельности юридических и физических лиц в сфере энергосбережения, в целях повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, и

определяются правовые основы этих отношений. Закон устанавливает энергосбережение в качестве приоритета государственной политики в решении энергетической проблемы.

Структура Закона «Об энергосбережении» представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Структура закона «Об энергосбережении»

Статьи		Главы	
№	Наименование	№	Наименование
1.	Общие положения	1 2 3 4	Основные понятия. Законодательство. Субъекты отношения в сфере энергосбережения. Международное сотрудничество в сфере энергосбережения.
2.	Основы государственного управления энергосбережением	5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17	Основные принципы государственного управления. Государственное управление в сфере энергосбережения. Учет топливно – энергетических ресурсов. Программы энергосбережения. Научно - техническое обеспечение в сфере энергосбережения. Нормы расхода топлива и энергии. Стандартизация , сертификация и метрология в сфере энергосбережения. Государственный надзор за рациональным использованием топливо – энергетических ресурсов. Государственная экспертиза энергетической эффективности проектных ресурсов. Проведение энергетического обследования предприятий, учреждений , организаций. Государственное статистическое наблюдение за эффективным использованием топливо – энергетических ресурсов. Образование и подготовка кадров для сферы энергосбережения. Информационное обеспечение деятельности по энергосбережению.
3.	Экономические и финансовые механизмы энергосбережения	18 19 20	Источники финансирования. Республиканский фонд «Энергосбережение». Информационное обеспечение деятельности по энергосбережению.
4.	Ответственность за нарушение законодательства об энергосбережении	21	Ответственность за нарушение законодательства об энергосбережении.

Закон состоит из пяти глав.

1. Общие положения.
2. Основы государственного управления энергосбережения.
3. Экономические и финансовые механизмы энергосбережения.
4. Ответственность за нарушение законодательства об энергосбережении.
5. Заключительные положения.

Прокомментируем некоторые положения этого документа. В главе 1 дается толкование основных терминов из области энергосбережения и энергетики (статья 1).

**Энергосбережение** — организационная, научная, практическая, информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц. Эта деятельность направлена на снижение расхода (потерь) топливно-энергетических ресурсов в процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации.

**Топливо-энергетические ресурсы** — совокупность всех природных и преобразованных видов топлива и энергии, используемых в республике.

**Вторичные энергетические ресурсы** - энергия, получаемая в ходе любого технологического процесса в результате недоиспользования первичной энергии или в виде побочного продукта основного производства и не применяемая в этом технологическом процессе.

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов — использование всех видов энергии экономически оправданными, прогрессивными способами при существующем уровне развития техники и технологий, и соблюдении законодательства.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов достижение максимальной эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении законодательства.

**Показатель энергоэффективности** — научно обоснованная абсолютная или удельная величина потребления топливно-энергетических ресурсов (с уче-

том их нормативных потерь) на производство единицы продукции (работ, услуг) любого назначения, установленная нормативными документами.

***Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии*** — источники электрической и тепловой энергии, использующие энергетические ресурсы рек, водохранилищ и промышленных водостоков, энергию ветра, солнца, редуцируемого природного газа, биомассы (включая древесные отходы), сточных вод и твердых бытовых отходов.

***Пользователи топливно-энергетических ресурсов*** — субъекты хозяйствования независимо от форм собственности, зарегистрированные на территории в качестве юридических лиц или предпринимателей без образования юридического лица, а также другие лица, которые в соответствии с законодательством имеют право заключать хозяйственные договоры, и граждане, использующие топливно-энергетические ресурсы.

***Производители топливно-энергетических ресурсов*** — субъекты хозяйствования независимо от форм собственности, зарегистрированные на территории страны, в качестве юридических лиц, для которых любой из видов топливно-энергетических ресурсов, используемых в республике, является товарной продукцией.

В соответствии со 2-й статьей, законодательство об энергосбережении включает не только рассматриваемый закон, но и другие законодательные акты: постановления правительства, нормативы, ведомственные документы.

Если эти акты противоречат Закону «Об энергосбережении», они не должны иметь юридической силы.

В статье 3 Закон определяет субъектов отношений в сфере энергосбережения, к которым относятся физические и юридические лица, прямо или косвенно связанные с производством, преобразованием, передачей и потреблением энергии. Прямое отношение к энергетике имеют те, кто непосредственно участвует в энергетической цепочке получения — потребление энергии. Косвенно к субъектам отношений принадлежат разработчики и производители оборудования, систем управления и средств контроля для повышения эффективности использования энергии.

В главе 1 (ст. 4) также устанавливаются принципы международного сотрудничества, которые включают:

- обмен энергоэффективными технологиями;
- участие в международных проектах в области энергосбережения;
- приведение показателей энергоэффективности в соответствие с международными стандартами.

В главе 2 Закона устанавливаются основы государственного управления энергосбережением. Основным принципом государственной политики и управления (ст. 5) является создание правовых и экономических условий, обеспечивающих приоритетность и способствующих заинтересованности в энергосбережении всех субъектов в сфере производства, транспортировки, преобразования и потребления энергии.

Принципы государственного управления в сфере энергосбережения осуществляются через уполномоченный орган — Комитет по энергоэффективности, который регулирует деятельность в сфере энергосбережения и создает условия для эффективного использования топливно-энергетических ресурсов (ст. 6). Управление энергосбережением проводится и с помощью территориальных структур Государственного надзора за рациональным использованием ТЭР.

Государственное регулирование энергосбережения осуществляется через обязательный учет и нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов (ст. 7, 10). Прогрессивные нормы расхода топлива и энергии в обязательном порядке включают в технологические регламенты, паспорта, ремонтные карты, технологические инструкции. Они разрабатываются, утверждаются и пересматриваются Правительством РФ.

В соответствии с законом (ст. 11), энергопотребляющая продукция, работа и услуги должны удовлетворять стандартным требованиям, установленным нормативными документами, что обеспечивает их конкурентоспособность на мировом рынке и способствует рациональному использованию ТЭР. Этой цели служит и сертификация продукции, работ и услуг. Достоверность данных обеспечивается единством измерений при осуществлении мероприятий по энергосбережению.

Законом (ст. 11) устанавливается обязательная государственная экспертиза с целью проверки соответствия проектов, хозяйственной, управленческой и инвестиционной деятельности целям и требованиям энергосбережения, а также с целью определения достаточности и обоснованности предусмотренных мер по энергосбережению.

С целью оценки эффективности использования ТЭР и обеспечения их экономии законом предусмотрено проведение энергетического обследования предприятий, учреждений, организаций (ст. 14). Обязательному энергетическому обследованию подлежат организации, годовое потребление ТЭР которыми составляет более 1,5 тыс. т у. т. Дополнительные нормативные акты правительства устанавливают, что энергетическое обследование должно проводиться не менее чем раз в 5 лет. Финансирование работ по энергетическому обследованию производится за счет обследуемых предприятий, а также за счет средств республиканского фонда «Энергосбережение».

Реализация энергосбережения во всех сферах деятельности осуществляется через образование и подготовку кадров. А также информационное обеспечение путем (ст. 16, 17):

- ▶ чтения специальных курсов по энергосбережению;
- ▶ пропаганды эффективного использования ТЭР, в том числе и через средства массовой информации;
- ▶ создания энергоэффективных демонстрационных проектов и зон,
- ▶ организации выставок и консультационных пунктов для предоставления информации по вопросам энергосбережения,
- ▶ обсуждения программ энергосбережения.

Одним из основных механизмов управления энергосбережением является поощрение организаций, способствующих эффективному использованию ТЭР, и наказание тех, кто нарушает правила использования энергии, регламентируемые настоящим законом. Для этого предусмотрены наиболее действенные экономический и финансовый механизмы энергосбережения. В целом финансирование мероприятий по энергосбережению осуществляется за счет средств рес-

публиканского и местных бюджетов, республиканского фонда «Энергосбережение», средств юридических и физических лиц, направляемых добровольно на эти цели (ст. 18).

Пользователи и производители ТЭР, осуществляющие мероприятия по энергосбережению, могут получить льготы в виде дотаций, субсидий за счет республиканского фонда «Энергосбережение» или других целевых фондов. Фонды формируются за счет экономических санкций, применяемых к нарушителям законодательства в области энергосбережения. Такими нарушениями могут быть:

- ▶ перерасход топлива, тепловой и электрической энергии сверх установленных норм;
- ▶ несвоевременная установка приборов учета ТЭР;
- ▶ использование ТЭР без утвержденных норм их расхода;
- ▶ нарушение правил использования электрической и тепловой энергии.

Юридические и физические лица, виновные в нарушении законодательства об энергосбережении, несут ответственность в соответствии с законодательством (ст. 21). Для исполнения Закона «Об энергосбережении», и реализации государственной политики энергосбережения были внесены изменения и дополнения в Кодекс «Об административных правонарушениях». В нем предусматривается административная ответственность за нерациональное использование топливно-энергетических ресурсов. А также принят целый ряд нормативно технических документов, которые регулируют деятельность юридических и физических лиц по эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов и другим вопросам, связанным с реализацией государственной энергосберегающей политики.

## **1.2 Структура и принципы управления энергосбережением**

Формирование основ политики энергосбережения в стране целенаправленно ведется с 1996 года.

Основными принципами государственного управления в сфере энергосбережения являются:

▶ осуществление государственного надзора за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов;

▶ разработка государственных и межгосударственных научно-технических, республиканских, отраслевых и региональных программ энергосбережения и их финансирование;

▶ приведение нормативных документов в соответствие с требованиями снижения энергоемкости материального производства, сферы услуг и быта;

▶ создание системы финансово-экономических механизмов, обеспечивающих экономическую заинтересованность производителей и пользователей в эффективном использовании топливно-энергетических ресурсов, вовлечении в топливно-энергетический баланс нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также в инвестировании средств в энергосберегающие мероприятия;

▶ повышение уровня обеспечения республики местными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР);

▶ осуществление государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений;

▶ создание и широкое распространение экологически чистых и безопасных энергетических технологий, обеспечение безопасного для населения состояния окружающей среды в процессе использования топливно-энергетических ресурсов;

▶ реализация демонстрационных проектов высокой энергетической эффективности;

▶ информационное обеспечение деятельности по энергосбережению и пропаганда передового отечественного и зарубежного опыта в этой области;

▶ обучение производственного персонала и населения методам экономии топлива и энергии;

▶ создание других экономических, информационных, организационных условий для реализации принципов энергосбережения.

Государственное управление в сфере энергосбережения, основанное на указанных основных принципах государственного управления, осуществляют

Правительство РФ и уполномоченный им республиканский орган государственного управления.

Основными задачами Комитета по энергоэффективности является проведение государственной политики в сфере энергосбережения и регулирование деятельности, направленной на эффективное использование и экономию топливно-энергетических ресурсов в народном хозяйстве республики. А также осуществление государственного надзора за рациональным использованием топлива, электрической и тепловой энергии объединениями, предприятиями, учреждениями и организациями, независимо от их форм собственности и подчинения. Осуществляя эти задачи, Комитет по энергоэффективности и его территориальные подразделения на местах организуют разработку и реализацию мер по энергосбережению, способствуют созданию экономических условий для повышения заинтересованности юридических и физических лиц в экономии топливно-энергетических ресурсов. Основной целью деятельности экспертного совета при Комитете по энергоэффективности является разработка единой технической политики по приоритетным направлениям энергосбережения, стратегии развития этих направлений.

Экспертный совет принимает участие в проведении экспертиз научно-технологических и технико-экономических разработок, проектов строительства новых, расширения и реконструкции действующих объектов, разработке и рассмотрении проектов стандартов, норм и правил, технических условий, технологий, оборудования, приборов учета, регулирования, относящихся к сфере использования топливно-энергетических ресурсов.

В соответствии с Положением, утвержденным Правительством экспертный совет имеет право:

- ▶ получать от министерств, других центральных органов управления, научно-исследовательских институтов и других ведомств информационные материалы, необходимые для выполнения возложенных на совет задач;

- ▶ вносить предложения (рекомендации) в Комэнергоэффективность, министерства и другие центральные органы управления о включении отдельных

научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, связанных разработкой и освоением производства энергосберегающего оборудования, приборов и другой энергоэффективной техники в планы, утверждаемые министерствами и ведомствами;

▶ вносить рекомендации о развертывании освоения производства энергосберегающих технологий, оборудования и приборов, нетрадиционных источников энергии, вторичных энергетических ресурсов на объектах республики или же их ликвидации в случае малоэффективности, повышенного выхода из строя и неперспективности:

▶ направлять свои предложения непосредственно министерствам, другим центральным органам управления, а также руководителям организаций и учреждений негосударственных форм собственности для использования в работе.

Государственные предприятия проводят энергетическое обследование предприятий с целью выявления резервов по экономии топливно-энергетических ресурсов. Внедряют новое котельное оборудование. Занимаются проектированием объектов, поставкой, монтажом и наладкой оборудования с целью снижения потребления топливно-энергетических ресурсов. Разрабатывают удельные нормы потребления топливно-энергетических ресурсов. Обучают специалистов на курсах повышения квалификации. Проводит семинары, выставки, издает журналы.

### **1.3. Планирование энергосберегающих мероприятий**

Для проведения эффективной политики и координации деятельности государственных органов в сфере энергосбережения разрабатываются и утверждаются соответствующие отраслевые и региональные программы.

Порядок разработки и утверждения этих программ определен Положением о порядке разработки и выполнения отраслевых и региональных программ энергосбережения, утвержденным постановлением Правительства РФ.

Организационное и методическое обеспечение разработки программ, а также контроль за ходом их разработки осуществляет Комитет по энергоэффективно-

сти, являясь одновременно государственным заказчиком этих программ. Разработка республиканских программ осуществляется на каждые предстоящие 5 лет.

Этапы разработки программ энергосбережения представлена на рисунке 2.1.

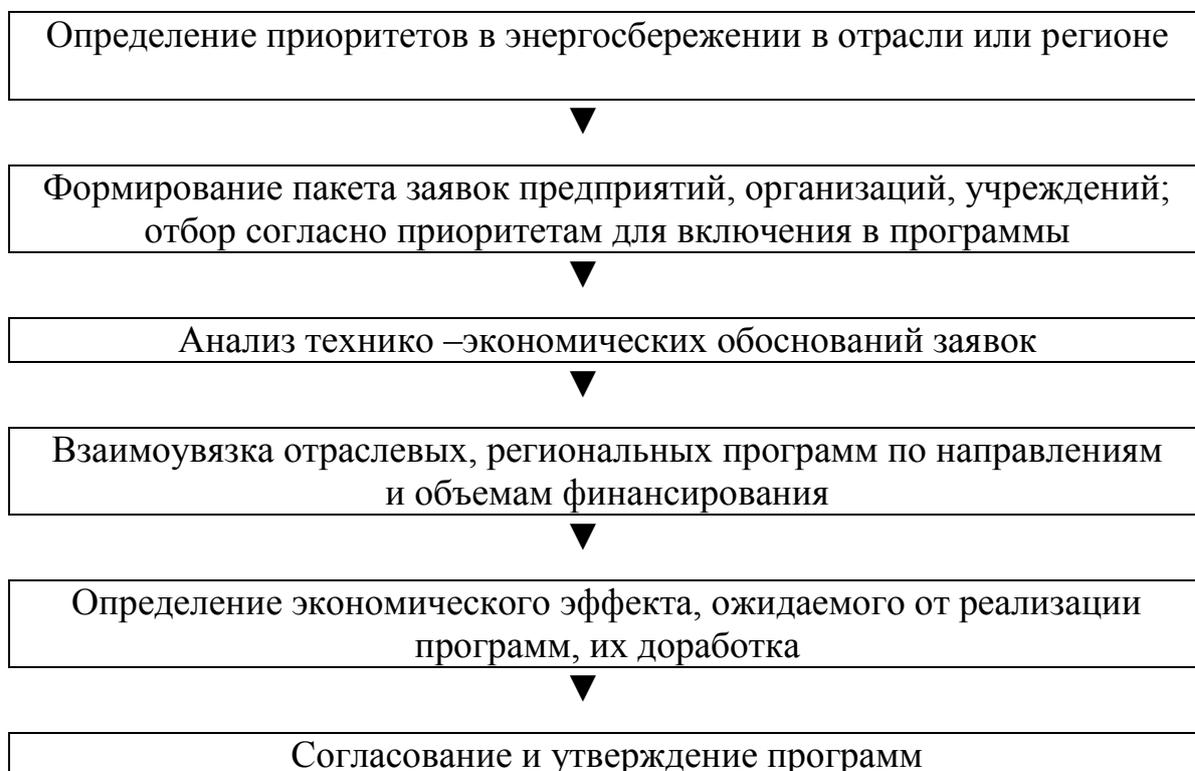


Рисунок 2.1 – Этапы разработки программ энергосбережения

Отраслевые программы разрабатываются как долгосрочные, так и краткосрочные, и предоставляются на согласование в Комитет по энергоэффективности.

Долгосрочные программы разрабатываются на каждые предстоящие 5 лет, а краткосрочные - на один год.

Организационное и методическое обеспечение разработки программ осуществляют областные и городские администрации, являющиеся одновременно заказчиками этих программ. В разработке программ принимают участие ведущие ученые и специалисты региональных областных и Минского городского управления по надзору за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов Комитета по энергоэффективности. Региональные программы разрабатываются на один год и согласовываются Комитетом по

энергоэффективности и Министерством экономики. О ходе выполнения программ энергосбережения Комитет по энергоэффективности в установленном порядке информирует Правительство РФ

Таким образом, в области энергосбережения осуществляется краткосрочное (сроком на 1 год) и долгосрочное (сроком на 5 лет) планирование.

#### **1.4 Программа «Энергосбережение»**

Имеются несколько путей решения проблемы энергосбережения страны.

Программа по энергосбережению одобрена Правительством РФ. В ней изложены основные принципы формирования государственной политики, направления деятельности отдельных отраслей, как на ближайший период, так и на перспективу, а также осуществлена оценка возможного потенциала энергосбережения.

Стратегической целью политики энергосбережения является снижение энергоемкости ВВП (к 2015 году на 15,1-18,7% относительно 2000 года).

Кроме того, целью программы является:

- ▶ выявление потенциала энергосбережения и определение наиболее эффективных путей его реализации;
- ▶ максимальное использование местных видов топлива, отходов производства, снижение импорта топливно- энергетических ресурсов;
- ▶ создание условий для снижения затрат энергии на производство продукции и повышение ее конкурентоспособности;
- ▶ координация усилий и средств всех участников работ по эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов.

Основными задачами программы является:

- ▶ структурная перестройка отраслей;
- ▶ повышение коэффициента полезного использования энергоносителей и увеличение доли менее дорогих видов топлива в общем топливном балансе;
- ▶ увеличение доли местного топлива, отходов производства, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Программа энергосбережения охватывает такие вопросы, как состояние и перспективы топливно-энергетического комплекса страны, организационно-экономический механизм энергосбережения, энергосбережение на производстве, транспорте, быту и использование энергии по отраслям. Кроме того, значительное внимание уделяется техническим направлениям энергосбережения, в том числе разработке и внедрению новых технологий и оборудования. Для реализации перспективных, энергосберегающих мероприятий в рамках Программы энергосбережения даны направления механизма финансирования проектов за счет привлечения средств предприятий, бюджетных и внебюджетных фондов. Успешная реализация программы зависит от информированности как специалистов, так и широких кругов населения. Поэтому одной из первоочередных мер в области энергосбережения является также поддержка информационного обеспечения и пропаганды передового отечественного и зарубежного опыта, обучения всего населения методам и средствам экономии топливно-энергетических ресурсов. Рассмотрим некоторые пункты программы более подробно.

В ближайшей перспективе по-прежнему в качестве основных видов местного топлива будут использоваться нефть, и попутный газ, торф, дрова и древесные отходы.

Для улучшения топливного баланса программой предусмотрено также более масштабное использование малых и мини-теплоэлектростанций, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Значительная экономия топлива может быть достигнута за счет использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). Потенциал высокотемпературных и среднетемпературных ВЭР (дымовые газы, отработанный пар и продуктовые потоки свыше 120 °С) составляет 15 млн. Гкал. Низкопотенциальных (системы оборотного водоснабжения, бытовые стоки, родящие газы, вентиляционные выбросы ниже 120 °С) составляет 25 млн. Гкал.

Весомый вклад в энергосбережение в перспективе может быть достигнут за счет использования гелиоустановок для горячего водоснабжения и отопления, ветроэнергии для производства электричества, при анаэробной переработ-

ке отходов животноводства в биогаз и получении биогаза из твердых бытовых отходов, а также за счет вовлечения древесной массы и древесных отходов для замещения ископаемых топлив.

Программой определены основные направления энергосбережения:

1. Совершенствование нормативно-правовой базы энергосбережения.
2. Постоянное выполнение отраслями экономики целевых показателей по энергосбережению, устанавливаемых Правительством, путем реализации соответствующих программ по энергосбережению и отдельных инвестиционных проектов.
3. Массовое внедрение результатов научно-технических программ по энергосбережению.
4. Разработка и введение в действие стандартов эффективности использования топлива и энергии.
5. Совершенствование механизма государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений.
6. Развитие системы энергетических обследований предприятий, учреждений, организаций.
7. Создание в стране сети демонстрационных объектов высокой энергетической эффективности и, на их базе, специальных энергоэффективных зон.
8. Развитие республиканской информационно-аналитической системы по энергосбережению на базе современных компьютерных технологий.
9. Совершенствование экономического стимулирования энергосбережения.
10. Расширение научно-технического сотрудничества со странами мирового сообщества.

Контроль за выполнением Программы осуществляет Комитет по энергоэффективности на основе информации, представляемой ежеквартально министерствами, ведомствами, региональными властями

Комитет по энергоэффективности ежеквартально информирует Правительство о ходе выполнения Программы.

## 1.5 Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии

*Под нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии* понимаются источники электрической и тепловой энергии, использующие энергетические ресурсы рек, водохранилищ и промышленных водостоков; энергию ветра, солнца, редуцированного природного газа, биомассы (включая древесные отходы), сточных вод и твердых бытовых отходов.

Основной особенностью возобновляемых источников энергии является то, что воспроизводство их энергетического потенциала происходит быстрее, чем расходование. Во всем мире усиленно работают над практическим применением нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Их природа определяется процессами на Солнце, в глубинах Земли, гравитационным взаимодействием Солнца, Земли и Луны. На рисунке 2.1 представлены виды энергии, получаемые от возобновляемых источников, способы ее преобразования.



Рисунок 2.1 – Возобновляемые источники энергии и их использование.  
Числа – мощность источников в тераваттах ( $10^{12}$  Вт)

Запасы возобновляемых энергоресурсов (энергии Солнца, ветра, рек, морских приливов, недр Земли, растительных энергетических плантаций) громадны, и по существу, неистощимы.

Установки, работающие на возобновляемых источниках, оказывают гораздо меньшее воздействие на окружающую среду, чем традиционные потоки энергии, естественно циркулирующие в окружающем пространстве. Экологическое воздействие энергоустановок на возобновляемых источниках в основном заключается в нарушении естественного ландшафта.

В настоящее время возобновляемые энергоресурсы используются незначительно. Их применение крайне заманчиво, многообещающе, но требует больших расходов на развитие соответствующих техники и технологий. При ориентации части энергетики на возобновляемые источники важно избежать необоснованной эйфории, правильно оценить их долю, технически и экономически оправданную для применения. Если принять мировой объем использования всех возобновляемых источников энергии за 100%, то существующие минимальный и максимальный сценарии на перспективу до 2020 г. оценивают долю их различных видов следующим образом:

- ▶ биомассы: 42—45 %;
- ▶ солнечной энергии: 20—26 %;
- ▶ ветровой: 16 %;
- ▶ геотермальной: 7 %;
- ▶ энергии малых водотоков: 5—9 %;
- ▶ океанической энергии: 3—4 %.

Доля участия возобновляемых источников в покрытии суммарной мировой потребности в первичных ЭР оценивается, согласно этим прогнозам, в 3—12%.

Задача оценить, использовать потенциал возобновляемых ресурсов, найти их место в топливно-энергетическом комплексе стоит перед экономикой Беларуси. Ее решение позволит снизить зависимость экономики республики от импорта ЭР, будет способствовать ее стабильности и развитию. При планировании энерге-

тики на возобновляемых источниках важно учесть их особенности по сравнению с традиционными, невозобновляемыми. К ним относятся следующие:

1. Периодичность действия в зависимости от неуправляемых человеком природных закономерностей и, как следствие, колебания мощности возобновляемых источников — от крайне нерегулярных, как у ветра, до строго регулярных, как у приливов.

2. Низкие, на несколько порядков ниже, чем у невозобновляемых источников (паровые котлы, ядерные реакторы), плотности потоков энергии и рассеянность их в пространстве. Поэтому энергоустановки на возобновляемых источниках эффективны при небольшой единичной мощности, и, прежде всего, для сельских районов.

3. Применение возобновляемых ресурсов эффективно лишь при комплексном подходе к ним. Например, отходы животноводства и растениеводства на агропромышленных предприятиях одновременно могут служить сырьем для производства метана, жидкого и твердого топлива, а также удобрений.

4. Экономическую целесообразность использования того или иного источника возобновляемой энергии следует определять в зависимости от природных условий, географических особенностей конкретного региона, с одной стороны, и в зависимости от потребностей в энергии для промышленного, сельскохозяйственного производства, бытовых нужд, с другой. Рекомендуется планировать энергетику на возобновляемых источниках для районов размером примерно 250 км<sup>2</sup>.

При выборе источников энергии следует иметь в виду их качество, оценивающееся долей энергии, которая может быть превращена в механическую работу (здесь не учитываются потери на производство, на передачу электрической и тепловой энергий). С помощью электродвигателя более 95% электрической энергии можно превратить в механическую работу. Доля тепловой энергии, получаемой в результате сжигания топлива на ТЭС и превращаемой в механическую энергию, составляет около 36%. Возобновляемые источники энергии по их качеству условно делятся на три группы:

► источники механической энергии довольно высокого качества: около 30%

- ветроустановки, 60% - гидроустановки, 75% - волновые и приливные станции;

▶ источники тепловой энергии с качеством не более 35% — прямое или рассеянное солнечное излучение, биотопливо;

▶ источники энергии, использующие фотосинтез и фотоэлектрические явления, имеют различное качество на разных частотах излучения; в среднем КПД фотопреобразователей составляет примерно 15%.

Основными нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии для Беларуси, могущими иметь практическое значение, являются биомасса, гидроресурсы, ветроэнергетические ресурсы, солнечная энергия, твердые бытовые отходы, геотермальные ресурсы. Далее, характеризуя возможности различных возобновляемых ЭР. успехи их применения в мире, уделим особое внимание целесообразности их развития и использования в энергобалансе республики.

## **1.6 Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР), их классификация**

*Вторичные энергетические ресурсы* — это энергия, получаемая в ходе любого технологического процесса в результате недоиспользования первичной энергии или в виде побочного продукта основного производства и не применяемая в этом технологическом процессе.

Утилизация ВЭР позволяет получить большую экономию топлива и существенно снизить капитальные затраты на создание соответствующих энерго-сберегающих установок

**Различают ВЭР: *горючие, тепловые и избыточного давления.***

*Горючие ВЭР* – это горючие газы и отходы одного производства, которые могут быть применены непосредственно в виде топлива в других производствах. Это доменный газ металлургия; щепы, опилки, стружка - деревообрабатывающая промышленность; твердые, жидкие промышленные отходы в химической и нефтегазоперерабатывающей промышленности и т. д.

*ВЭР избыточного давления* — это потенциальная энергия покидающих установку газов, воды, пара с повышенным давлением, которая может быть еще использована перед выбросом в атмосферу. Основное направление таких ВЭР получение электрической или механической энергии.

*Тепловые ВЭР* — это физическая теплота отходящих газов, основной и побочной продукции производства; теплота золы и шлаков; теплота горячей воды и пара, отработанных в технологических установках; теплота рабочих тел систем охлаждения технологических установок. Тепловые ВЭР могут использоваться как непосредственно в виде теплоты, так и для отдельной или комбинированной выработки теплоты, холода, электроэнергии в утилизационных установках.

Кроме того, по степени концентрации энергии различают источники ВЭР:

▶ высокопотенциальные, прежде всего тепловые ВЭР высокотемпературных (400—1000 °С) технологий, связанных с нагревом, плавкой, обжигом, термообработкой или возгонкой; величина потерь энергии с уходящими дымовыми газами от нагревательных термических потерь доходит до 70%;

▶ среднепотенциальные — дымовые газы, конденсат, отработанный пар, продуктовые потоки с температурой выше 120 °С;

▶ низкопотенциальные — системы оборотного водоснабжения, охлаждения с изменением температуры воды на 5-10 °С, сбросы пара давлением 1 — 1,5 атм в атмосферу, бытовые стоки, уходящие газы температурой 100—150 °С, вентиляционные выбросы.

Энергетический потенциал ВЭР реализуется в утилизационных установках и системах, к которым относятся котлы-утилизаторы, теплообменники, печи, газотурбины, системы оборотного водоснабжения для снижения расхода технологической воды, тепловые насосы и т. д.

В настоящее время повышение уровня использования ВЭР включено в перечень мероприятий по энергосбережению, имеющих приоритетное значение в республике.

Согласно правительственному решению, проведена инвентаризация имеющихся ВЭР. В результате были разработаны предложения по экономически целесообразному их использованию, утверждено положение о взаиморасчетах между теплоснабжающими организациями и поставщиками утилизируемой теплоты ВЭР в системы централизованного теплоснабжения. Общий энергетический потенциал ВЭР весьма велик и оценивается в интервале 1,9-3,1 млн. т у. т. в год. Однако для вовлечения его в энергетический баланс республики необходимы значительные

капитальные вложения, связанные с внедрением энергосберегающего оборудования и технологий. Факторами, затрудняющими использование ВЭР, являются также непостоянство их как источника энергии определенных параметров и несовпадение режимов работы установок, производящих ВЭР, с режимами спроса на тепловую энергию. В связи с этим в схемах использования ВЭР должны найти широкое применение аккумуляторы теплоты.

Использование тепловой энергии уходящих газов производится в два этапа: регенерацией (возвратом) газов в первоначальный процесс и преобразованием энергии газов в котлах-утилизаторах в более удобный для потребления вид: энергию пара или горячей воды. Применение полученной теплоэнергии аналогично поступающей из котельной или теплоцентрали. Конструктивно котелутилизатор представляет собой теплообменник типа «газ-вода» с системой подготовки и подачи питательной воды, сбор перегретого пара, устройствами управления потоком уходящих газов и очистки внутренних поверхностей. Альтернативным вариантом сбережения энергии высокопотенциальных уходящих газов является замена нагревательных и термических газовых печей отечественного производства с КПД — 2,5—8% на зарубежные, оборудованные рекуператорами, с КПД - 30%.

Вторым по значимости источником ВЭР на промышленных предприятиях является теплота конденсата. За счет оснащения потребляющего пар оборудования конденсато - отводами и использования тепла конденсата для подогрева воды для горячего водоснабжения можно снизить расход тепловой энергии на величину, эквивалентную 42 тыс. т у. т.

К способам использования низкопотенциальных ВЭР на предприятиях относятся предварительный подогрев воздуха в системах вентиляции, воды для горячего водоснабжения и автономных систем отопления.

Реализация указанных направлений утилизации ВЭР в промышленности влечет за собой необходимость модернизации схем теплоснабжения самих предприятий и прилегающих потребителей, включая жилые комплексы.

Все более широкое применение для утилизации ВЭР в производственной и непромышленной сферах находят теплонасосные установки.

## Глава 2. Бытовое энергосбережение

### 2.1. Экономичные источники света

Освещение используется во всех сферах деятельности человека. На освещение расходуется от 10 до 13% от общего потребления электроэнергии. Анализ структуры потребления по отраслям показывает, что на промышленность приходится 29%, жилищный сектор — 26%, административные и общественные здания — 20%, уличное освещение — 12% всего объема потребления. Таким образом, от 80 -90% электроэнергии на нужды освещения расходуется на территории городов и населенных пунктов. В организации энергоэффективного освещения городских объектов производственной и непроизводственной сферы, жилых зданий, территории городов, имеется значительный потенциал энергосбережения за счет перехода к энергоэффективному освещению.

Энергоэффективное освещение означает устройство систем освещения и организацию их функционирования таким образом, чтобы при обеспечении требуемых нормами количественных и качественных характеристик освещения потреблялось минимальное количество электроэнергии. Исполнение этих условий закладывается, в первую очередь, при проектировании освещения путем рационального сочетания естественного света через световые проемы и искусственного — от осветительных установок, общего и локального освещения, выбора оптимальной схемы электрической сети освещения, количества, типов и мощности источников света, их размещения, выбора светильников и пускорегулирующей аппаратуры. Сочетание хорошего естественного освещения за счет оптимального количества, размещения, размеров оконных проемов, фонарей в потолочных перекрытиях и регулируемого искусственного освещения может обеспечить энергосбережение до 30-70%. Потребность в искусственном освещении уменьшается при светлых интерьерах в помещениях, которые создают ощущение светлого пространства.

Все более широкое применение находят системы авто- магического управления включением, отключением светильников и автоматического регу-

лирования освещенности, а также энергоэкономичные источники света. Зарубежный опыт свидетельствует, что автоматизация освещения позволяет снизить энергопотребление на 30~50%. В стране налажено и развивается производство электронных и электромагнитных пускорегулирующих аппаратов для люминесцентных ламп, энергоэкономичных ламп и осветительной арматуры, устройств автоматического управления освещением: фотореле, приборов регулирования светового потока, инфракрасных датчиков.

В настоящее время выпускаются различные источники света, характеристики которых приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика источников освещения

Тип источника света	Маркировка	Светоотдача, лм/Вт		Коэф-циент запаса, Кзп	Срок службы, ч
		диапазон	обычная		
Лампы накаливания	ЛН	8 - 18	12	1,1	1000
Галогенные лампы накаливания	КГ	16 -24	18	1,1	2000
Ртутно – вольфрамовые лампы	РВЛ	20 -28	22	1,2	6000
Ртутные лампы высокого давления	ДРЛ	36 -54	50	1,3	12000
Натриевые лампы высокого давления	ДНаТ	90 -120	100	1,3	12000
Металлогалогенные лампы высокого давления	ДРИ	70 -90	80	1,3	12000
Люминесцентные лампы низкого давления	ЛБ	60 -80	70	1,3	10000
Люминесцентные лампы низкого давления с улучшенной цветопередачей	ЛБЦТ	70 - 95	90	1,25	10000
Компактные люминесцентные лампы низкого давления	КЛЛ	60 - 70	67	1,25	9000
Натриевые лампы низкого давления	ДНаО	120 - 180	-	1,3	12000

Из приведенных данных видно, что лампы накаливания по своей эффективности в 2 и более раза ниже, чем остальные. Возможность экономии энергии определяется выбором источников света. Обычные лампы накаливания, работающие более 4000 часов в год, лучше заменить более эффективными, т. к. они потребляют в 6 раз больше электроэнергии, чем, например, люминесцентные лампы. С появлением около десяти лет назад электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА) возникла возможность создания более энергоэкономичных светильников с компактными люминесцентными лампами (КЛЛК). Сокращение расхода электроэнергии и повышение КПД лампы происходит в результате повышения напряжения питания частотой 20 кГц; многократное увеличение светотдачи поверхности осветительного прибора позволяет уменьшить его габариты. Срок службы лампы достигает 9000 часов. Компактная лампа мощностью 10 Вт обеспечивает такую же освещенность, что и обычная лампа накаливания мощностью 50 Вт. Срок окупаемости КЛЛ составляет от 1 до 2 лет.

Кроме замены источников света, имеются и другие способы повышения экономии энергии при использовании осветительных установок. Экономия электроэнергии зависит от сочетания и размещения источников света и светильников. Использование одной более мощной лампы накаливания или люминесцентной позволяет уменьшить потребление энергии без снижения освещенности. Например, четыре люминесцентные лампы по 20 Вт дают две трети светового потока, который можно подучить от двух ламп по 40 Вт.

Особенно это ощутимо на примере индивидуальной квартиры. При полной замене ламп накаливания на люминесцентные компактные лампы потребление электроэнергии для освещения уменьшается примерно в пять раз.

Эффективным является пакетный способ размещения светильников вместо линейного способа. При линейном - осветительная арматура располагается в виде отдельных линий, а при пакетном — над рабочим местом располагают несколько светильников. Практика показала, что один и тот же уровень освещенности рабочего места при пакетном способе поддерживается в 2 раза меньшим числом светильников. Использование комбинированного общего и мест-

ного освещения, искусственного и естественного освещения позволяет уменьшить потребление электроэнергии. В соответствии с ограничениями по дискомфорту освещения нельзя использовать только местное освещение рабочих мест. Оно должно обязательно дополняться общим с пониженной освещенностью. Регулярная протирка остекления позволяет снижать продолжительность горения ламп при двухсменной работе предприятия на 15% в зимнее время и на 90% — в летнее.

Замена светильников — наиболее эффективное комплексное мероприятие, включающее замену источников света, расположение мест освещения и в целом повышение КПД использования электроэнергии на освещение. Например, переход на светильники с эффективными отражателями позволяет снизить потребление энергии до 50%, т. е. отказаться от половины используемых ламп. Использование компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) в местах общего пользования по сравнению с лампами накаливания приводит к уменьшению потребления энергии в несколько раз. Однако при этом надо обращать внимание на правильную установку КЛЛ, так как в отличие от ламп накаливания они обладают направленным световым потоком.

## **2.2. Электробытовые приборы и их эффективное использование**

Производство электрических машин и аппаратов зародилось в конце XIX века. В восьмидесятых годах новая отрасль промышленности быстро набирала силу. Электротехника находила применение не только в промышленности, но и в домашнем обиходе.

В 1881 году на Международной электротехнической выставке в Париже впервые были продемонстрированы аппараты для нагревательных целей, в том числе электроплиты, электроутюги и электрокамины. Эти экспонаты вызвали необычайный интерес у посетителей. Энтузиазм, вызванный успехами электротехников по применению электричества в быту, вдохновил изобретателей. Новые электроприборы в то время создавались чуть ли не ежедневно.

Вслед за электроосвещением в обиход вошли не только отдельные приборы, но и целые группы приборов аналогичного назначения. Так, были созданы приборы для тепловой обработки пищевых продуктов: электроплиты, электрические духовые шкафы, электрокастрюли, электрочайники и др. Тогда же появились первые приборы личной гигиены: фены, приборы для глажения белья и др. Группа приборов микроклимата, разработанных в конце XIX века, включала в себя вентиляторы, увлажнители воздуха, электрокамины.

Так, на рубеже XIX—XX веков в течение нескольких лет были созданы практически все типы бытовых электроприборов применяемых и по сегодняшний день. В электроприборах наших дней используются те же принципы и элементы конструкций. А отличаются они от своих далеких предшественников лишь современным внешним оформлением, обеспеченным новыми материалами, и технологией. Только спустя десятилетия перечень бытовых электроприборов пополнился приборами, использующими новые принципы, это, например, микроволновые печи и пьезоэлектрические приборы.

Современная квартира, как правило, оборудована множеством электрических устройств: плита, холодильник, телевизор, стиральная машина, чайник, кофеварка, приемник, магнитофон, осветительные приборы и т. д.

Уделим внимание практическим приемам правильного пользования электробытовыми приборами для повышения их энергетической эффективности.

**Электроплиты.** Самым энергоемким потребителем электроэнергии являются электроплиты. Годовое потребление электроэнергии электроплитой составляет 1200-1400 кВт Их применение вместо газовых плит и плит на твердом топливе существенно улучшает санитарно-гигиенические условия на кухне и в доме (отсутствие угарного газа). Как же рационально пользоваться электроплитой? Технология приготовления пищи требует включения конфорки на полную мощность только на время, необходимое для закипания. Варка пищи может происходить при меньших мощностях. Варка пищи на малых мощностях значительно сокращает расход электроэнергии, поэтому конфорки электроплит снабжают переключателями мощности. Для снижения расхода электроэнергии

на приготовление пищи на электроплитах надо применять специальную посуду с утолщенным обточенным дном диаметром, равным или несколько большим диаметра конфорки. Экономия электроэнергии при использовании такой посуды 10-20%. Посуда для электроплиты должна плотно стоять на конфорке. Если диаметр посуды меньше диаметра конфорки, то часть теплоты выделяется в воздух. Выкипевшая вода оставляет в посуде слой нерастворимых солей кальция и магния - накипь. Ее толстая пористая корка проводит тепло почти в 30 раз хуже металла, заставляя увеличивать время нагревания и расход энергии. Поэтому накипь необходимо удалять специальными средствами.

При приготовлении пищи или кипячении воды целесообразно выключать конфорки несколько раньше окончательной готовности или закипания воды, это позволяет сэкономить до 20% электроэнергии за счет тепловой инерции раскаленной конфорки. Более экономично пользоваться электрочайниками, электрокофеварками, яйцеварками, печами СВЧ и т. п., которые имеют КПД в 1,5-1,8 раза выше, чем обычные газовые и электрические плиты. Кстати, пользование электрическим чайником предпочтительнее, чем кипячение воды на плите. КПД чайника 90%, а конфорок электроплиты 50-60%. В этом случае, пользуясь чайником, можно сберечь до 40% электрической энергии. Иными словами, израсходовав одно и то же количество электроэнергии, в чайнике можно нагреть до кипения воды почти вдвое больше, чем на плите. А рекордсменом по эффективности является обычный кипятильник. При его применении практически вся потребленная электроэнергия расходуется на нагрев воды.

После приготовления пищи одна или две конфорки, как правило, остаются горячими. Следует поставить на них холодную воду перед тем, как заливать ее в чайник или кофеварку. Этим можно сберечь от 10 до 30% электроэнергии (в зависимости от температуры отключенной конфорки) при последующем кипячении, поскольку температура воды, заливаемой в чайник, будет не 8—10 °С (температура холодной воды из-под крана), а 25—40 °С (после подогрева на остывающей конфорке). Кстати, для приготовления как пищи, так чая и кофе желательно пользоваться предварительно отстоявшейся водой, а не из-под кра-

на. Во-первых, отстаиваясь, вода нагревается почти до комнатной температуры (а это уже примерно 10% энергосбережения при ее последующем кипячении). Во-вторых, из воды частично уходят элементы, которые используются при ее обеззараживании (например, хлор), что важно для здоровья.

Коль речь зашла о плите и кухне, приведем рецепт приготовления каши с наименьшими энергозатратами. Для этого крупу надо предварительно на ночь замочить или еще лучше — залить кипятком в термосе. В первом случае каша сварится вдвое быстрее, во втором — вчетверо. Соответственно уменьшатся затраты электроэнергии или газа на ее приготовление.

**Микроволновые печи.** Предназначены для быстрого приготовления пищи, подогревания готовых блюд и размораживания продуктов и кулинарных изделий. Наиболее распространен у нас сейчас самый простой тип микроволновой печи. Такая печь обычно оборудована освещаемым жарочным шкафом, вращающейся тарелкой для равномерного обжаривания, таймером с сигналом об окончании обработки и регулятором мощности на 5—7 ступеней, включая ступень размораживания. Более совершенные печи этого типа дополнительно оснащены клавишами быстрого старта и памяти, автоматическим управлением размораживанием (в зависимости от веса) и дисплеем, показывающим время вид работы и мощность. Наименьшая мощность микроволн в этих печах - 500 Вт, наибольшая - 900 Вт Кроме того, в печи может быть установлена вращающаяся антенна - дополнительный распределитель микроволн, что позволяет наиболее полно использовать их мощность.

Более совершенными являются комбинированные микроволновые печи. Комбинированная микроволновая печь дают дополнительные возможности: жарить или запекать мясо, рыбу, птицу и т. д.; печь, при этом горячий воздух подается сверху, снизу или циркулирует по всему объему; использовать инфракрасный или обычный гриль.

Такие комбинированные печи дополнительно оснащены грилем с вертелом, электронагревателями, пультом управления и электронными часами — таймером, показывающим время дня, время и вид жаренья. В таких печах возможно комби-

нированное использование гриля и микроволновой печи. В более сложных системах этого типа используются, кроме обычных, еще и инфракрасные и рециркуляционные грили, специальные вращающиеся системы для оптимального распределения микроволн и каталитические фильтры для удаления запахов. Печи также могут быть оборудованы системой программирования на несколько видов работ в зависимости от вида продуктов и необходимой процедуры обработки.

Наиболее совершенные модели печей оснащены также автоматикой взвешивания: после ввода веса продуктов прибор автоматически сообщает необходимые для оттаивания, подогрева, жарения или подрумянивания время и вид работы.

Микроволновая печь может быть усовершенствована добавлением конвекционного режима.

Конвекционная обработка продуктов, несмотря на необычное название, построена на тех же принципах, что и обычная тепловая обработка.

Отличие конвекционной духовки в том, что в большинстве из них нагревательный элемент располагается снаружи. Все внутреннее пространство может быть использовано для приготовления пищи. Вентилятор обеспечивает высокую скорость циркуляции горячего воздуха, который обволакивает продукты сразу, как только духовка включилась, и пища начинает разогреваться в еще не прогретой духовке. Благодаря циркуляции процесс приготовления идет быстрее, т. к. горячий воздух не скапливается вверх духовки. Но конвекционная духовка» хорошо обжаривая продукт, не дает полной уверенности в его готовности внутри. Особенно, когда речь идет об объемных продуктах. Если использовать только конвекционную духовку для выпечки хлеба или пирогов, то они могут пригореть или может образоваться толстая корка, прежде чем пироги пропекутся внутри.

Идеальный вариант — конвекционном микроволновый комбайн, в смешанном режиме которого блюда готовятся микроволновым импульсом и горячим воздухом одновременно.

При работе комбайна в смешанном режиме за счет конвекции прекрасно сохраняется аромат и сочность и обжаривается поверхность продукта, а микро-

волновая энергия дает уверенность в том, что продукт готов внутри.

**Холодильники.** Примерно от 30 до 40% потребляемой в доме электрической энергии приходится на холодильник. Следует отметить, что компрессорный холодильник (в зависимости от объема) потребляет 250—450 кВт ч, абсорбционный — 500—1400 кВт ч в год. Экономичность их использования зависит от режима работы и соблюдения правил эксплуатации. Бытовые холодильники рассчитаны на работу в сухом, отапливаемом помещении при температуре окружающего воздуха 16—32 °С. Холодильник следует ставить в самое прохладное место (но не в коем случае к батарее или плите), желательно возле наружной стены (она холоднее), но не вплотную к ней. Чем ниже температура теплообменника, тем эффективнее он работает и реже включается. При снижении температуры теплообменника с 20 до 19 °С, холодильник начинает расходовать энергии на 6% меньше. Ледяная "шуба", нарастая на испарителе, изолирует его от внутреннего объема холодильника, заставляя его включаться чаще и работать каждый раз дольше. Поэтому холодильник необходимо регулярно размораживать. Это даст 3—5% снижения потребления электроэнергии. Чтобы влага из продуктов не намерзала на испарителе следует хранить их в коробках, банках и кастрюлях, плотно закрытых крышками, или завернутыми в фольгу. А, регулярно оттаивая и просушивая холодильник, можно сделать его гораздо экономичнее. Нельзя ставить в холодильник теплые (выше комнатной температуры) продукты. В холодную пору года, перед размещением продуктов в холодильнике, желательно выдерживать их на балконе. В последнее время для получения дополнительного пространства на кухне стали прятать холодильник в стенной шкаф либо в нишу. Мало того, что ниша в стене, как правило, перекрывает вентиляционные каналы соседей, живущих на нижних этажах, при этом резко ухудшаются и условия работы холодильника. На задней стенке любого холодильника находится змеевик конденсатора, который охлаждается комнатным воздухом. Пряча его в закрытое пространство, мы в первую очередь прячем туда змеевик, затрудняя его охлаждение. В таких условиях холодильник будет гораздо чаще включаться и дольше работать в этом режиме. Потребление электрической энергии может увеличиться почти на 20%, а ресурс работы холодильника умень-

шиться на такую же величину

В странах Европейского Союза все холодильники подразделяются на 7 категорий экономичности. А, В, С, D, E, F, G. Холодильники категории А и В являются высокоэффективными и потребляют в год около 300 кВт ч электроэнергии. Холодильники категории G имеют самую шикарную эффективность. Холодильники «Атлант» минского завода соответствуют среднеевропейскому стандарту и отвечают категории С. Имея в виду, что на долю холодильников и морозильников приходится 30—40% общего расхода электроэнергии в быту, переход на выпуск холодильной бытовой техники категории А даст экономию около 170000 т у. т./год.

**Утюги.** Мощность утюга довольно велика — около киловатта. Чтобы добиться некоторой экономии, порой довольно значительной, белье должно быть слегка влажным, пересушенное или слишком мокрое приходится гладить дольше, тратя лишнюю энергию; Массивный утюг можно выключить незадолго до конца работы, накопленного им тепла хватит еще на несколько минут. Остановлено, что оптимальная температура глажения для изделий из искусственного шелка 85—115 °С; шерсти - 140—165 натурального шелка - 115-140 хлопчатобумажной ткани - 165-190 °С, льняной - 190-230 °С. Использование этих данных позволяет повысить производительность труда на 40-60%, а расход электроэнергии снизить на 20-25%.

**Стиральные машины.** Наиболее энергоэкономными являются автоматические стиральные машины, включение и выключение которых производится по программе.

**Пылесосы.** Для эффективной работы пылесоса большое значение имеет хорошая очистка пылесборника, что улучшает тягу воздуха.

**Бытовые кондиционеры.** Для внутриквартирного использования часто применяется кондиционер типа Б К—1500, который эффективно работает при закрытых форточках и дверях.

**Радиотелевизионная аппаратура.** Для ее эффективной работы необходимо своевременное охлаждение и систематическая очистка от пыли. Также

нужно учитывать, что многие электронные приборы — видеомэагнитофоны, проигрыватели, радиоприемники — после выключения продолжают работать в дежурном режиме. Мощность "дежурного" устройства невелика — 10—15 Вт. Но за месяц непрерывной работы оно израсходует довольно ощутимое количество энергии — около 10 кВт·ч.

***Приемы рационального освещения.*** Добиться значительной экономии электроэнергии можно при разумном сочетании общего и локального (местного) освещения на рабочем столе, в гостиной для просмотра телевизионных программ, у зеркала в прихожей и т. п. Хорошо предусмотреть возможность включения части ламп в светильниках, автоматического отключения освещения при выходе из комнаты, использовать современные энергосберегающие лампы. Среди обилия выпускаемых светильников экономичность энергосбережения довольно часто выпадает из поля зрения конструкторов. Расход электроэнергии на освещение может быть сокращен на 10-25% за счет замены ламп накаливания люминесцентными лампами, рационального освещения в квартирах и правильной эксплуатации светильников.

Разработана комплексная программа по созданию и внедрению в производство энергосберегающих источников света: криптоновых ламп мощностью до 100 Вт, компактных и фигурных люминесцентных ламп мощностью 11-25 Вт с резьбовым цоколем.

Правильный выбор типа светильника, мощности и места его установки позволяет экономить 40-50% расходуемой на освещение электроэнергии.

Люминесцентные лампы по сравнению с лампами накаливания потребляют электроэнергии в 3-4 раза меньше Их свет можно сочетать со светом ламп накаливания Люминесцентные светильники предпочтительней использовать для местного освещения.

В настоящее время в продаже появились компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), которые потребляют в 6- 7 раз меньше электрической энергии по сравнению с лампами накаливания при одинаковой освещенности.

Чтобы освещенность различных зон квартиры соответствовала норме, а расход электроэнергии был минимальным, нужно правильно выбирать мощ-

ность ламп. Для любых типов ламп светоотдача увеличивается с увеличением мощности. Лампы большой мощности (60, 100, 150 Вт) более эффективны и экономичны для общего освещения, чем лампы мощностью 25, 40 Вт. Например, 4 люминесцентных лампы по 20 Вт дают  $\frac{2}{3}$  света, который можно получить от двух ламп по 40 Вт, или  $\frac{4}{7}$  света, который дает одна лампа 75 Вт. Таким образом, использование нескольких ламп малой мощности вместо одной мощной лампы в осветительных устройствах требует больше энергии.

Режим осветительных приборов можно регулировать по своему усмотрению: ступенчатым переключателем или светорегулятором с плавным изменением мощности светильника. В результате увеличивается срок службы ламп и экономится электроэнергия до 30%.

Использование местного освещения дает большой эффект и экономию. Необходимо учитывать, что освещенность поверхности пропорциональна квадрату расстояния от источника света, и поэтому лампочка 30 Вт в настольной лампе позволяет достичь лучшей освещенности на рабочем столе, чем люстра с тремя и даже пятью лампочками общей мощностью 180 - 309 Вт. В результате двойной выигрыш: сохранение зрения и сбережение электрической энергии. Два-три маломощных светильника в разных углах комнаты вполне заменят верхний свет, да и выглядеть комната будет уютнее.

Нет, вероятно, ничего более угнетающего, чем тусклый свет в квартире. Лампочка, покрытая слоем пыли, дает света на 10—15%, а то и на все 30% меньше чистой. Поэтому светильники необходимо содержать в чистоте.

Таким образом, выбор и использование наиболее экономичных электроприборов позволяет существенно сократить потребление электроэнергии.

### **2.3. Бытовые приборы регулирования, учета и контроля теплоты**

На цели отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в Республике Беларусь расходуется 40% от общего потребления топлива. Потенциал энергосбережения, по оценкам отечественных и зарубежных экспертов, в системах

теплоснабжения республики составляет около 50%. Следовательно, за счет энергосберегающих мероприятий можно снизить потребление топлива на нужды теплоснабжения на 20% от общего потребления республикой. Именно поэтому одной из приоритетных задач действующей Государственной программы «Энергосбережение» для увеличения эффективности использования теплоты в системах отопления зданий необходимо внедрение системы регулирования отпуска тепла. Необходимость оперативного определения расхода теплоты и теплотерь с особой остротой выявилась в последнее время в связи с требованием экономии топливно-энергетических ресурсов.

Измерительная система теплосчетчика «Квант» (рисунок 2.1) состоит из электромагнитного (индукционного) расходомера (ИР), платиновых терморезисторов — датчиков температуры прямого и обратного потоков и автоматического вычислительного прибора (АВП).

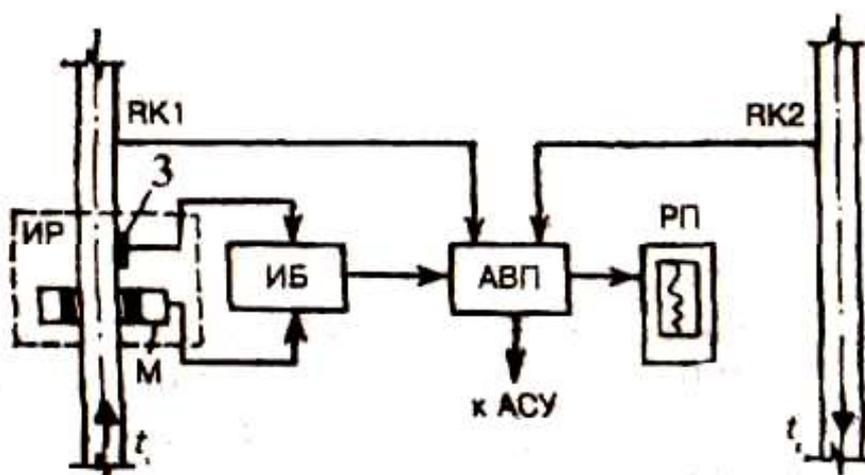


Рисунок 2.1 – Измерительная система теплосчетчика "Квант":

ИР — электромагнитный расходомер, АВП - автоматический вычислительный прибор, М – магнит, Э – электроды, ИБ – измерительный блок, RK1, RK2 – терморезисторы

Подающий трубопровод расположен между полюсами электромагнита М, под действием которого ионы жидкости отдают заряды измерительным электродам Э, создавая ток, пропорциональный расходу  $V$ . Измерительный блок (ИБ) трансформирует сигнал о расходе и передает на АВП, куда также поступают сигналы от терморезисторов RK 1 и RK 2. АВП производит счетные опе-

рации с выходом на регистрирующий прибор (РП) и АСУ.

На рисунке 2.2. показан комплект приборов теплосчетчика НПТО «Термо». В состав комплекта входят: электромагнитный расходомер РОСТ—1; измерительный преобразователь ЭП—8006; термометры сопротивления КТСНР для измерения разности температур.

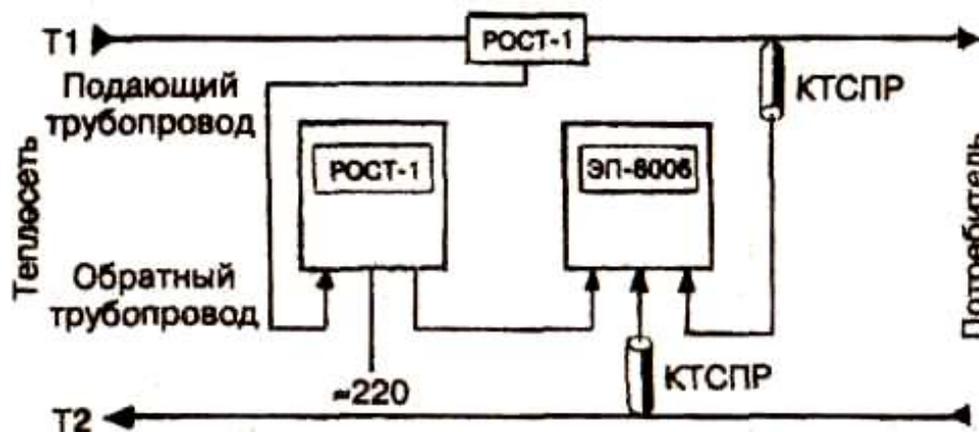


Рисунок 2.2 – Комплект приборов теплосчетчика НПТО "Термо":

РОСТ-1 — электромагнитный расходомер, ЭП-8006 — измерительный преобразователь, КТСНР — термометры сопротивления КТСНР для измерения разности температур

Теплосчетчик отличается высокой точностью измерения, отсутствием требований к прямолинейности участков трубопровода, отсутствием подвижных элементов в потоке. Комплект имеет цифровой шестизначный счетчик количества теплоты в гигаджоулях, цифровую индикацию расхода теплоносителя, аналоговые выходные сигналы постоянного тока, частотный выходной сигнал, температурный датчик для передачи данных в систему учета энергии ИИСЭ.

На рисунке. 2.3 показан комплект приборов теплосчетчиков ТЭМ—05М. В состав комплекта входят: измерительно-вычислительный блок (ИВБ); первичный преобразователь расхода электромагнитного типа (ППР); термопреобразователь сопротивления платиновый (ТСП); расходомер-счетчик РМС-05.05.

Теплосчетчики ТЭМ—05М предназначены для измерения, регистрации и коммерческого учета тепловых параметров в системах горячего водоснабжения, а также в закрытых и открытых системах теплоснабжения. Они приме-

няются для работы на жилых, общественных и производственных зданиях самого широкого спектра: от офисов и коттеджей до промышленных предприятий, а также могут использоваться для автоматизированных систем учета, контроля и регулирования тепловой энергии.

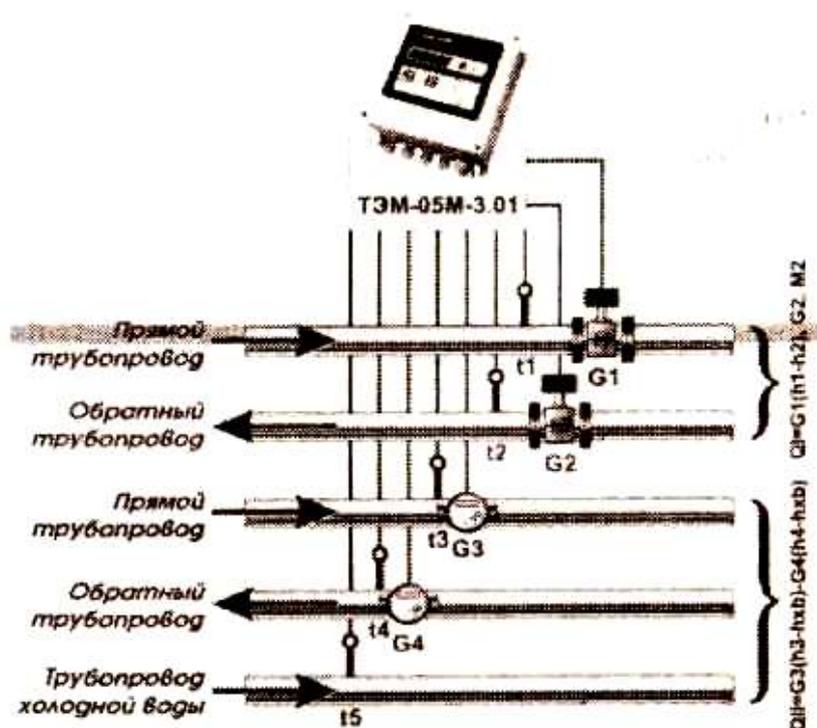


Рисунок 2.3 - Схема установки ТЭМ—05МЗ

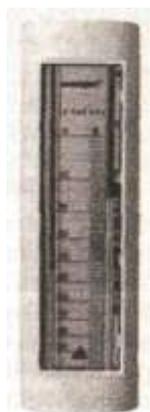
Теплосчетчики имеют отличительные особенности и преимущества: отсутствие гидравлического сопротивления жидкости; возможность выбора типовой схемы установки; возможность выбора диапазона измерения расхода по месту монтажа самим потребителем; возможность объединения приборов в системы автоматизированного контроля и управления благодаря наличию у теплосчетчиков архива статистических данных о параметрах систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, стандартных последовательных интерфейсов RS 232C, RS 485, адаптеров переноса данных (АГТД—01П, АПД—01С) и сервисного программного обеспечения.

Теплосчетчики ТЭМ—05М осуществляют автоматическое измерение: расхода теплоносителя в трубопроводах систем теплоснабжения и горячего водоснабжения; температуры теплоносителя в трубопроводах систем теплоснабжения или горячего водоснабжения и в трубопроводах холодного водоснабже-

ния; избыточного давления теплоносителя в трубопроводах (при наличии датчиков давления с токовым выходом); времени наработки при поданном напряжении питания; времени работы в зоне ошибок и вычисление: разности температуры теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах (трубопроводе холодного водоснабжения); потребляемой тепловой мощности; объема теплоносителя, прошедшего по трубопроводам; потребленное количество теплоты.

Система индивидуального расчета за тепло широко распространена в ряде европейских стран и оценивает расход теплоты индивидуальными потребителями, например радиаторами центрального отопления. Она состоит из так называемого распределителя тепла и радиаторного термостата. Распределитель тепла устанавливается на каждый радиатор в квартире и фиксирует количество тепла, отданного радиатором. Можно использовать испарительный распределитель тепла «Экземпер» или электронный — «Допримо». В испарительном распределении тепла (рисунок 2.4) тепло радиатора действует на специальную жидкость в измерительной ампуле, которая испаряется в зависимости от температуры и продолжительности действия тепла от радиатора. Чем горячее радиатор и чем дольше его тепло действует на ампулу, тем больше испаряется жидкости. Количество испарившейся жидкости показывает, сколько тепла использует данный радиатор.

Чтобы компенсировать дополнительное уменьшение жидкости, которое возникает, например, летом, когда на радиатор светит солнце, ампулы содержат определенный переизбыток жидкости, представляющий собой излишек для так называемого холодного испарения



### Рисунок 2.4 – Испарительный распределитель тепла "Экземпер"

Электронный распределитель тепла (рисунок 2.5) с помощью датчика регистрирует температуру радиатора аккуратнее, быстрее и точнее, чем жидкостной.



### Рисунок 2.5 – Электронный распределитель тепла "ДОПРИМО"

Микросхема внутри распределителя моментально подсчитывает, принимая во внимание малейшие температурные различия, величины, образовавшиеся из разницы между температурой датчика и закодированной температурой помещения 20 °С (система с одним датчиком). Она переводит данные в цифровые величины для считывания.

Распределитель с двумя датчиками, помимо температуры радиатора, измеряет также температуру окружающей среды и из этих данных рассчитывает количество отданного радиатором тепла.

Показания распределителя считываются с жидкокристаллического дисплея прибора.

Радиаторный термостат позволяет регулировать количество тепла, отдаваемого радиатором, но, в отличие от обычного вентиля, он автоматически поддерживает желаемую температуру, создавая комфортную тепловую обстановку и экономя тепло.

Термостат состоит из двух основных частей — клапана и термостатической головки (рисунок 2.6).

Клапан увеличивает или уменьшает подачу горячей воды в радиатор под воздействием поршня, положение которого регулируется термостатической го-

ловкой. Внутри нее расположен так называемый сильфон, заполненный специальным газом, изменяющим свой объем в зависимости от температуры воздуха около термостатической головки.

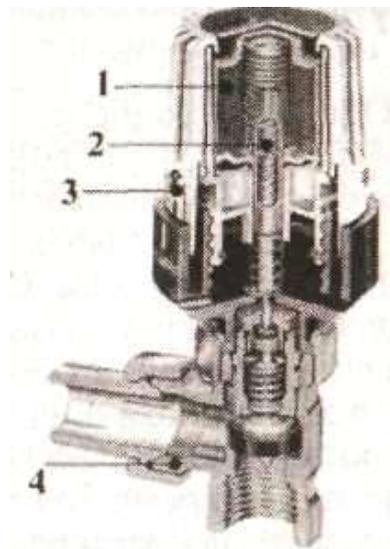


Рисунок 2.6 – Радиаторный термостат:

1 — термостатический элемент, 2 — сильфон, 3 — регулировочная рукоятка (настройка), 4 – корпус клапана

Выбор желаемой температуры производится поворотом головки в определенную позицию.

Термостаты позволяют задать оптимальный тепловой режим в помещениях, например, в детской — теплее, а в комнатах, которые долгое время не используются, можно установить минимальную температуру, не расходуя лишнее тепло. Уезжая на длительное время, также можно уменьшить температуру во всех помещениях, причем термостат не позволит температуре опуститься до того значения, когда из-за сконденсировавшейся влаги могут быть повреждены мебель и оборудование.

Термостаты используют так называемое «бесплатное» тепло — тепло, выделяемое людьми, оборудованием и бытовой техникой, солнцем. Это тепло — источник дополнительной экономии средств, и, кроме того, применение термостата избавит от необходимости открывать зимой форточки для уменьшения температуры в помещениях, где слишком тепло, что значительно

уменьшает риск простуды.

#### **2.4. Учет холодной и горячей воды, учет газа**

Одним из наиболее распространенных и применяемых средств сбережения энергоресурсов, является использование счетчиков воды и тепла. Не имея счетчика, нельзя судить, насколько эффективны мероприятия по снижению энергопотребления. Сам по себе счетчик не снижает потребление, однако создает стимул к сбережению энергии. За счет установки счетчика, а также правильных расчетов с поставщиком энергии снижается сумма оплаты за тепловую энергию на 20-30%.

В настоящее время получили распространение приборы для учета расхода жидкости, газа и теплоты. Физическая потребность в воде, по современной рациональной норме, составляет для одного человека 5 л в сутки. С учетом санитарных и хозяйственных нужд: 100—120 л. У нас же «рациональность» возросла до 300 л (120 л горячей и 180 л холодной воды на каждого жителя в сутки). На первый взгляд, вроде бы неплохо: чем больше потребляется воды (и мыла), тем культурнее выглядит народ. Оно бы и так, - если бы третья часть бесценного ресурса не уходила в никуда: из-за неисправности водопроводных сетей и водоразборных кранов. Для учета расхода воды применяют крыльчатые и турбинные водосчетчики, которые со временем окупаются, так как расход воды, согласно показаниям счетчика, значительно снижается. Самые простые способы водосбережения — это мытье посуды в наполненной раковине, а не в проточной воде, прием душа вместо ванны: экономия 40% воды; своевременный ремонт кранов.

Для учета расхода газа применяются бытовые счетчики ротационного типа РЛ-2,5, РЛ-4, РЛ-6, которые обеспечивают надежную работу при пульсирующих давлениях газа.

В жилых и общественных зданиях температура поверхности отопительных приборов (в соответствии с требованиями санитарно-гигиенических норм) не должна превышать 95, а температура воды в кранах горячего водоснабжения должна быть не ниже 50—60 и не выше 70°C. Поэтому эффективный учет теп-

ла возможен с помощью теплосчетчиков. Среди теплосчетчиков известен "Струмень ТС400", работа которого основана на электромагнитном принципе без механических устройств. Они используются в системах отопления и горячего водоснабжения. В комплект входят расходомер, термосопротивления и процессор. Диапазон измерения температур теплоносителя 5—180°C, диапазон измерения расхода теплоносителя 0,2—120 м<sup>3</sup>/ч, диаметр условного прохода трубы 20—80 мм.

## 2.5. Повышение эффективности систем отопления

Особенностью существующих систем отопления является то, что они рассчитаны на постоянный расход теплоносителя. Регулирование поступления теплоносителя в нагревательные приборы потребителями может привести к нарушению гидравлического режима системы отопления. Поэтому, прежде чем установить индивидуальные средства регулирования (автоматические или ручные) в зданиях (у жильцов), необходимо провести изменения схемы теплового узла.

Рассмотрим пример такой системы отопления (рисунок 2.7).

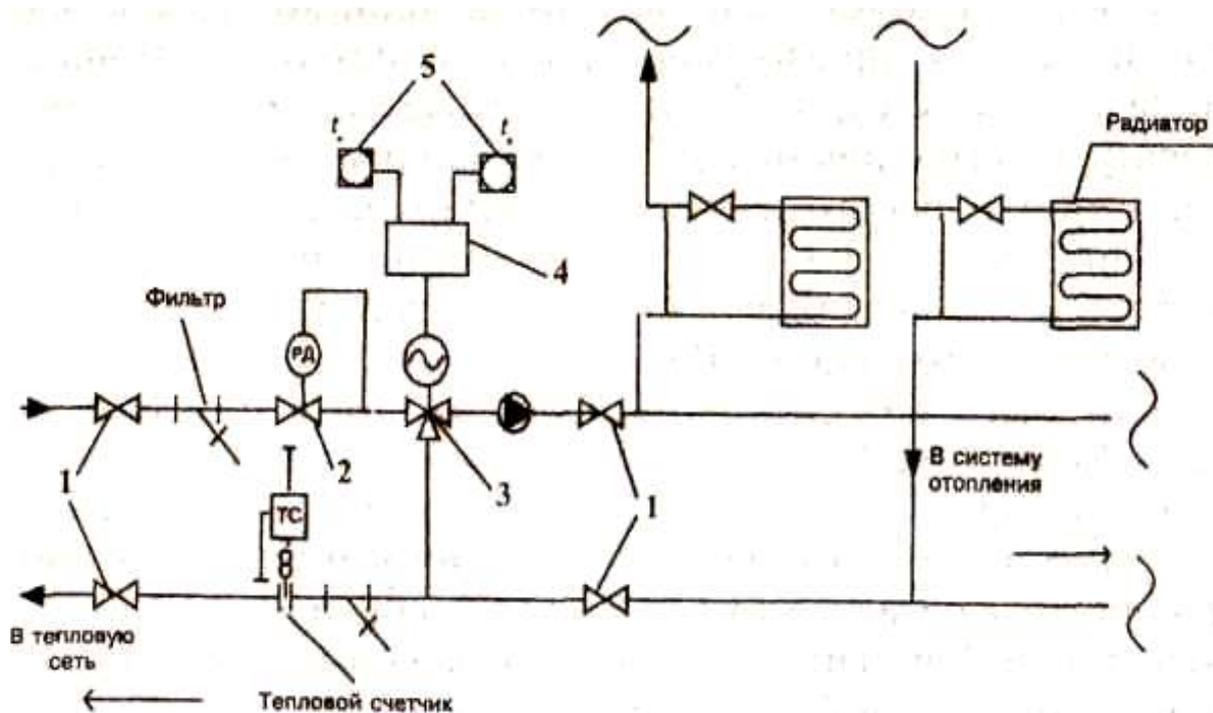


Рисунок 2.7 – Схема усовершенствованной системы отопления:

1 — запорные задвижки, 2 — регулятор давления, 3 — трехходовой, клапан,  
4 — блок управления, 5 — датчики температуры

На тепловом узле должны быть установлены: запорная арматура (краны, задвижки); фильтры механической очистки, автоматические регуляторы температуры воды, подаваемой на каждый фасад здания. Они работают в зависимости от температуры наружного и внутреннего воздуха (для этого система должна быть разделена на две половины: южную и северную); циркуляционный насос; регулятор расхода (давления). Трубы, задвижки и другие элементы должны быть изолированы.

В здании на радиаторах устанавливаются: индивидуальные средства регулирования (ручные либо термостатические вентили); счетчики-распределители тепла, предназначенные для оценки индивидуального энергопотребления.

Мероприятия по совершенствованию систем отопления представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Мероприятия по совершенствованию систем отопления

Мероприятия	Затраты \$ США, у.е/м <sup>2</sup>	Сбережение, %	Окупаемость, лет
Автоматизация теплового узла	4000	15 – 20%	1,5
Установка надежных ручных регулировочных кранов на каждом нагревательном приборе	10	5 – 7	1,5
Установка автоматических термостатических кранов	40	10	9,3

Из таблицы видно, что наиболее эффективными являются автоматизация теплового узла и установка ручных регуляторов на каждом отопительном приборе, чем обеспечивается наименьший срок окупаемости затрат.

Для обеспечения надежной работы все системы должны проектироваться индивидуально, с предварительным энергетическим обследованием.

В последнее время получили распространение электронные системы регулирования. Одним из удобных, наиболее гибких по своим функциям устройств,

является семейство регуляторов ДИТ-541 и ДИТ—520. Эти устройства выполнены на основе однокристалльных микроЭВМ. Они имеют программируемый календарь с возможностью учета выходных и праздничных дней и гибкое программирование режимов работы. Изменяя степень закрытия клапана, устройство регулирует температуру подаваемого в здание теплоносителя. Постоянство объема циркуляции теплоносителя достигается наличием циркуляционного насоса. Управляется и программируется устройство с помощью инфракрасного пульта ручного управления. Датчики температуры, выполняемые на основе микросхем, позволяют вести опрос любого количества датчиков по трехпроводной линии. С помощью стандартного интерфейса RS 485 можно объединить устройства в сеть и программировать их работу с центральной ЭВМ.

Учитывая, что значительная часть отопительного сезона в Республике Беларусь имеет положительную температуру наружного воздуха, можно утверждать, что автоматическое регулирование расхода теплоносителя позволяет сэкономить не менее 15% тепловой энергии за отопительный сезон. Для зданий, которые потребляют за отопительный сезон 1000 и более Гкал тепловой энергии, при нынешней стоимости энергоресурсов окупаемость программируемых устройств автоматического управления теплоснабжением составляет 2—3 месяца отопительного сезона.

## **2.6. Автономные энергоустановки**

В последнее время широко применяются газовые отопительные приборы для квартир, особняков, офисов, магазинов, мастерских, коммунальных сооружений. Приборы монтируются на стену и подключаются к дымоходу, благодаря чему производится нагрев воды и отопления зданий. Преимущества таких приборов — энергоэкономичность, рентабельность, равномерное отопление, чистота и удобство в эксплуатации, простота в обращении.

Постоянная температура отопительной воды обеспечивается термостатом. Эффективная циркуляция и давление воды с помощью насоса дают возможность применять трубы небольшого диаметра. Тепловая энергия сожженного на горелке газа передается воде, циркулирующей от насоса через

теплообменник и радиаторы, подключенные к нему, а затем передается воздуху в помещение.

В последние годы в Республике Беларусь различными фирмами производится большое количество энергоэкономичных газогенераторных установок, котлоагрегатов, которые предназначены для теплоснабжения зданий и сооружений, получения горячей воды и пара в различных технологических процессах и для бытовых нужд. Основным топливом для них служат отходы деревообработки, мелочь торфяных брикетов, щепа, кора, лигнин и другие твердые горючие материалы. Их преимущество: высокий КПД, низкая стоимость, простота конструкций и обслуживания, а также возможность использования дешевых местных видов топлива и отходов промышленности.

В закрытом акционерном обществе (ЗАО) "Амкодор" (Республика Беларусь) производят эффективные системы отопления, основанные на отоплении мягким инфракрасным излучением, которое, в отличие от конвективного способа обогрева, позволяет снизить на 90% потребление энергоресурсов. Работа систем основана на принципе преобразования теплоты сгорания газа в тепловые лучи без промежуточных теплоносителей (вода, пар). Источниками инфракрасного излучения служат специальные теплоизлучающие трубы, внутри которых циркулируют высокотемпературные газы низкого давления.

Для обогрева садовых домиков и хозяйственных помещений, бытовок, мастерских, складов, теплиц, передвижных торговых точек, приготовления пищи может применяться «чудо—печь». Тепловая мощность 1,8 кВт позволяет нагреть помещение объемом 50 м<sup>3</sup> от 0 до +15°С за 1,5 — 2 часа. Конструкция прибора позволяет ставить его в любое место без дополнительной теплоизоляции. В качестве топлива используется дизельное топливо или керосин. «Чудо—печь» экологически безопасна, не дает копоти, запаха и дыма, так как 95% продуктов горения остается на каталитической сетке и поэтому не требуется вытяжной трубы. Производится в России по немецкой технологии.

## **2.7. Тепловые потери в зданиях и сооружениях**

В холодное время года обязательно отапливаются комнаты, в которых люди живут и работают. Чем холоднее погода, тем больше приходится топить, потому что при похолодании увеличиваются теплопотери через стены, окна и все наружные ограждающие конструкции. Тепло может передаваться разными способами: теплопроводностью. В чистом виде теплопроводность наблюдается только в сплошных твердых телах. Теплота передается непосредственно через материал или от одного материала другому при их соприкосновении (рисунок 2.8).

Высокой теплопроводностью обладают плотные материалы — металл, железобетон, мрамор. Воздух имеет низкую теплопроводность. Поэтому через материалы с большим количеством замкнутых пор, заполненных воздухом, тепло передается плохо, и они могут использоваться как теплоизоляционные (семищелевой кирпич, пенобетон, вспененный полиуретан, пенопласт).

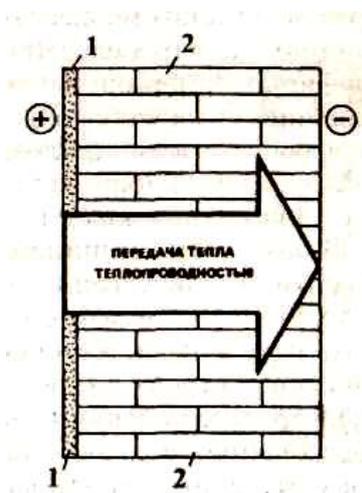


Рисунок 2.8 – Передача тепла через кирпичную стену теплопроводностью:  
1 — кирпичная кладка, 2 — штукатурка

Конвекция характерна для жидких и газообразных сред, где перенос тепла происходит в результате движения молекул. Конвективный теплообмен наблюдается у поверхности стен при наличии температурного перепада между конструкцией и соприкасающимся с ней воздухом. В окнах жилых домов конвективный теплообмен происходит между поверхностями остекления, обращенными внутрь воздушной прослойки. Нагреваясь от внутреннего стекла, теплый воздух поднимается вверх. При соприкосновении с холодным наружным стеклом воздух отдает свое тепло и, охлаждаясь, опускается вниз (рисунок 2.9). Такая циркуляция возду-

ха в воздушной прослойке обуславливает конвективный теплообмен. Чем больше разность температур поверхностей, тем интенсивнее теплообмен между ними.

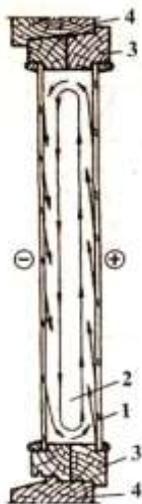


Рисунок 2.9 – Передача тепла конвекцией в межстекольном пространстве оконного блока со спаренным остеклением:

1 — стекло, 2 — воздушная прослойка, 3 — переплет,  
4 — оконная коробка

Излучение происходит в газообразной среде путем передачи тепла с поверхности тела через пространство (в виде энергии электромагнитных волн). Нагретая поверхность радиатора излучает тепло и обогревает помещение. Чем выше температура поверхности отопительного прибора, тем сильнее обогревается помещение (рисунок 2.10).

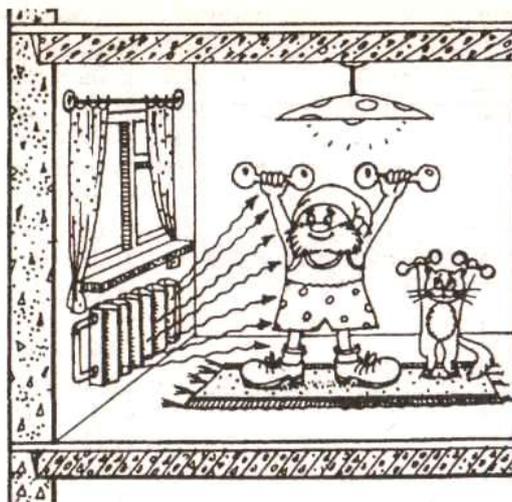


Рисунок 2.10 – Теплообмен излучением между отопительным прибором и человеком

На теплотери через ограждения наибольшее влияние оказывает их спо-

способность передавать теплоту, которая зависит от коэффициента теплопередачи и толщины материала, чем меньше коэффициент теплопередачи и толще стена, тем больше ее термическое сопротивление (передача тепла) и лучше ее теплозащитные свойства (рисунок 2.11).

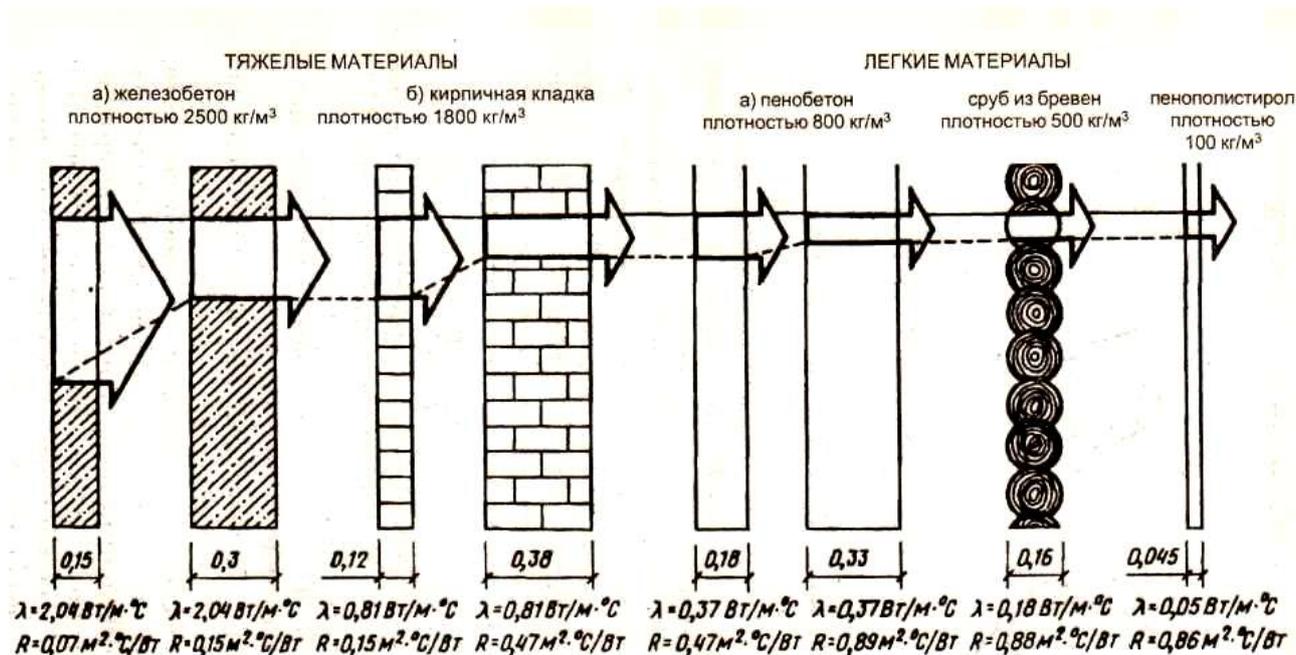


Рисунок 2.11 – Влияние коэффициента теплопроводности и толщины материала на теплозащитные качества наружных ограждений:

а – железобетон плотностью 2500 кг/м<sup>3</sup>; б — кирпичная кладка из обыкновенного глиняного кирпича на цементном растворе плотностью 1800 кг/м<sup>3</sup>, в - пенобетон плотностью 800 кг/м<sup>3</sup>, г — рубленая стена из бревен плотностью 500 кг/м<sup>3</sup>, д — пенополистирол плотностью 100 кг/м<sup>3</sup>.

Кроме того, количество теряемой теплоты зависит от сопротивления теплообмену конвекцией и излучением у поверхности внутренней и наружной стен. Чем интенсивнее происходит теплообмен, тем больше тепла теряется из помещения и передается внутренней поверхности конструкции или отдается поверхностью стены наружу, тем меньше сопротивление теплообмену и хуже теплозащита.

Теплопотери через отдельные наружные элементы дома различены и во многом зависят от теплоизоляционных качеств отдельных конструкций, а также их размеров.

Наибольшая площадь наружных ограждений приходится на наружные стены (рисунке 2.12).

Поэтому их теплозащитные качества во многом определяют условия внутреннего микроклимата помещения. Чем выше сопротивление стены теплопередаче, тем меньший поток тепла через нее проходит и тем меньше теплопотери. В зависимости от конструкции стен дома через них теряется от 35 до 45%.

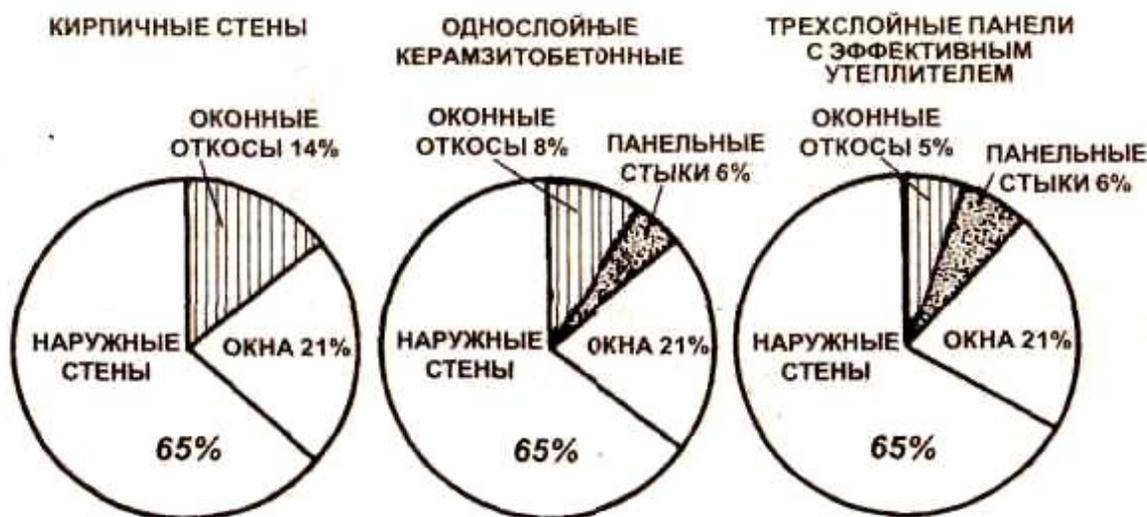


Рисунок 2.12 – Площади различных элементов наружных ограждений и теплопередачи

Передача тепла через стены осуществляется главным образом вследствие теплопроводности. Количество тепла, проходящего через стену, зависит от коэффициента теплопередачи материала  $k$ . Чем он выше, тем больше теплоты проходит через материал и тем хуже его теплозащита (рисунок 2.11). Различные строительные материалы имеют разные коэффициенты теплопередачи. На них влияют различные факторы, в частности, плотность и влажность материала.

Плотный материал имеет больший коэффициент теплопередачи по сравнению с пористым материалом. Увеличение плотности способствует повышению  $k$ . Уменьшение плотности приводит к снижению  $k$ . Это объясняется тем, что поры строительного материала заполнены воздухом, имеющим низкий коэффициент теплопередачи. Чем больше пор в материале, тем меньше его плотность и теплопроводность. Например, у железобетона плотностью  $2500 \text{ кг/м}^3$  коэффициент теплопередачи  $k = 2,04 \text{ Вт/(м}^2\text{-К)}$ , у кладки из обыкновенного глиняного кирпича плотностью  $1800 \text{ кг/м}^3$  —  $k = 0,81 \text{ Вт/(м}^2\text{-К)}$ , у фанеры плот-

ностью  $600 \text{ кг/м}^3$  —  $k = 0,18 \text{ Вт/(м}^2\text{-К)}$ , у плит из полистирольного пенопласта плотностью  $100 \text{ кг/м}^3$  —  $k = 0,05 \text{ Вт/(м}^2\text{-К)}$ .

Коэффициент теплопередачи  $k$  — единица, которая обозначает прохождение теплового потока мощностью  $1 \text{ Вт}$  сквозь элемент строительной конструкции площадью  $1 \text{ м}^2$  при разнице температур наружного воздуха и внутреннего в  $1 \text{ Кельвин}$   $\text{Вт/(м}^2\text{-К)}$ .

Сопротивление теплопередаче  $R_0$  — величина, обратная коэффициенту теплопередачи.

Влажность способствует повышению теплопроводности: сырой материал имеет больший коэффициент теплопередачи и обладает худшими теплозащитными характеристиками по сравнению с сухим. Это вызвано тем, что при увлажнении материала его поры заполняются водой, имеющей высокий коэффициент теплопередачи (приблизительно в  $20$  раз больший, чем воздух). Чем больше влаги впитывает материал, тем выше становится его теплопроводность. Например, при повышении влажности кирпичной стены толщиной  $0,5 \text{ м}$  из обыкновенного глиняного кирпича от нормальной, равной  $2\%$ , до  $8\%$ , ее теплозащита ухудшается более чем на  $30\%$ . И если при температуре внутреннего воздуха  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  и наружного  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  на поверхности сухой стены температура составляет  $14,4 \text{ }^\circ\text{C}$ , то на сырой стене на  $2,7 \text{ }^\circ\text{C}$  ниже и равняется  $11,7 \text{ }^\circ\text{C}$  (рисунок 2.13).

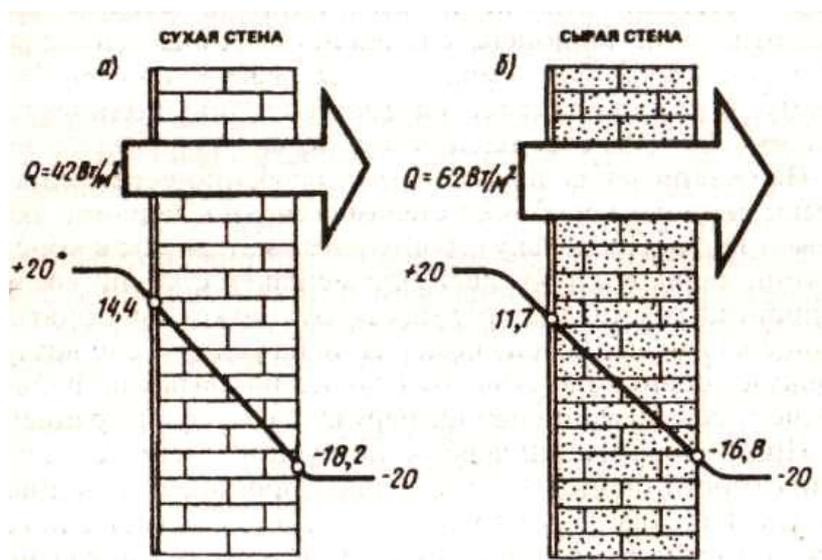


Рисунок 2.13 – Влияние влажности материала на теплозащитные свойства кирпичной стены.

*a* — сухая стена, влажность материала 5%, *б* — сырая стена, влажность материала 15%

Поэтому для теплозащиты домов очень важно, чтобы строительный материал, и в первую очередь утеплитель, был обязательно сухим, а конструкции наружных ограждений были сделаны с таким расчетом, чтобы в них не образовывался конденсат, не скапливалась влага, приводящая к ухудшению теплоизоляционной способности стен, окон, чердачных перекрытий, полов первого этажа.

Таким образом, теплозащитная способность стены, ее сопротивление теплопередаче зависят от интенсивности передачи тепла на трех участках (у внутренней поверхности, в толще ограждения, у наружной поверхности), каждый из которых имеет свое сопротивление. Общее сопротивление теплопередаче представляет собой их сумму (рисунок 2.14).

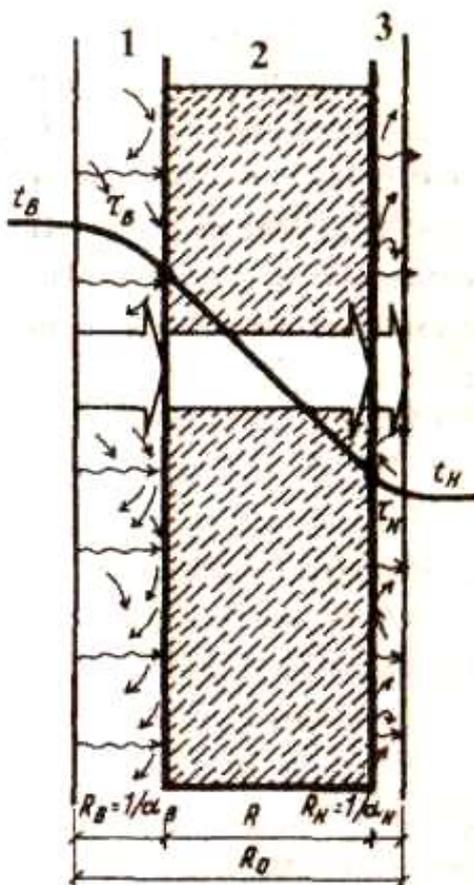


Рисунок 2.14 – Сопротивление теплопередаче стены:

1 — теплообмен у внутренней поверхности стены, 2 — теплопередача через толщу ограждения, 3 — теплообмен у наружной поверхности стены,

$\alpha_B$  — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup> · К),  $a$  — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, Вт/(м<sup>2</sup> · К.)

Оконные проемы в общей площади наружных ограждений составляют значительно меньший процент по сравнению со стенами. Однако они имеют худшую теплозащиту: сопротивление теплопередаче оконного блока с двойным остеклением в 2 — 3 раза меньше, чем у наружных стен. Поэтому через окна теряется значительное количество теплоты: 20 – 30% всех теплотерь дома.

На потери тепла через стены (и особенно через окна и стыки оконных коробок со стенами) сильное влияние оказывает ветер. Поскольку строительные материалы и конструкции являются в большей или меньшей степени воздухопроницаемыми, то через них воздух может проникать с улицы в помещение и из помещения на улицу. Если воздух попадает снаружи внутрь дома, то это называют *инфильтрацией*, если из помещения наружу, то *эксфильтрацией*.

При инфильтрации через конструкцию стены, стыки и неплотности окон в зимний период проникает холодный воздух. Проходя через толщу стены, он вызывает снижение температуры внутри ограждения и на его поверхности, а проникая в комнату, охлаждает внутренний воздух и вызывает дополнительные потери тепла. Наибольшие теплотери при инфильтрации происходят через окна и стыковые соединения оконных блоков со стенами. В таблице 2.3 приведены теплотери через наружные ограждения различных конструкций, включающие участок стены, оконный откос и окно при инфильтрации и без нее.

При эксфильтрации теплый воздух проходит из помещения через наружное ограждение, повышая температуру на его поверхности и в толще и способствуя увеличению теплотерь жилым домом. Помимо этого при эксфильтрации повышается вероятность выпадения конденсата на стене, остеклении, оконных откосах и внутри ограждений.

Из таблицы 2.3 видно, что фильтрация воздуха приводит к увеличению теплотерь через ограждения почти в 2 раза.

Потери тепла через перекрытия первого этажа в большинстве случаев составляют от 3 до 10% общих теплопотерь. При строительстве дома необходимо качественно выполнить теплоизоляцию цокольного перекрытия и обеспечить на поверхности пола температуру не более чем на 2 °С ниже температуры внутреннего воздуха.

Таблица 2.3 – Теплопотери через ограждения при инфильтрации и без нее

Вертикальная неоднородная огражденная конструкция	Температура на внутренней поверхности оконного откоса	Температура через наружное ограждение, Вт/м <sup>2</sup>		
		основной откос	пристенок стены	окно
Керамзитобетонная ( $R_0 = 0,84 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ ) с деревянным оконным блоком с двойным остеклением в спаренных переплетах ( $R_0 = 0,34 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ )	$\frac{10,1}{7,8}$	$\frac{48}{98}$	$\frac{59}{61}$	$\frac{145}{233}$
Трехслойная керамзитобетонная панель толщиной 340 мм с утеплителем из пенополистирольного пенопласта и обрамляющими ребрами из керамзита ( $R_0 = 1,91 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ ) с деревянным оконным блоком с двойным остеклением в спаренных переплетах ( $R_0 = 0,38 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ )	$\frac{13,7}{9,1}$	$\frac{22}{61}$	$\frac{26}{27}$	$\frac{132}{233}$
<i>Примечание:</i> над чертой — без учета инфильтрации, под чертой — с учетом инфильтрации.				

В холодное время года часть тепла теряется через крышу, причем в одноэтажных, двухэтажных домах потери больше, чем в многоэтажных. Они составляют соответственно от 30 до 35% и от 5 до 10%. Поэтому при проектировании и строительстве индивидуальных малоэтажных домов особое внимание должно быть уделено теплоизоляции перекрытия верхнего этажа или чердачного перекрытия. Часто на втором этаже индивидуального двухэтажного дома

устраивают жилые комнаты — мансарды. В них крыша выполняет роль наружного ограждения, защищающего помещение от дождя, ветра, холода. Его хорошие теплоизоляционные качества создают уют и тепловой комфорт для живущих людей, снижают затраты на отопление дома, а в солнечную погоду позволяют защитить комнату от перегрева.

Каждая квартира оборудована системой естественной вытяжной вентиляции. Вентиляционные отверстия расположены в ванной комнате, в туалете и на кухне на внутренних стенах, в верхней их части, и прикрыты металлическими или пластмассовыми решетками. Это — вытяжные отверстия. Через них вытяжной воздух из помещений удаляется на улицу. По законам физики работа этой системы зависит от разности температуры в помещении и на улице. Чем ниже температура воздуха на улице, тем лучше она работает и больше теплого воздуха удаляется. На смену ему, благодаря создаваемому вытяжной вентиляцией разрежению в квартире через щели в окнах, открытые форточки, двери, поступает холодный наружный воздух. Причем в холодную пору года действительный объем вентиляции зачастую намного превышает требуемую норму, приводя к увеличению затрат на отопление, так как через систему вентиляции теплотери составляют до 15%.

Таким образом, типовая структура расхода тепловой энергии зданием выглядит следующим образом:

- ▶ наружные стены: 35 — 45%;
- ▶ окна: 20 — 30%;
- ▶ вентиляция — 15%;
- ▶ горячая вода — 10%;
- ▶ крыша, пол 5 — 10%;
- ▶ трубопровод, арматура — 2%.

## **2.8. Тепловая изоляция зданий и сооружений**

В холодную, дождливую, ветреную погоду мы всегда стремимся вернуться в теплый дом, где можно, сняв пальто, почувствовать себя в тепле и уюте.

Наружные стены, окна, крыша защищают наш дом от низких температур, сильного ветра, осадков в виде дождя и снега и других атмосферных воздействий. При этом они препятствуют прониканию тепла из внутреннего помещения наружу вследствие своего сопротивления теплопередаче. Все строительные конструкции, ограждающие и защищающие внутренние помещения от атмосферных воздействий, называются ограждающими. А конструкции, воспринимающие нагрузку и обеспечивающие прочность здания, называют несущими. Это колонны, балки, перекрытия, стропила. И, чтобы сделать дом теплым, необходимо правильно выбрать материал, учитывая его теплозащитные свойства именно для ограждающих конструкций.

Качество теплоизоляции является важнейшим параметром энергопотребления здания. Коэффициент теплопередачи должен находиться в пределах от 0,3 Вт/(м<sup>2</sup>-К) до 0,2 Вт/(м<sup>2</sup>-К). Следует запомнить, что снижение потерь тепла от 7 до 9% позволяет увеличить температуру в помещении на 1 °С.

В строительной практике применяются разнообразные теплоизоляционные материалы. К основным из них относятся:

- ▶ легкие бетоны (керамзитобетон, перлитобетон, шлакобетон, газобетон, пенобетон и др.);
- ▶ «теплые» растворы (цементно-перлитовый, гипсоперлитовый, поризованный и др.);
- ▶ изделия из дерева и других органических материалов (плиты древесностружечные, фибролитовые, камышитовые и др.);
- ▶ минераловатные и стекловолоконистые материалы (минераловатные маты, минераловатные плиты мягкие, полужесткие, жесткие и повышенной жесткости на различных связующих, плиты из стекловолокна и др.);
- ▶ полимерные материалы (пенополистирол, пенопласт, пенополиуретан, перлитопластобетон и др.);
- ▶ пеностекло или газостекло, а также другие композиционные материалы и изделия из них.

Использование конкретного материала для теплозащиты стен зависит от це-

лого ряда факторов, определяющими из которых являются: долговечность; требуемая толщина слоя теплоизоляции; возможное место расположения материала на стене; масса теплоизоляционной конструкции; стоимость материала; трудоемкость устройства; возможность поставки материала на строительную площадку.

В современном строительстве стеновые конструкции для облегчения делают многослойными. Утеплитель, как правило, располагают между слоями из бетона или кирпичной кладки. При утеплении уже возведенных зданий утеплитель может крепиться на наружной или внутренней стенах. Предпочтительней изоляцию проводить снаружи (рисунки 2.15, 2.16)), так как в противном случае сокращается полезная площадь помещений, возникает необходимость переноса электрооборудования, имеется вероятность выпадения конденсата и образования плесени, требуется выселение жильцов на время ремонта. Внутреннюю теплоизоляцию стен обычно проводят для зданий, являющихся памятниками архитектуры. Разработаны и внедрены различные технологии теплоизоляции существующих зданий. Стеновые конструкции утепляют плитными материалами, закрепляемыми на стенах, поверх которых наносится штукатурка или другие защитные влагостойкие материалы. Одним из наиболее распространенных утеплителей является минеральная вата. Утепление стен повышает комфортные условия в помещении. Температура внутренней поверхности стены увеличивается с 13 - 14 до 18 - 19 °С, что ведет к уменьшению излучения. При этом относительная влажность в стеновой конструкции уменьшается с 82 до 36%, снижая риск конденсации и разрушения. Система утепления наружных стен позволяет снизить потери тепла до 40%.

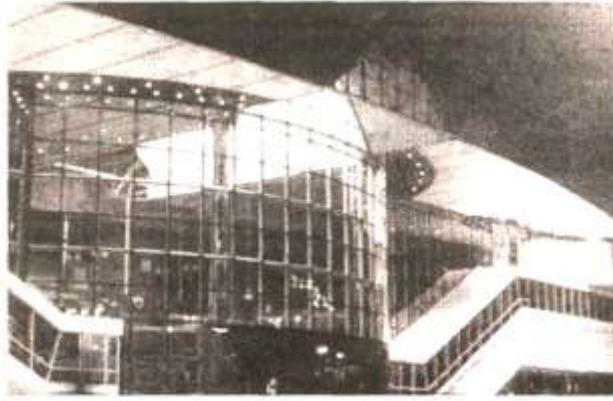


Рисунок 2.15 – Новое здание железнодорожного вокзала, утепленное «мокрым легким» способом

Для теплоизоляции перекрытий применяют как плитные, так и насыпные материалы. Для утепления крыш весьма удобными являются рулонные материалы, укладываемые между стропилами. При утеплении крыш и перекрытий дополнительно используются парозащитные пленки, которые препятствуют выпадению конденсата. Эффективность изоляции крыш и чердачных перекрытий выше у малоэтажных зданий, чем у многоэтажных. Для одно-двухэтажного коттеджа потери уменьшаются на 20%, а для девятиэтажного дома — на 3,5%.



Рисунок 2.16 – Утепление зданий «легким мокрым» способом

Наибольшие потери тепла сосредоточены в мостиках холода. Различают геометрически обусловленные мостики холода и обусловленные конструкцией и материалами. В первом случае потери тепла возрастают за счет увеличения наружных поверхностей теплообмена в углах зданий, при наличии выступов. Во втором – за счет отличий теплотехнических свойств материалов стен и опор перекрытия перемычек. Например, кирпичная кладка и железобетон имеют коэффици-

енты теплопроводности 0,7 и 1,5 Вт/(м<sup>2</sup> · К). Специальные приемы теплоизоляции мостиков холода позволяют снизить теплотери приблизительно в два раза.

Значительное количество тепла, как мы говорили выше, теряется через окна. В домах старой постройки, значение коэффициента теплопередачи окон может достигать 3,5 Вт/(м<sup>2</sup>·К). При этом потери составляют почти 50% от тепла, потребляемого на отопление.

В идеале заполнения оконных проемов должны обладать такими же характеристиками по защите от шума, потери тепла и прочности, как и стеновые ограждающие конструкции, обеспечивая при этом необходимую освещенность, комфортное проветривание, простоту и удобство в эксплуатации.

Сопротивление теплопередаче применяемых окон должно быть не ниже установленного показателя  $R_0 > 0,6$  (м<sup>2</sup> К/Вт). Это можно достичь следующими средствами:

► установка дополнительного остекления или переплета в оконный проем (рисунок 2.17);

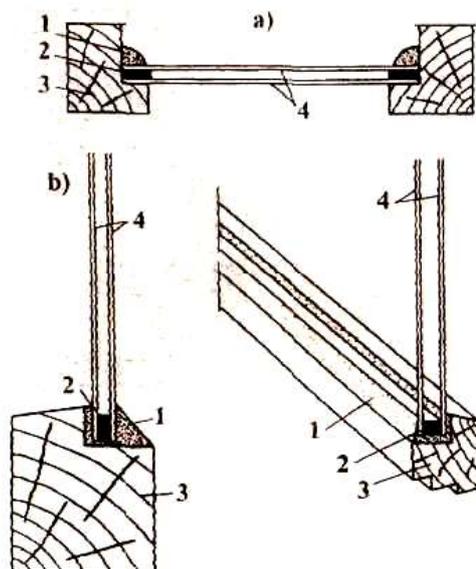


Рисунок 2.17 – Установка дополнительного стекла на картонную или резиновую прокладку:

*a* — вид в плане, *б* — вид в разрезе, 1 — замазка 2 — резиновая или картонная прокладка, обмазанная краской, 3 — переплет, 4 — скрепленные между собой стекла

► установка металлизированной пленки (рисунок 2.18);



Рисунок 2.18 – Установка металлизированной пленки:

1 — стекло, покрытое металлизированной пленкой, 2 — стекло из пленки.

► устройство с наружной стороны окна экрана, выполненного из непрозрачных пластин (рисунок 2.19);

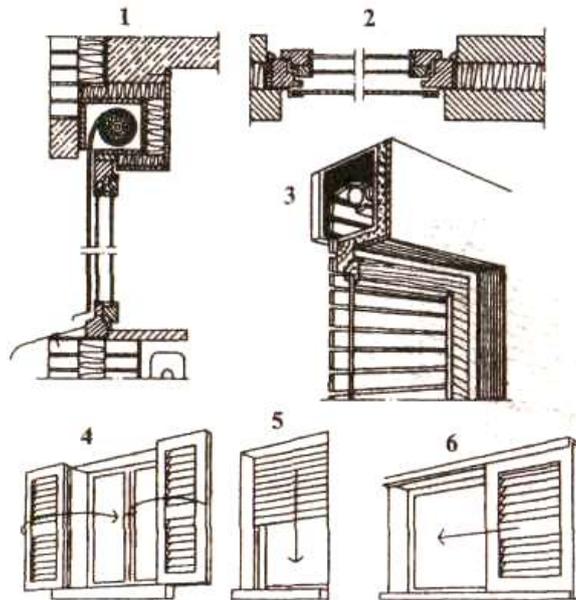


Рисунок 2.19 – Окна со свертывающимися экранами:

1 — вертикальный разрез, 2 — горизонтальный разрез, 3 — аксонометрия,  
4 — окна с закрывающимися ставнями, 5 — окна с опускающимися жалюзи,  
6 — окна с задвигающимися ставнями

► установка штор, жалюзи-экранов с внутренней стороны помещения (рисунок 2.20);

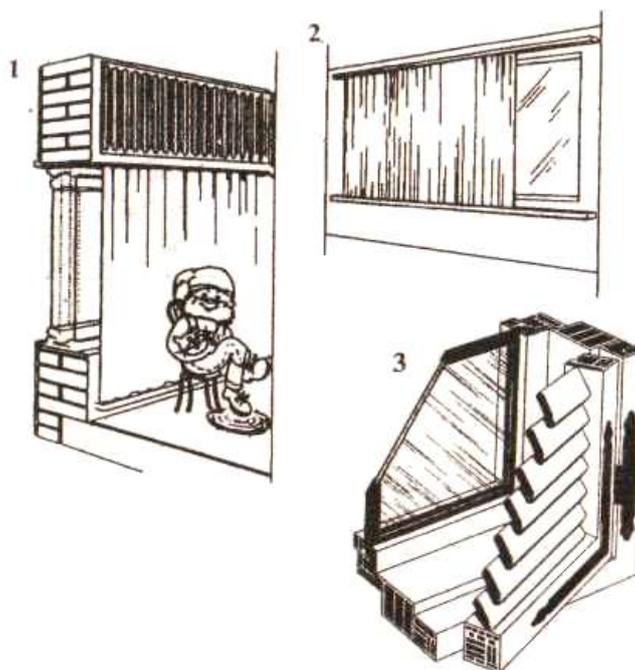


Рисунок 2.20 – Установка штор (1, 2) и жалюзи (3) с внутренней стороны помещения

► размещение различных экранов в межстекольном пространстве (рисунки 2.21, 2.22).

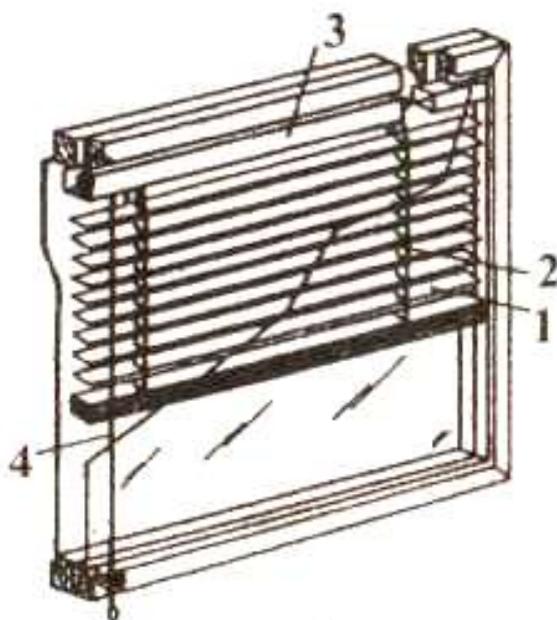


Рисунок 2.21 – Межстекольная штора-жалюзи:

1 — алюминиевая пластина, 2 — гибкая связь, 3 — короб, 4 — шнур

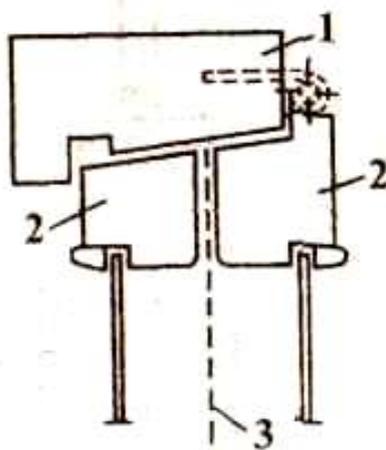


Рисунок 2.22 – Установка металлизированной пленки в межстекольном пространстве:

1 — оконная коробка, 2 — переплет, 3 — теплоотражающая пленка

В таблице 2.4 приведены данные по сопротивлению теплопередаче с использованием различных вариантов конструктивных решений при заполнении оконных проемов.

Таблица 2.4 – Сопротивление теплопередаче различных вариантов конструктивных решений при заполнении оконных проемов

Конструкции	Общее сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$
Одинарное стекло	0,17
Двойное стекло	0,38
Тройное стекло	0,62
Двойное стекло + штора	0,46
Двойное стекло + две шторы	0,55
Двойное стекло + штора, покрытая алюминиевым лаком	0,64
Двойное стекло + деревянные ставни	0,52
Тройное стекло + штора	0,70
Тройное стекло + две шторы	0,73
Тройное стекло + штора, покрытая алюминиевым лаком	0,88
Тройное стекло + деревянные ставни	0,76
Тройное стекло + ставни покрытые алюминиевым лаком	0,83

Один из путей снижения затрат тепловой энергии - применение вентиляруемых окон, которые позволяют повысить температуру внутренней поверхности остекления и дать экономию энергии в результате обеспечения жилых до-

мов свежим подогретым воздухом, необходимым для вентиляции помещения. В окнах такой конструкции дела ют дополнительные отверстия в нижней части наружного и в верхней части внутреннего переплетов.

Улучшить условия теплового комфорта и повысить температуру внутренней поверхности окна можно за счет обдува остекления теплым воздухом. Наиболее простым способом создания восходящих струй теплого воздуха является просверливание отверстий в подоконной доске, находящейся над отопительным прибором. Нагретый воздух, поднимаясь вверх, позволит не только повысить температуру остекления, но и уменьшить влияние инфильтрующего через окно холодного воздуха (рисунок 2.23).

Поверхность стены, находящуюся под окном за отопительным прибором, рекомендуется утеплить, а поверх теплоизоляции устроить экран из блестящей алюминиевой фольги, отражающий излучаемое батареей тепло внутрь комнаты.

Сейчас для заполнения оконных проемов широко применяются стеклопакеты. Стеклопакет представляет собой изделие, состоящее из двух или более слоев стекла, соединенных между собой по контурам таким образом, что между ними образуются герметически замкнутые полости, заполненные обезвоженным воздухом или другим газом (рисунок 2.24).

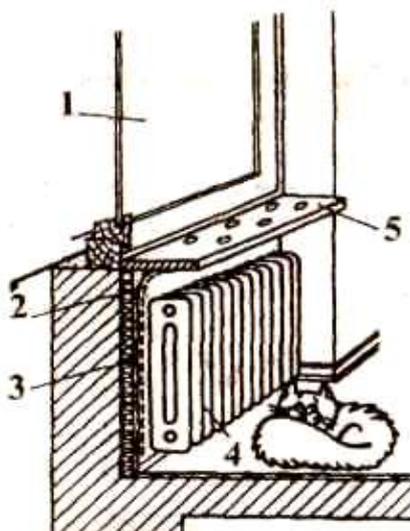


Рисунок 2.23 – Утепление радиаторной стенки с установкой отражающего экрана из алюминиевой фольги и обдув стекла поднимающимся от радиатора теплым воздухом через отверстие в подоконнике:

1 — стекло, 2 — алюминиевая фольга, 3 — утеплитель, 4 — отопительный прибор, 5 — отверстия в подоконник

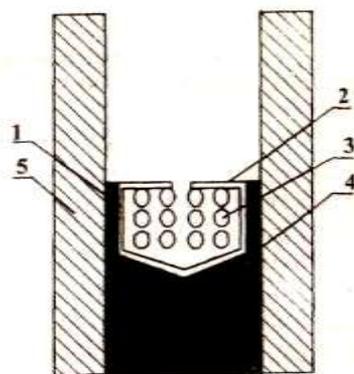


Рисунок 2.24 – Принципиальная схема конструкции традиционного изолирующего стеклопакета:

1 — внутренний шов, 2 — средник, 3 — осушитель, 4 — наружный шов, 5 — стекло

Наибольший эффект достигается при использовании в стеклопакете одного из стекол с селективным покрытием, способным отражать тепловые волны внутрь помещения и одновременно пропускать снаружи солнечное тепловое излучение. Только за счет применения в стеклопакете такого стекла, а также введения в межстекольное пространство более плотного, чем воздух, газа, например аргона, криптона или ксенона, можно добиться величины термического сопротивления, приближающейся к единице. Исследования показывают, что конструктивные решения окон, и прежде всего их стеклянной части, смогут способствовать достижению термического сопротивления теплопередаче, равного  $1,8 — 2,0 \text{ м}^2\text{-К/Вт}$ .

Для того чтобы снизить объем вентиляции зимой, рекомендуется частично прикрывать вытяжные вентиляционные отверстия. Поскольку они оборудованы нерегулируемыми решетками, прикрыть их можно плотной бумагой или картоном. Вентиляционное отверстие, расположенное в ванной комнате, лучше всего совсем закрыть. Хозяйки могут возразить: "А как же быть с бельем после стирки? Будет ли оно сохнуть?" Да, будет, так как зимой воздух в помещениях очень сухой. В это время даже необходимо его увлажнять. Эту роль и будет выполнять высушиваемое в ванной белье. При открытом вентиляционном отверстии влага сразу же из ванной комнаты удалялась на улицу, а при закрытом

она будет поступать в комнаты, увлажняя воздух. Это благоприятно скажется на микроклимате квартиры и самочувствии жильцов. Дело в том, что влажный воздух дает ощущение теплоты, а сухой — холода. Поэтому зимой увлажнение воздуха в помещении улучшает комфортное состояние людей.

Таким образом, существующий потенциал энергосбережения в жилищно-бытовом секторе может быть реализован за короткое время самими жильцами с помощью простых, недорогих и эффективных способов.

## **2.9 Пофасадное регулирование теплового режима зданий**

Наружные ограждения конструкции – стены, окна, крыши – защищают помещения жилого дома от влияния непогоды, ветра, холода. Чем лучше теплоизоляция, тем меньшее влияние оказывают низкие температуры на внутренний микроклимат. Вместе с тем в жаркое время года ограждения с хорошими теплозащитными качествами предохраняют помещения от перегрева. В летний, ясный день многие стараются уйти подальше от нагретого солнечными лучами дома, спрятаться в прохладе деревьев и не задумываться над тем, как можно было бы использовать тепло солнечных лучей.

Солнце постоянно излучает в окружающее пространство энергию. Примерно 9% излучения приходится на ультрафиолетовые лучи, 44% – на видимые, которые нам светят, и 47% — на инфракрасные, которые нас греют. Проходя через атмосферу, интенсивность солнечного излучения резко уменьшается и на поверхность земли падает энергия, состоящая из 1% ультрафиолетовых, лучей, 45% видимых и 54% инфракрасных лучей.

Тепловой пункт с пофасадным регулированием обеспечивает корректировку теплового режима отопления фасада здания в зависимости от отклонения температуры воздуха помещения, изменения температуры наружного воздуха, величины солнечной радиации на наружную стену и влияния инфильтрации. За счет регулирования повышаются комфортные условия в отапливаемых помещениях и обеспечивается сокращение расхода теплоты на отопление от 4 до 15%.

Регулирование теплоотдачи отопительных приборов на фасадах производится за счет изменения количества теплоносителя. Для этого используется регулятор температуры (тип РГК—2216—ДН) имеющий датчик сопротивления. Датчики внутренней температуры размещают на каждом фасаде. Их устанавливают на первом ( $t_B^H$ , °С) и на верхнем  $t_B^B$ , °С этажах на внутренней стенке, на высоте 1,5 м от пола. Датчики температуры наружного воздуха ( $t_n$ , °С), на каждом фасаде устанавливаются на высоте не менее 2 м от земли с защитным кожухом от солнечной радиации. Датчики  $t_B^H$  и  $t_B^B$  регулируют дефицит или избыток теплоты и дают команду регуляторам температуры на каждой фазе. При этом происходит открытие или закрытие прохода и соответственно перераспределение расходов теплоносителя в зависимости от потребности в теплоте обоих фасадов. Общий расход теплоносителя на вводе остается постоянным, что обеспечивает гидравлическую и тепловую устойчивость системы отопления и тепловых сетей.

### **Раздел III. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ**

#### **Глава 1. Общие вопросы электробезопасности**

##### **1.1. Действие электрического тока на человека**

Переменный ток частотой 50 Гц и силой примерно 100 мА, протекая через тело человека от руки к руке или от руки к ногам, может парализовать сердце, если продолжительность воздействия его на человека не менее 3 с. Продолжительность воздействия тока имеет значение потому, что опасность паралича сердца зависит от совпадения момента прохождения тока с той фазой в работе сердца, когда оно оказывается особенно чувствительным к току. Если продолжительность протекания тока превышает продолжительность одного цикла, ток обязательно совпадает с опасной фазой.

**Фибрилляция**, то есть беспорядочное подергивание отдельных волокон сердечной мышцы вместо одновременного их сокращения и расслабления, — наиболее опасное последствие протекания электрического тока через тело. Для восстановления работы фибриллирующего сердца необходимо своевременно ис-

пользовать специальный аппарат (**дефибриллятор**), который может применять только врач. На фибрилляцию приходится 1/5 всех случаев паралича сердца при поражении электрическим током, а в 4/5 случаев сердце просто останавливается (асистола), и его работа может быть восстановлена путем массажа вручную. Ток силой в несколько ампер не вызывает фибрилляции, так как пока он течет, все волокна сердечной мышцы сжаты, но при этом возникает тепловое разрушение тканей тела и иногда паралич дыхания из-за поражения нервной системы. Дыхание может оказаться парализованным уже при значении тока 50...80 мА, если он протекает долго. При силе тока 20...25 мА, протекающего между рукой и ногами, пальцы судорожно сжимают взятый в руку предмет, оказавшийся под напряжением, а мышцы предплечья парализуются и человек не может освободиться от действия тока. У многих наступает паралич голосовых связок, и они не могут позвать на помощь. Чем дольше протекает ток, тем меньше становится электрическое сопротивление тела, и ток возрастает. Может наступить смерть.

Наибольшее значение тока, при котором человек еще может самостоятельно оторвать руки от предмета, находящегося под напряжением, называют **максимальным отпускающим током**, а несколько большее значение можно считать **пороговым неотпускающим током**. Для мужчин максимальные отпускающие токи равны 9...23 мА, для женщин – 6... 16 мА.

**Ток силой 10 мА часто считают безопасным** для подавляющего большинства взрослых людей, однако установлено, что из всех случаев смертельных поражений электричеством 42% произошли при силе тока до 10 мА. **Наименьшее значение тока, при котором наступила смерть, 0,8 мА.** в то время как пороговый осязаемый ток при различных обстоятельствах его протекания 0,2...1,3 мА.

**Возможность гибели людей** от едва осязаемых токов объясняется тем, что исход электропоражения зависит не только от действия тока непосредственно на сердце или органы дыхания, но и от его действия на нервную систему, обладающую разнообразными индивидуальными особенностями.

стями (возможна смерть от нервного шока). Имеют значение путь тока через тело и особенно места его входа и выхода. Известны случаи смертельных поражений электрическим током, когда ток совсем не проходил через сердце, а шел, например, через пальцы на одной руке или через две точки на одной голени. Это объясняется воздействием тока на центральную нервную систему, когда он проходит через особо уязвимые точки на теле человека, которые используют при лечении иглоукалыванием.

*Ток, проходящий через тело человека*, зависит от его сопротивления, а сопротивление — от приложенного к телу напряжения. При низких значениях напряжения сопротивление почти целиком зависит от состояния кожи, поверхностный слой которой можно рассматривать как тонкий и несовершенный диэлектрик, а мышцы и кровь — как проводник. В зависимости от целостности и состояния кожи, а также пути тока через тело сопротивление может составлять приблизительно от 100000 (при очень малом напряжении) до 500 Ом. Сопротивление кожи зависит от площади и плотности контакта, а также от силы тока и продолжительности его действия. Чем они больше, тем меньше сопротивление кожи (с увеличением длительности протекания тока увеличиваются нагрев кожи, потовыделение, в ней возникают электролитические изменения). Сопротивление кожи зависит от напряжения, потому что уже при напряжении 10...42 В начинается пробой ее верхнего рогового слоя. При напряжении 127... 220 В и выше кожа уже почти не влияет на сопротивление тела, но, прикасаясь рукой к фазному проводу в сети напряжением 220 В, человек оказывается под воздействием только части этого напряжения, другая часть теряется на сопротивление обуви, полов. В расчетах принимают сопротивление тела равным 850... 1000 Ом при напряжении на теле 25...50 В и выше и 3...6 кОм при 12...20 В.

Известны случаи, когда переменное напряжение 12 В вызывало смерть, правда, довольно редко и при особо неблагоприятных условиях. Наиболее распространенные способы защиты человека от поражения электрическим током — зазем-

ление и зануление, но они не исключают протекания тока через тело, а лишь снижают его значение или уменьшают время протекания, т. е. только понижают вероятность серьезного поражения электричеством.

Для проектирования технических способов и средств защиты людей от поражения током установлены предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека (таблица 3. 1).

Электрический ток может вызывать также ожоги, на которые приходится не менее  $2/3$  *всех не смертельных электротравм, электрические знаки и электрометаллизацию кожи.*

*Электрический знак* представляет собой припухлость кожи в виде мозоли желтоватого цвета с краями, очерченными белой или серой каймой. Воспалений или нагноений при этом не бывает. Электрорознаки, обусловленные химическим и механическим действием тока и возникающие при плотном контакте тела с электродом, совершенно безболезненны.

Таблица 3.1 – Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и тока, проходящего через человека от руки к руке или ногам (по ГОСТ 12.1.038 – 82 с изменением, введенным 01.07.88)

Характеристика тока	Предельно допустимые значения при продолжительности воздействия t,с					
	в аварийных режимах					в нормальном режиме до 10 с/сут*
	0,03	0,1	0,5	1,0	1...5	
<i>В бытовых электроустановках напряжением до 1000 В (масса тела человека от 15 кг)</i>						
Переменный, 50 гЦ						
напряжение, В	220	200	50	25	12	2,0
сила тока, мА	220	200	50	25	2,0	0,3
<i>В электроустановках с заземленной нейтралью напряжением выше 1000 В</i>						
Переменный, 50 гЦ						
напряжение, В	500	500	200	100	65	0,5
<i>В остальных производственных электроустановках</i>						

Переменный, 50 гЦ напряжение, В сила тока, мА	550	340	105	60	20	2,0
	650	400	125	50	6,0	0,3
Переменный, 400 гЦ напряжение, В сила тока, мА	650	500	200	100	36	3,0
	650	500	200	100	6,0	0,4
Постоянный, напряжение, В сила тока, мА	650	500	250	200	40	8,0
	650	500	250	200	15	1,0
*При температуре воздуха на рабочем месте выше 25 °С и относительной влажности более 75% приведенные в последней графе значения следует умножить в 3 раза						

*Электрометаллизация* заключается в пропитывании кожи частицами электрода, расплавляющегося под действием тока. Последствия электротравм и электрометаллизации зависят от площади пораженной поверхности тела.

## 1.2. Классификация электроустановок и помещений по степени опасности поражения в них электрическим током

*Требования безопасности разработаны с учетом вероятности и возможной тяжести электропоражения.* Поскольку сопротивление тела человека непостоянно, трудно оценивать условия безопасности по току, который может проходить через тело человека при электропоражении. Поэтому электроустановки классифицируют по напряжению. Раньше различали установки высокого и низкого напряжения, т. е. установки, в которых напряжение между любым из проводов и землей может в течение длительного периода превышать 250 В, и установки, где этого нет. Однако при напряжении 220 В случаи со смертельным исходом бывают чаще, так как эти установки наиболее распространены и их используют лица, не имеющие электротехнических знаний. Кроме того, термин «*низкое напряжение*» многие понимают как «*безопасное напряжение*» и пренебрегают требованиями безопасности. Поэтому теперь различают установки с номинальным напряжением до 1000 В и выше. Для этих групп установок требования безопасности различны и

зависят от конкретных напряжений. Применяют, например, термин «*малое*» (или «*сверхнизкое*») напряжение». Это напряжение до 42 В в соответствии с ПУЭ или до 50 В по ГОСТ 30331.3—95.

***Безопасность обслуживания электрооборудования зависит от характера среды, в которой оно работает.*** Например, жара и влажность способствуют как быстрому снижению сопротивления изоляции, так и снижению сопротивления кожи человека. По степени опасности поражения электрическим током помещения подразделяют на три класса.

***Помещения без повышенной опасности*** не имеют признаков помещений двух следующих классов.

***Помещения с повышенной опасностью:*** сырые, т. е. с относительной влажностью воздуха, длительно превышающей 75 %; с проводящей пылью, выделяющейся по условиям производства в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин и аппаратов и ухудшать их изоляцию или охлаждение; с токопроводящими полами (земляные, сырые деревянные); жаркие (температура выше 35°С постоянно или периодически – более 1 сут.); с возможностью одновременного прикосновения человека к металлическим корпусам электрооборудования с одной стороны и к соединенным с землей металлоконструкциям здания или механизмам – с другой.

***Помещения особо опасные:*** особо сырые (относительная влажность воздуха близка к 100 %, при этом потолок, стены и все предметы покрыты влагой); с химически активными парами, газами или плесенью, разрушающими изоляцию; имеющие одновременно два и более признаков, характерных для помещений с повышенной опасностью.

К помещениям первого из этих классов относят, например, учебные лаборатории при условии, что электрическое оборудование установлено достаточно далеко от радиаторов, труб отопления, водопровода. Ко второму классу можно отнести, например, склады с земляными полами, а к третьему – теплицы, бани, коровники.

Согласно ГОСТ 12.1.013 – 78 «Электробезопасность в строительстве» различают не помещения, а условия повышенной или особой опасности, которые мо-

гут быть вне помещений. Жаркими считают не только условия при температуре более 35°С длительно, но и более 40 С кратковременно. К особо сырým условиям относят такие, при которых на рабочее место могут попадать снег, дождь.

Помещения с электроустановками различают еще и по доступности электрооборудования для неквалифицированного в области электробезопасности персонала. Помещения или их части (огороженные, например, сетками), доступные только для квалифицированного электротехнического персонала, называют *электропомещениями*.

### **1.3. Требования безопасности к персоналу, обслуживающему электроустановки**

Все лица, занятые на обслуживании действующих электроустановок высокого и низкого напряжения, должны быть здоровы, не иметь увечий и болезней, препятствующих физическому труду и повышающих вероятность поражения током в электроустановках или его тяжелого исхода. Это некоторые болезни зрения, слуха, сердца, почек, кожи, хронический алкоголизм, наркомания и др. Электрики должны проходить медицинский осмотр при поступлении на работу и затем раз в 2 года, а если они должны работать на высоте, то раз в год.

*В зависимости от квалификации все лица, обслуживающие действующие электроустановки, делятся на пять групп*, которые не совпадают с рабочими разрядами. В соответствии с Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей лицам, относящимся к группам I...IV, должно быть не менее **18 лет**. Только практиканты вузов, техникумов, профессионально – технических училищ, колледжей могут работать с 17 лет. Лиц, не достигших 18 лет, не допускают к монтажу кабельных муфт, работам без снятия высокого напряжения и верховым на ЛЭП при высоте более 3 м до ступней ног, а также к электроизоляционным при использовании эпоксидно-фенольных смол и лаков.

*К группе I* относят лиц, проходящих инструктаж при поступлении на работу и затем периодически, не реже одного раза в квартал, связанных с обслуживанием электроустановок, но не владеющих электротехническими знаниями. Они должны иметь лишь элементарное представление об опасности электриче-

ского тока и мерах безопасности в электроустановках, а также практически ознакомиться с приемами по оказанию первой помощи пострадавшим. К группе I относятся ученики электромонтеров, уборщицы в электроустановках, водители автокранов, операторы машинного доения коров, лица, работающие с электрифицированным инструментом, строительные рабочие. Группу I им присваивает ответственный за электрохозяйство или по его поручению лицо с группой III после инструктажа и проверки знания безопасных методов работы. Присвоение группы фиксируют в журнале с подписями проверяющего знания и проверяемого. **Выдавать удостоверения не требуется.**

**К группе II** (и выше) относят лиц, ежегодно проходящих проверку знания правил безопасности. К этим лицам предъявляют следующие требования:

▶ стаж их работы в данной установке должен составлять не менее месяца, (а для прошедших обучение по программе, рассчитанной на 72 ч, и практикантов профессионально-технических училищ, техникумов, колледжей и вузов стаж не нормирую);

▶ эти лица должны быть ознакомлены с электроустановками, отчетливо представлять себе опасности электротока, им необходимо знать основные меры предосторожности при работе в электроустановках, приобрести практические навыки оказания первой помощи на манекене-тренажере. Группу II присваивают электромонтерам, уборщицам в установках напряжением выше 1000 В, такелажникам при обслуживании подстанций.

**К группе III** относят лиц, к которым предъявляют следующие требования:

▶ стаж работы с группой II для различных категорий персонала не менее 1...6 месяцев (для практикантов вузов и техникумов – не менее 3 мес), причем для работающих в установках напряжением выше 1000 В стаж учитывают только по этим установкам (также и для последующих групп); им необходимо знать устройство и Правила эксплуатации электроустановок потребителей, общие правила техники безопасности, в частности правила допуска к работам в электроустановке, а также специальные правила техники безопасности по тем видам работ, которые входят в их обязанности, уметь обеспечить безопасное

проведение работ и надзор за безопасностью работающих; знать правила оказания первой помощи и уметь оказывать ее практически. *Эту группу присваивают оперативному персоналу и электромонтерам.*

*К группе IV* относят лиц со стажем работы в электроустановках не менее 2...6 мес с группой III (для окончивших вуз или техникум – 2 месяцев). Они должны знать кроме указанного для предыдущих групп электротехнику по программе специализированного профтехучилища:

- ▶ иметь полное представление об опасностях при работе в электроустановках; знать правила техники безопасности, правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках;

- ▶ знать установки так, чтобы свободно разбираться, какие именно элементы должны быть отключены для выполнения работы, уметь находить их в установке и проверять выполнение мер безопасности, а также уметь обучать персонал правилам безопасности. *В группу IV входят старшие электромонтеры, оперативный персонал электростанций, начинающие инженеры и техники-электрики.*

*К группе V* относят лиц, имеющих стаж работы в электроустановках не менее 3...24 месяцев с группой IV (для лиц с законченным высшим или средним электротехническим образованием стаж не менее 3 мес), твердо знающих правила техники безопасности и имеющих ясное представление о том, чем вызвано требование того или иного пункта;

- ▶ умеющих организовать безопасное проведение работ в установке напряжением как до 1000 В, так и выше;

- ▶ твердо знающих правила оказания первой помощи и умеющих практически ее оказывать;

- ▶ знающих схемы и оборудование своего участка работы. *Эту группу присваивают старшим монтерам, мастерам, техникам, инженерам.*

Знания правил технической эксплуатации электроустановок и техники безопасности при их обслуживании проверяют ежегодно у персонала, обслуживающего действующие электроустановки или выполняющего в них наладочные, электромонтажные и ремонтные работы или испытания, а также улиц, ор-

ганизирующих эти работы или оформляющих наряды на них. Инженерно-технические работники, не относящиеся к перечисленному персоналу, проходят проверку знаний раз в 3 года. Результаты успешной проверки отмечают в удостоверении, где указывают присвоенную владельцу группу и дату проверки.

## **Глава 2. Защита от поражения током из – за прикосновения к токоведущим частям под напряжением**

### **2.1. Изоляция проводов и режим работы нейтральной точки сети как факторы электробезопасности**

Электрическая изоляция токоведущих частей электроустановок от частей, находящихся под иным потенциалом, в том числе от земли, необходима не только для нормальной работы установки, но и для безопасности людей. Изоляция проводов и кабелей предотвращает прикосновение к их токоведущим жилам. Кроме того, в электрической сети, питающейся от генератора или трансформатора с изолированной от земли обмоткой, через человека, прикоснувшегося к одной из токоведущих жил, пойдет ток тем меньший, чем лучше изоляция двух других жил от земли.

Рассмотрим рисунок 3.1.

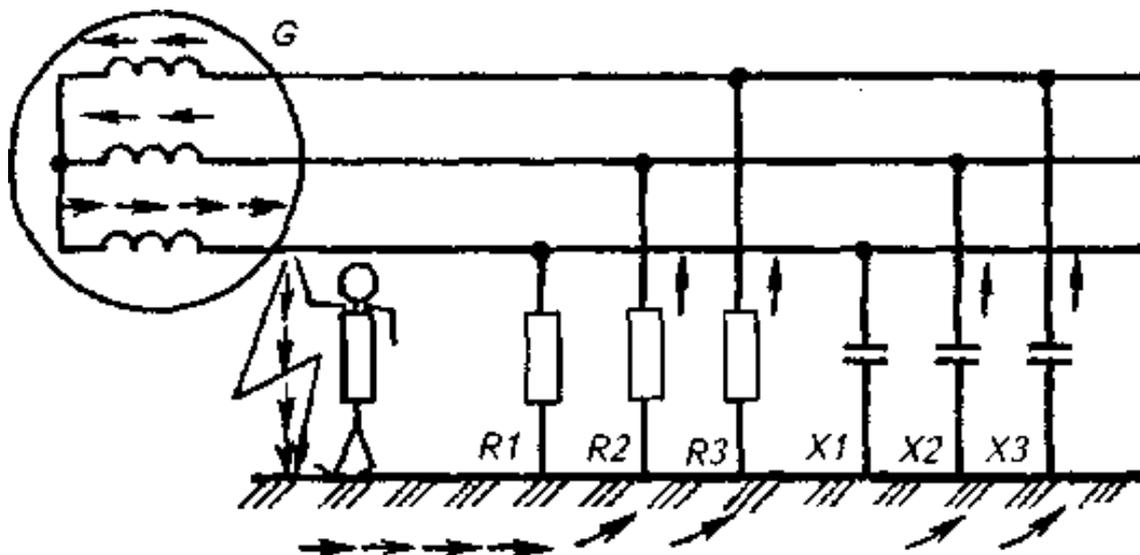


Рисунок 3.1 – Схема прикосновения к фазному проводнику в сети с изолированной нейтралью

Изоляция каждого провода относительно земли имеет электрическое сопротивление хотя и большого, но конечного значения, так что через изоляцию и землю всегда протекает некоторый весьма малый ток, называемый *током утечки*. Условно сопротивления изоляции трех фаз  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  изображены присоединенными к проводам, каждое в одной точке. На самом деле в исправной сети токи утечки распределяются равномерно по всей длине провода. Кроме активных сопротивлений изоляции есть реактивные сопротивления из-за некоторой электрической емкости между жилой каждого провода и землей. Через эти сопротивления ( $X1$ ,  $X2$ ,  $X3$ ) при переменном напряжении в сети протекают емкостные токи.

Если в какой-либо точке любого провода произойдет повреждение изоляции, то возникающее электрическое соединение с землей в сети с изолированной нейтралью называется *однофазным замыканием на землю*. Такое соединение с землей не является коротким замыканием, потому что на пути тока от провода с поврежденной изоляцией к токоведущим жилам проводов других фаз будет активное сопротивление изоляции и емкостное сопротивление этих проводов относительно земли.

Ток однофазного замыкания в сети с изолированной нейтралью значительно

меньше тока короткого замыкания (к.з.) между проводами или между проводами и землей в сети с заземленной нейтралью. Если замыкание на землю произойдет через тело человека, то в сети с изолированной нейтралью ток через человека будет значительно меньше, чем в сети с заземленной нейтралью. По этой причине в шахтах и на торфоразработках электрические сети напряжением до 1000 В работают с изолированной нейтралью. Так же работают сети напряжением **6, 10 и 35 кВ** для большей надежности бесперебойного электроснабжения. Продолжительность работы такой сети с однофазным замыканием на землю ограничена до момента ликвидации повреждения. Персонал должен отыскать повреждение как можно быстрее, так как для людей опасно прикосновение к предметам, через которые произошло замыкание на землю, например к железобетонной опоре, на которой поврежден изолятор. Опасно также приближаться к месту соприкосновения с землей оборвавшегося провода ближе чем на 8 м.

В установках напряжением до 1000 В сети с изолированной нейтралью безопаснее сетей с заземленной нейтралью только при условии хорошей изоляции фаз относительно земли и сравнительно небольшой протяженности сети, так как чем длиннее провода, тем больше значение емкостных токов и токов утечки. В шахтах и на торфоразработках, где сети не столь разветвленные, как в сельскохозяйственных электроустановках, ведется непрерывный автоматический контроль состояния изоляции с помощью специальных реле утечки или асимметров, которые немедленно отключают сеть, если состояние ее изоляции ухудшилось больше, чем допустимо.

В сельском хозяйстве и на промышленных предприятиях сети разветвленные, имеют значительную протяженность и даже при хорошем состоянии изоляции имеют большие токи утечки и емкостные токи. Система с изолированной нейтралью лишается преимуществ. Например, проводка в стальных трубах в коровнике на 200 голов уже имеет емкость 0,145 мкФ, что даже без учета активной проводимости изоляции и емкости воздушной линии, а также электроприемников создает ток замыкания на землю 30 мА, т. е. опасный для человека, если замыкание произойдет через его тело. надежнее реагирует на ухудшение

изоляции одной из фаз система с заземленной нейтралью, где всякое повреждение изоляции является к.з. и поврежденный участок сети отключается устройствами защиты. Поэтому в сельском хозяйстве при напряжении до 1000 В применяют систему 380/220 В с заземленной нейтралью. Исключение – сети передвижных электроустановок, питаемых от автономного генератора.

Однако и при заземленной нейтрали хорошее состояние изоляции важно с точки зрения электробезопасности. При хорошей изоляции менее вероятны к.з., связанные с искрением или перегревом проводов, и переход напряжения с токоведущих частей на такие открытые проводящие (металлические) части, которые нормально не находятся под напряжением и с которыми может соприкасаться человек (например, корпус электродвигателя).

Изоляцию силовой или осветительной электропроводки считают достаточной, если ее сопротивление между проводом каждой фазы и землей или между разными фазами на участке, ограниченном последовательно включенными автоматическими выключателями или предохранителями с плавкими вставками, или за последним предохранителем, составляет не менее 0,5 МОм (500000 Ом). Сопротивление измеряют *мегаомметром*, рассчитанным на напряжение 1000 В. При этом вывинчивают лампы из патронов. Проверку делают не реже одного раза в 2 года, а в помещениях сырых, особо сырых, пожароопасных, взрывоопасных или с химически активными газами – ежегодно. Если сопротивление изоляции окажется меньше нормы, изоляцию испытывают переменным напряжением 1000 В в течение 1 мин. Участок проводки может быть оставлен в работе до плановой замены, если при испытании изоляция не пробивается. В промежутках между измерениями (один раз в 6 или 3 мес. в зависимости от назначения помещения) осматривают проводки, выключатели и арматуру светильников.

У вновь смонтированных электродвигателей переменного тока напряжением до 1000 В сопротивление изоляции обмоток статора должно быть минимум 0,5 МОм при температуре 10 ... 30°C, у обмоток ротора синхронных электродвигателей или асинхронных с фазным ротором – 0,2 МОм (причем статор проверяют мегаомметром на 1000 В, а ротор – на 500 В). Нормы на сопротив-

ление изоляции в процессе эксплуатации для статоров электродвигателей напряжением до 660 В – 1 МОм в холодном состоянии или 0,5 МОм при 60 °С, а у обмоток ротора – не установлены.

## **2.2. Ограждения неизолированных проводов или безопасное их расположение**

Неизолированные токоведущие части, закрепленные на изоляторах только в отдельных точках, например провода воздушных линий (ВЛ), располагают на высоте, где они недоступны для случайного прикосновения, или закрывают сплошными ограждениями в виде крышек (у присоединительных зажимов электродвигателей), защитных оболочек и кожухов (у аппаратов), сетчатых ограждений в распределительных устройствах (РУ). Ограждения делают из диэлектриков или металла и располагают на определенном расстоянии от неизолированных токоведущих частей, которое зависит от напряжения установки и конструкции ограждения и указано в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ). Наименьшее расстояние до сплошных ограждений в закрытых распределительных устройствах (ЗРУ) при напряжении до 1000 В должно составлять 50 мм.

В ПУЭ указан так называемый габарит ВЛ, т. е. расстояние от земли до нижней точки провода между опорами. На ВЛ напряжением до 1000 В оно должно быть не менее 6 м, а на ВЛ напряжением 1...110 кВ в населенной местности — 7 м, в ненаселенной — 6 м, в труднодоступной (болото, горы) — 5 м. На пересечениях через автомобильные дороги при любом напряжении до 110 кВ включительно габарит линии должен быть не менее 7 м, на пересечениях железных дорог — 7,5 м (до рельса). Наименьшее допустимое расстояние по горизонтали от проводов ВЛ напряжением не выше 1000 В до балконов, окон и террас должно быть 1,5 м, до глухих стен зданий — 1 м. Расстояние до ветвей деревьев и кустов в любом направлении также должно быть не менее 1 м. Не допускается прокладывать ВЛ над крышами, за исключением вводов проводов через крышу (в стальной трубе), причем расстояние от изоляторов ввода до крыши по вертикали должно быть не менее 2,5 м. От проводов ввода в здание через стену до высту-

пающих его частей (например, до карниза) — не менее 0,2 м, до земли — 2,75 м. Если ввод пересекает пешеходную дорожку, то не менее 3,5 м.

### **2.3. Блокировки, обеспечивающие безопасность в электроустановках**

Устройства, не допускающие опасных ошибок в работе, называют *блокировками безопасности*. Например, дверь в ячейку РУ напряжением выше 1000 В может быть снабжена электромагнитным замком, позволяющим открыть дверь, когда отключены выключатели и разъединители, через которые внутрь ячейки подается напряжение.

В электроустановках напряжением свыше 1000 В ток нагрузки более 15 А можно выключить только выключателем, в конструкции которого предусмотрены элементы для гашения электрической дуги, например бак с трансформаторным маслом. Внутри бака размыкаются контакты выключателя. Последовательно с выключателем включен разъединитель, предназначенный для создания видимого разрыва цепи ради большей безопасности работ при соприкосновении с токоведущими частями. Одна из конструкций разъединителя напоминает большой трехполосный рубильник. Он не может разрывать ток нагрузки более 15 А, а только ток холостого хода трансформаторов и зарядный (емкостный) ток ЛЭП без нагрузки.

Существуют блокировки, предотвращающие операции разъединителями при включенном выключателе, что может сопровождаться аварией и несчастным случаем. Для этого часто применяют механические блокировки с непосредственной рычажной связью между приводами выключателя и разъединителя. Но могут быть и замковые блокировки, например механическая блокировка системы инженера Гинодмана (МБГ).

На каждом приводе разъединителя и выключателя, а также на дверях сетчатого ограждения ячеек устанавливают блокирующие замки, оборудованные запорным стержнем 8 (рисунок 3.2) для механического застопоривания блокируемого элемента.

Вид без колпачка

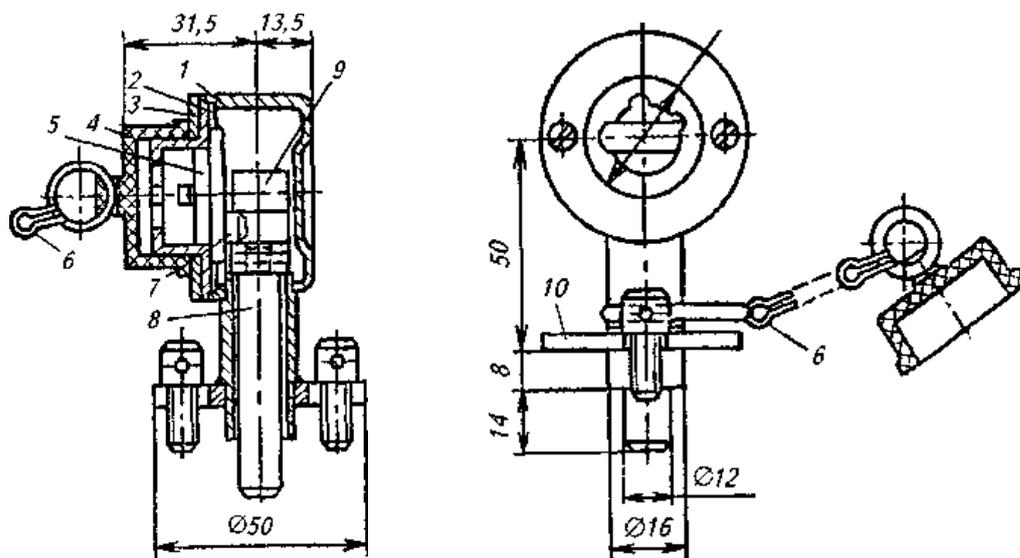


Рисунок 3.2 – Механический одноклюевой блок – замок ЗБ – 1:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – шайба; 4 – колпачок; 5 – диск; 6 – цепочка;  
7 – палец; 8 – запорный стержень; 9 – ползун; 10 – фланец

Кроме одноклюевых замков (тип 31), применяемых в установках с одинарной системой шин, бывают двухклюевые, используемые при двойной или одинарной секционированной системе шин. На рисунке 3.3 показана установка двухклюевого поворотного замка типа 32 – П на приводе к разъединителю, на рисунке 3.4 — ключ к механическим замкам системы МБГ.

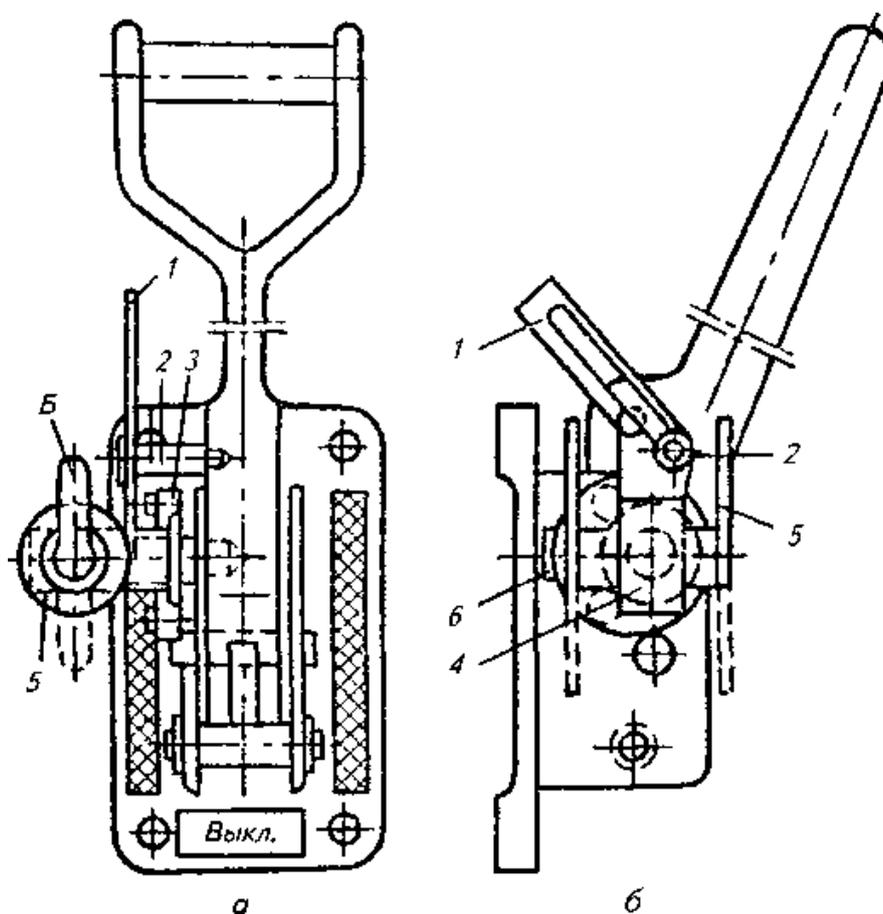


Рисунок 3.3 – Схема установки блок-замка на приводе ПРМ к разъединителю:

*а* – вид спереди привода; *б* – вид со стороны замка;

1 – поводок; 2 – ведущий штифт; 3 – удерживающая скоба; 4 – двухключевой поворотный блок-замок 32-П; 5 – ключ; 6 – экран

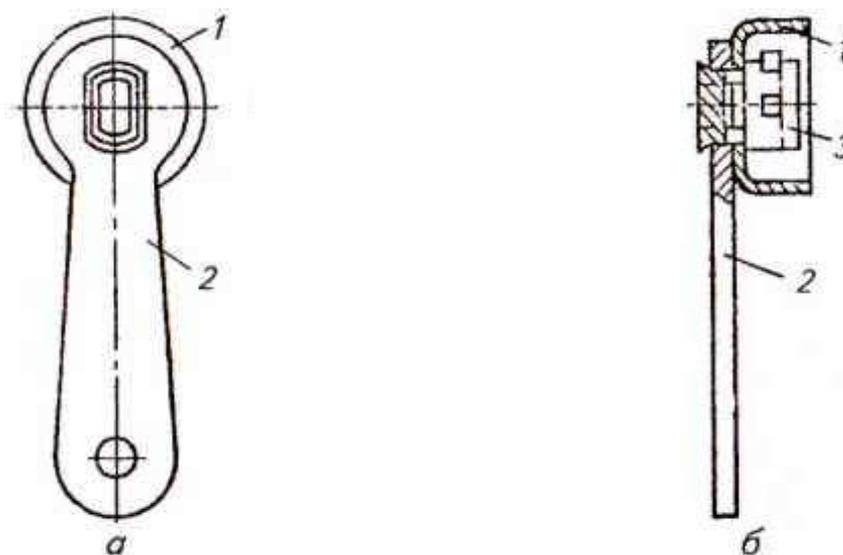


Рисунок 3.4 – Схема ключа к механическим блок – замкам системы МБГ:

*а* – вид спереди; *б* – вид справа,

1 – чашка; 2 – ручка, 3 – вставка с выступами (секрет замка)

Операции с каждым из блокируемых элементов возможны только после отпирания замка ключом, который можно вставить в замок и вынуть из него, лишь когда он заперт. Замки выключателей и разъединителей одного присоединения к сборно – распределительным шинам подстанции (например, одной линии) имеют одинаковый секрет, который заключается в определенном расположении прорезей на торцевой стенке замка (рисунок 3.2) и выступов на вставке ключа (рисунок 3.4).

Все замки одного присоединения имеют один ключ. На приводе выключателя замок установлен так, что запирает его в отключенном положении. Чтобы включить выключатель, надо отпереть замок, и ключ после этого не может быть вынут до нового отключения выключателя. Замки на приводах разъединителей запираются при обоих положениях разъединителя. Чтобы изменить положение разъединителя, надо воспользоваться ключом. Так как при включенном выключателе единственный ключ остается в замке привода выключателя, становится невозможным управлять разъединителями под нагрузкой.

На двухтрансформаторных подстанциях вместо МБГ применяется также электромагнитную блокировку при помощи одинаковых блок – замков типа ЗБ – 1 и одного общего электромагнитного ключа типа КЭЗ – 1 (рисунок 3.5). Электромагнитный замок одновременно служат розеткой, а ключ вилок.

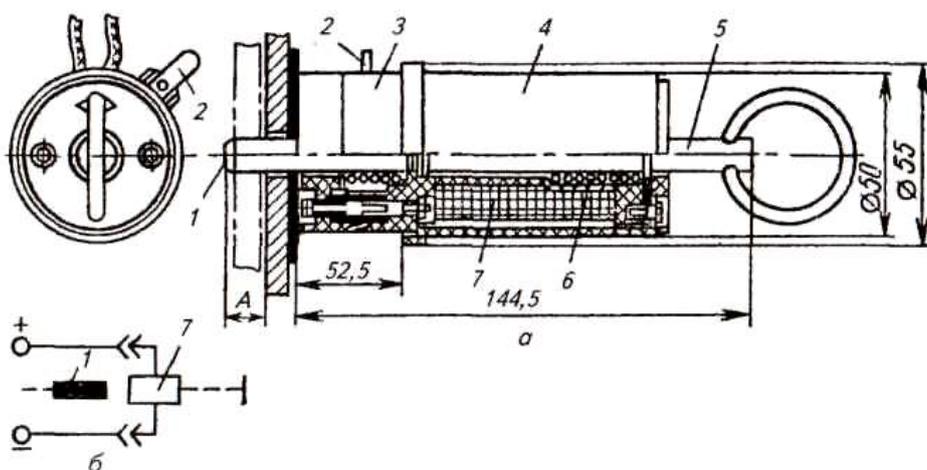


Рисунок 3.5 – Электромагнитный замок ЗБ – 1 и ключ КЭЗ – 1:

- a* – конструкция; *б* – электрическая схема;  
 1 – запорный стержень; 2 – рычаг для деблокировки; корпус замка ЗБ – 1;  
 4 – ключ; 5 – сердечник с кольцом; 6 – пружина; 7 – катушка

Чтобы ключ открыл замок, его вставляют в розетку данного замка, а напряжение в розетку подается автоматически с помощью сигнальных контактов, замыкающихся в зависимости от положения привода выключателя или разъединителя. Напряжение в розетки блок – замков разъединителей данного присоединения попадает при отключенном выключателе, а в розетку двери в сетчатом ограждении – при отключенных разъединителях. При обтекании током катушки 7 электромагнитного ключа внутрь ее втягивается сердечник 5, который сжимает пружину 6 и притягивает к себе запорный стержень 1 замка. На противоположном конце сердечника 5 ключа находится кольцо. Потянув за него, перемещают запорный стержень 1 и отпирают замок.

В комплектных распределительных устройствах (КРУ) тележка с выключателем на ней включена в первичную цепь через мощные втычные (штепсельные) контакты, играющие роль разъединителей, и имеет три фиксированных положения: рабочее (когда ее вкатили в ячейку КРУ и втычные контакты полностью замкнуты), испытательное (когда эти контакты разомкнуты, а контакты вторичных цепей, то есть измерительных, сигнальных, управления и защиты, замкнуты) и ремонтное. Здесь блокировка должна предотвращать при включенном выключателе передвижение тележки из рабочего положения в испытательное и обратно и препятствовать оперированию механизмом доводки тележки до рабочего положения, а также предотвращать: перемещение тележки из испытательного положения в ремонтное при замкнутых контактах вторичных цепей.

#### **2.4. Переносные индикаторы и автоматические сигнализаторы напряжения**

Прежде чем прикоснуться к токоведущей части даже после ее отключения от других частей установки, находящихся под напряжением, нужно проверить, не осталось ли на ней напряжения из-за какой-либо ошибки. При напряжении до 230 В между фазами раньше пользовались переносной контрольной лампой на напряжение 220 В. В трехфазных установках напряжением 380/220 В такую лампу использовать опасно, так как при ошибочном включении ее на 380 В она иногда лопаются и может повредить глаза. Поэтому применять контроль-

ные лампы запрещено везде. Теперь пользуются специальными указателями (индикаторами) напряжения, напоминающими авторучку (рисунок 3.6).

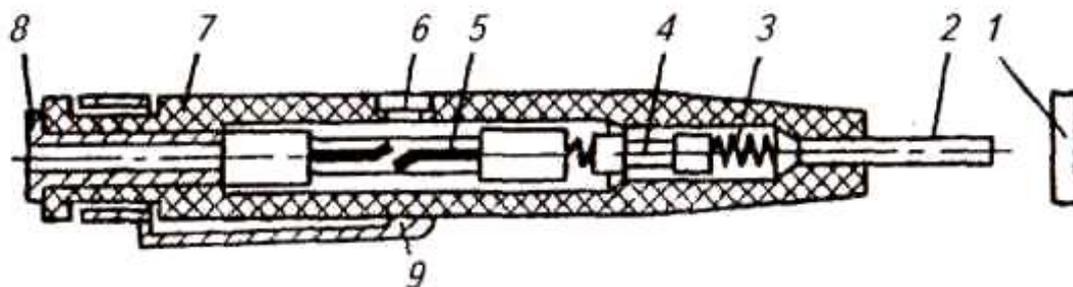


Рисунок 3.6 – Схема указателя напряжения до 400 В типа УНН – 1:

1 – токоведущая часть проверяемой электроустановки; 2 – щуп;  
3 – пружина; 4 – резистор, 5 – неоновая лампа; 6 – окно для наблюдения за лампой, 7 – корпус; 8 – торец контактной втулки; 9 – зажим

Такие указатели состоят из неоновой лампочки и добавочного высокоомного резистора. Лампочка светится от активного тока утечки, протекающего через тело человека, который во время проверки должен касаться пальцем торца контактной втулки, но сопротивление резистора таково, что этот ток человек не ощущает. Бывают двухполюсные указатели на напряжение до 400 и 500 В (МИН – 1, ТИ – 2). Указатель и изоляционный щуп соединены проводом. При напряжениях до 1000 В можно использовать в качестве указателя переносной вольтметр.

Указатель напряжения на 2...10 кВ (рисунок 3.7) состоит из привинченных одна к другой изоляционных трубок, в верхней из которых помещена неоновая лампочка, средняя служит добавочным емкостным сопротивлением, а нижняя держателем, который берут рукой не выше выпуклого ограничительного кольца 9. Достаточно поднести указатель близко к токоведущей части соответствующего напряжения, как лампочка начинает светиться от тока, проходящего через конденсаторную трубку на землю. Если в окне указателя свечения лампочки не видно даже при касании им токоведущей части, то это свидетельствует об отсутствии напряжения. Для проверки отсутствия напряжения на проводах ВЛ верхнюю и среднюю трубки указателя привинчивают к изоляционной штанге, рассчитанной на соответствующее напряжение. Головку штанги соединяют проводом с заземлителем, например, в виде металлического стерж-

ня, воткнутого в землю, иначе может не быть отчетливого свечения. Бесконтактный указатель высокого напряжения УВНБ – 6 – 35 напоминает плоский карманный фонарь, навинченный на изолирующую штангу. Мигающая лампочка светит в сторону штанги. Прибор не требует заземления при проверке отсутствия напряжения, то есть он обеспечивает большую надежность в работе.

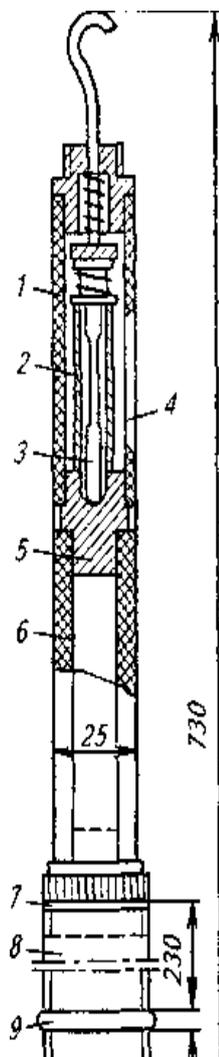


Рисунок 3.7 – Схема указателя напряжения для электроустановок до 10 кВ:

- 1 – карболитовая трубка; 2 – защитная стеклянная трубка;
- 3 – неоновая лампа; 4 – окно; 5 – соединительная деталь;
- 6 – бакелитовая конденсаторная трубка; 7 – соединительная муфта;
- 8 – изолирующая часть держателя; 9 – ограничительное кольцо;
- 10 – рукоятка держателя

Принцип действия указателя основан на измерении потенциалов от различной напряженности электрического поля в местах расположения медной пластины – антенны и изоляционной платы с общим плюсом транзисторной

схемы. Для проверки отсутствия напряжения указатели напряжения с неоновыми лампами и вольтметр нужно предварительно проверить на токоведущих частях, заведомо находящихся под напряжением. Если же таких поблизости нет, то можно использовать для этого мегаомметр. Провода от мегаомметра присоединяют к крючку и муфте. Указатели также подносят к свечам зажигания работающего автомобильного двигателя или к специальному карманному транзисторному прибору типа ППИ – 4. В указателе УВНУ устройство для проверки исправности содержится в нем самом. Для этого достаточно нажать кнопку на торце штанги указателя. Отсутствие напряжения в трехфазной сети контролируют на каждой фазе относительно земли, причем при ремонте выключателя на всех шести выводах.

Проверка с помощью указателя обязательна и в том случае когда сигнальные лампы показывают, что выключатель, которым может быть подано напряжение, отключен, так как может оказаться нарушенной механическая связь между приводом и его сигнальными контактами или можно забыть про возможность подачи напряжения на данные токоведущие части каким-либо иным путем, а не через этот выключатель. Нельзя также считать, что напряжения нет, если не горят постоянно подключенные к данным токоведущим частям лампы или показывают нуль постоянно подключенные вольтметры, а устройства блокировки допускают проникновение за ограждения, так как эти приборы могут быть неисправны. Обязательно использование переносных указателей или вольтметров, которые можно проверить непосредственно перед работой.

Однако ясно, что свечение постоянно подключенных ламп и без переносного индикатора служит предостережением. Поэтому в ячейках КРУ напряжением 6... 10 кВ используют постоянно подключенные к одной из фаз стационарные указатели напряжения с неоновыми лампами, которые не заменяют проверки отсутствия напряжения переносным указателем, но служат дополнительной предупредительной сигнализацией (например, типа СНС – 1). Применяют также автоматическую сигнализацию об опасном приближении к токоведущим частям, находя-

щимся под напряжением. Такую сигнализацию может осуществлять, например, устройство типа СНИ. Оно представляет собой пластмассовую коробочку и может быть укреплено на каске или подвешено на груди. Такое устройство выпускают на 4 диапазона номинальных напряжений сетей, указываемых на их корпусе: 0,38... 1; 6... 10; 20...35 и 110 кВ. Сигнализатор дает прерывистый звуковой сигнал при приближении к токоведущим частям на расстояние, равное допустимому по правилам плюс 0,7 м (расстояние вытянутой руки). В РУ напряжением 0,4 кВ это расстояние равно 1 м, а на воздушной линии 0,38 кВ – 1,5 м, если нет нулевого провода, или 0,3 м с нулевым проводом. Принцип действия устройства типа СНИ такой же, как и указателя УВНБ – 6 – 35.

## 2.5. Электрозащитные средства

К числу электрозащитных средств относят:

- ▶ изолирующие защитные средства (диэлектрические перчатки, слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками, изолирующие штанги);
- ▶ переносные заземляющие проводники;
- ▶ плакаты и знаки безопасности; индивидуальные экранирующие комплекты.

*Электрозащитные средства* представляют собой самостоятельные переносные изделия, а не части электроустановки, выполняющие защитные функции (постоянные ограждения, защитно-отключающие устройства).

*В электроустановках применяют и другие средства:* защитные очки, противогазы, противозумные наушники, брезентовые рукавицы, предохранительные монтерские пояса, когти и каски.

Различают *средства индивидуальной и коллективной* (плакаты и переносные заземления) защиты.

### **Изолирующие защитные средства:**

1. По степени надежности делят на: *основные и дополнительные. Основными* считают те, которыми можно прикасаться к токоведущим частям под напряжением при обязательном использовании еще какого – либо дополни-

тельного защитного средства, а последние служат дополнительной гарантией на случай повреждения основного или появления напряжения на открытых частях установки, которые не находятся под напряжением постоянно.

**Основные защитные средства** – это, например, изолирующие клещи для установки или снятия патронов предохранителей, штанги для измерений или для наложения заземляющих проводников на провода, а при напряжении до 1000 В также инструмент электромонтера с изолированными рукоятками и диэлектрические перчатки. В установках напряжением свыше 1000 В перчатки и инструмент – **дополнительные защитные средства**. Диэлектрические резиновые коврики или диэлектрические подставки, галоши, боты являются дополнительными всегда. Подставки опираются на изоляторы и используются вместо ковриков, галош и бот в сырых местах. Их изготавливают из сухих досок на шипах без гвоздей и дважды окрашивают лаком или масляной краской.

Изолирующие защитные средства при приемке в эксплуатацию испытывают повышенным напряжением независимо от заводских испытаний, а затем периодически испытывают в определенные сроки. Например, диэлектрические перчатки – раз в 6 месяцев; диэлектрические галоши, указатели напряжения и инструмент с изолированными рукоятками — раз в год. Диэлектрические коврики и изолирующие подставки в эксплуатации не испытывают, а только очищают от грязи и осматривают.

На все изолирующие защитные средства, кроме инструмента с изолирующими рукоятками, должен быть нанесен несмываемой краской или наклеен штамп с указанием даты следующих испытаний и наибольшего номинального напряжения установки, для которого пригодно это защитное средство. Перед использованием защитного средства необходимо убедиться по штампу, что оно рассчитано на напряжение данной установки и срок его годности еще не истек.

Все защитные средства полагается осматривать перед каждым использованием. При этом штанги, клещи и держатели указателей бракуют, если на лаковом покрытии бакелитовых деталей окажутся продольные царапины, общая длина которых превышает 20 % длины их изолирующей части. Указатели бра-

куют также в случае, если разбита защитная стеклянная трубка вокруг неоновой лампы. Для проверки отсутствия проколов в диэлектрической перчатке ее скатывают, начиная от отверстия к пальцам поперек плоскости перчатки. Надувшаяся перчатка не пропускает воздух.

**Диэлектрические перчатки, галоши и инструмент** с изолированными рукоятками для испытания погружают в сосуд с водой. Уровень воды снаружи и внутри должен быть ниже краев, которые должны быть сухими, у перчаток и бот на 5 см (для галош – на 2 см, а для инструмента – на 1 см). Один электрод опускают в воду снаружи испытуемого средства, а второй – внутри. При испытании инструмента вторым электродом служит он сам. Миллиамперметр в цепи одного из электродов показывает силу тока через изделие, которое бракуют, если она больше нормы, резко колеблется или произойдет пробой и отключится автомат в первичной цепи испытательного трансформатора (рисунок 3.8).

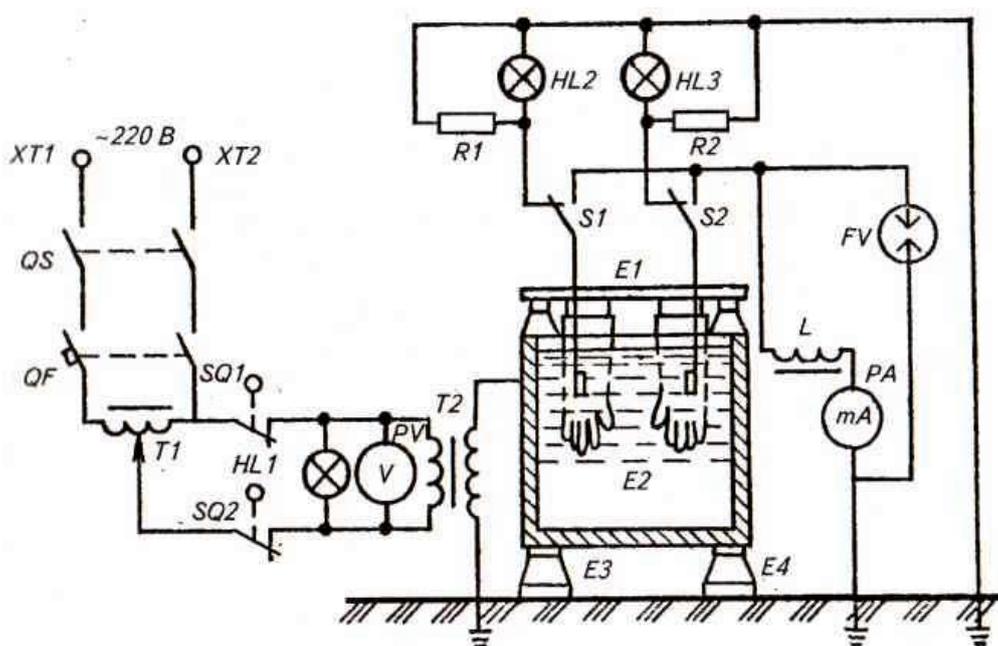


Рисунок 3.8 – Схема испытания изолирующих защитных средств повышенным напряжением:

XT1 и XT2 – зажимы для присоединения к сети; QS – рубильник; QF – автомат; T1 – регулируемый автотрансформатор; T2 – повышающий трансформатор; SQ1 и SQ2 – блок – контакты двери в ограждении; E1 – бакелитовая трубка; E2 – бак с водой; S1 и S2 – переключатели; HL1, HL2, HL3 – сигнальные лампы; E3 и E4 – изоляторы; L – дроссель; FV – разрядник.

*Для перчаток допустимая сила тока равна 6 мА.*

Испытательное напряжение для перчаток, бывших в эксплуатации, 6 кВ, для диэлектрических галош – 3,5 кВ, для изолирующих штанг на напряжение менее 110 кВ – трехкратное линейное, но не менее 40 кВ, для инструмента с изолированными рукоятками – 2 кВ переменного тока. Продолжительность испытания инструмента, перчаток, галош и бот – 1 мин. Подробно требования к испытаниям и условиям хранения защитных средств указаны в специальных правилах.

**Плакаты и знаки безопасности**, применяемые в электроустановках, предупреждают посторонних лиц и персонал электроустановок от совершения опасных ошибок. Например, на рукоятках рубильников или приводов выключателей вывешивают **запрещающие** прямоугольные плакаты (на белом фоне надпись красными буквами без знаков препинания: «**НЕ ВКЛЮЧАТЬ РАБОТАЮТ ЛЮДИ**»). На месте работ, где все условия безопасности соблюдены, вывешивают **предписывающий плакат** (на зеленом фоне белый круг с черной надписью: «**РАБОТАТЬ ЗДЕСЬ**»). Такой плакат в дополнение к надписям с номерами аппаратов или названиями линий позволяет не спутать отключенное для ремонта оборудование с остающимся под напряжением. Имеются **предупреждающие плакаты и знаки**. На дверях электрических РУ, щитов и сборок или на опорах ВЛ напряжением свыше 1000 В укрепляют или наносят краской знак в виде желтого треугольника с черной каймой и символом напряжения в виде черного условного изображения молнии (на внутренней стороне дверей должна быть прикреплена принципиальная схема шкафа, РУ). На наружной стороне постоянных ограждений у ячеек РУ, соседних с местом работ, или на временных ограждениях вывешивают переносной прямоугольный плакат с красным изображением молнии на белом фоне и надписью черными буквами: «**СТОЙ НАПРЯЖЕНИЕ**».

Четвертый вид плакатов безопасности – **указательные**: на светло-синем фоне прямоугольного плаката написано черными буквами «**ЗАЗЕМЛЕНО**». Их вывешивают на ключах управления и рукоятках разъединителей, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на заземленные токоведущие части. После окончания работ сначала снимают заземление, а затем плакаты. Если корпус электрического аппарата во время работы находится под напряжением, то

на нем символически изображают черную или красную молнию.

## **Глава 3. Защитное заземление**

### **3.1. Принцип действия защитного заземления**

Корпус электродвигателя, арматура электрического светильника или трубы электропроводки обычно не находятся под напряжением относительно земли благодаря изоляции от токоведущих частей. Однако в случае повреждения изоляции они могут оказаться под напряжением, нередко равным фазному. Электродвигатель с пробитой на корпус изоляцией соединен с машиной, которую он приводит в движение, например установлен на станке. Рабочий, взявшийся за рукоятки управления станком, может попасть под напряжение.

Защиту от поражения электрическим током при повреждении изоляции обеспечивают защитное заземление, зануление, выравнивание потенциалов, уравнивание их с помощью системы защитных проводников, защитное отключение, изоляция нетоковедущих частей, электрическое разделение сети, малое напряжение, контроль изоляции, изолирующие защитные средства, а в сети с изолированной нейтральной точкой также компенсация токов замыкания на землю. Эти способы можно использовать в сочетании друг с другом. Наибольшее распространение получили защитное заземление и зануление.

Заземление состоит в том, что заземляемые части соединяют с заземлителем, то есть с металлическим предметом, находящимся в непосредственном соприкосновении с землей, или с группой таких предметов. Чаще всего это стержни из угловой стали, забитые в землю вертикально и соединенные под землей приваренной к ним стальной полосой. Заземление частей электроустановки для обеспечения электробезопасности называют защитным заземлением. Бывают также грозозащитное (от грозозовых перенапряжений в проводке или воздушной линии), молниезащитное и рабочее (необходимое для работы установки) заземления. Можно выделить также вспомогательные заземления в составе иных защитных мероприятий электробезопасности, например повторные заземления нулевого провода в системе технического способа «зануление». Заземления разных назначений, устроенные на одной площадке,

как правило, конструктивно и электрически совмещают.

Защитное заземление применяют в электроустановках напряжением выше 1000 В с любым режимом работы нейтрали и в установках до 1000 В с изолированной от земли нейтральной точкой, а зануление применяют в установках напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью (в частности, в сетях 380/220 В).

Благодаря защитному заземлению напряжение, под которое может попасть человек, прикоснувшийся к заземленной части, значительно снижается. Однако неверно, что это напряжение равно нулю, так как все, что электрически связано с землей, должно иметь потенциал земли, т. е. нуль. Дело в том, что землю можно рассматривать как электрический проводник с некоторым сопротивлением электрическому току и с падением напряжения вдоль пути тока, т. е. с различным потенциалом точек земли около заземлителя и на большом расстоянии от него, где потенциал действительно можно принять равным нулю.

Если представить себе заземлитель в виде полусферы то можно считать, что ток в земле растекается во все стороны от этого заземлителя в радиальных направлениях (рисунок 3.9).

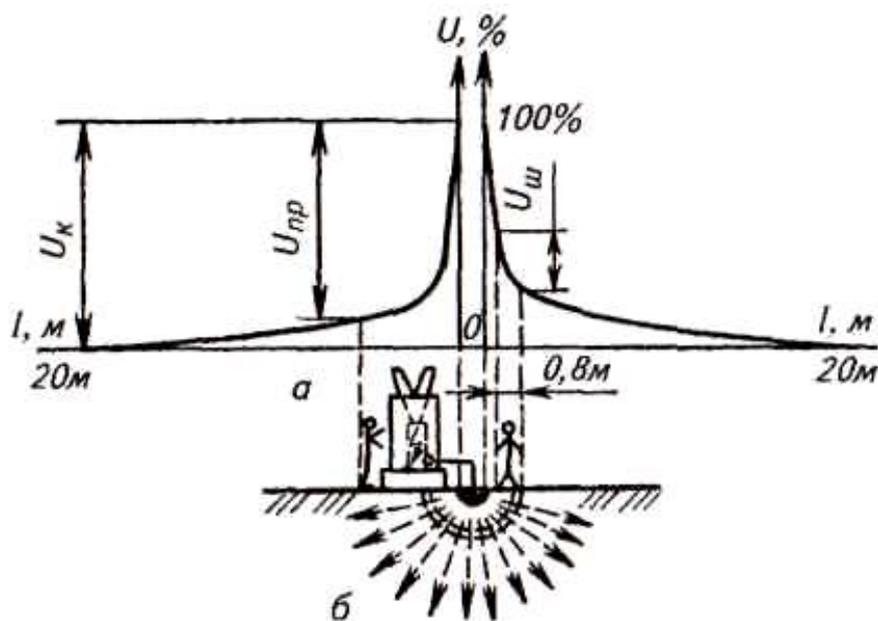


Рисунок 3.9 – К определению понятий «напряжение прикосновения»  $U_{пр}$  и «напряжение шага»  $U_{ш}$ :

$a$  – кривая изменения потенциалов на поверхности земли при удалении от за-

землителя;  $b$  – растекание тока от заземлителя;  $U_K$  – напряжение на заземленном корпусе;  $l$  – расстояние от заземлителя

Сечение «земляного» проводника определяется поверхностью полусфер того или иного радиуса и по мере увеличения радиуса возрастает. Соответственно уменьшаются сопротивление грунта растеканию тока и падение напряжения на 1 м пути. Кривая изменения потенциала на поверхности земли представляет собой гиперболу. . На расстоянии около 20 м от одиночного сосредоточенного заземления падение напряжения в слоях земли от тока, растекающегося с заземлителя, уже практически не обнаруживается, т. е. потенциал можно считать равным нулю.

Пространство вокруг заземлителя, где обнаруживается заметный электрический потенциал от тока, стекающего с заземлителя, называют зоной растекания. В сущности, сопротивление растеканию тока от заземлителя – это сопротивление полусферы грунта с радиусом, равным радиусу зоны растекания. Сопротивление заземлителя относительно земли (относительно точек грунта с нулевым потенциалом, находящихся вне зоны растекания тока) включает в себя кроме сопротивления растеканию тока в земле также сопротивление току при прохождении его по самим заземлителям и переходное сопротивление в электрическом контакте между металлическим заземлителем и ближайшими к нему слоями грунта. Последние две составляющие очень малы по сравнению с первой, даже если заземлители покрыты слоем ржавчины. Поэтому под сопротивлением заземлителя часто понимают его сопротивление растеканию. Но точнее это отношение напряжения на нем  $U_3$  (его потенциала) к току  $I_3$ , который через него стекает в землю, то есть

$$R_3 = U_3 / I_3.$$

Совокупность заземлителя и заземляющих проводников, соединяющих заземлитель с заземляемыми частями электроустановки, называется заземляющим устройством. Напряжение на заземленном корпусе электрооборудования  $U_K$  отличается от напряжения заземлителя  $U_3$  на значение падения напряжения в заземляющих

проводниках, соединяющих корпус с заземлителем. Но можно считать  $U_K = U_3$ . Сопротивлением заземляющего устройства считают сопротивление заземлителя.

За пределами зоны растекания ток в земле практически не обнаруживается, но не следует считать, что его там нет. В сети с изолированной нейтралью ток с провода, где повреждена изоляция, протекает через заземлитель и землю на провода других фаз, через активное сопротивление их изоляции и через емкостные сопротивления этих проводов относительно земли. В сети с заземленной нейтралью ток от места замыкания течет главным образом к нейтрали по пути с наименьшим индуктивным сопротивлением (под проводами линии).

Если нейтраль изолирована, то значение тока,  $I$ , зависит от номинального напряжения сети  $U_H$ , кВ, и от емкости сети относительно земли (от длины металлических связанных воздушных и кабельных линий с ответвлениями):

$$I_3 = U_H (l_B/350 + l_K/10)$$

где  $l_B$  и  $l_K$  – соответственно длина ВЛ и кабелей, км.

На рисунке 3.10 показана сеть без заземленной точки с полным сопротивлением изоляции проводов относительно земли  $Z_1$  и  $Z_2$ .

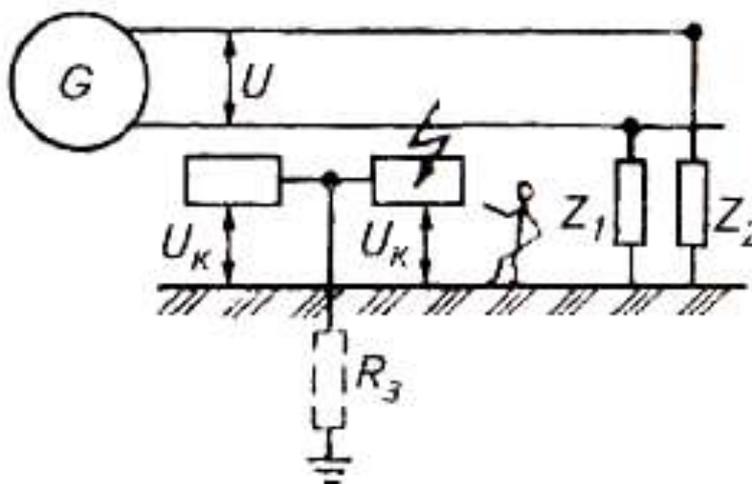


Рисунок 3.10 – Схема, поясняющая действие защитного заземления в однофазной сети без заземленной точки обмотки источника:

$G$  – источник питания,  $U_K$  – напряжение корпуса относительно земли;

$Z_1$  и  $Z_2$  – сопротивления изоляции проводов,  
 $R_3$  – сопротивление заземления

После пробоя изоляции одного из проводов на металлический корпус, который связан с защитным заземлением, имеющим сопротивление  $R_3$ , этот корпус будет иметь относительно участков земли с нулевым потенциалом напряжение, равное падению напряжения на  $R_3$  от тока  $I_3$  через него

$$U_K = U_3 = I_3 \cdot R_3 = R_3 \cdot U_H / (R_3 + Z_2).$$

Так как обычно  $Z_2 \gg R_3$  сила тока  $I_3$  от значения  $R_3$  практически не зависит, а  $U_K$  прямо пропорционально  $R_3$ . Поэтому с уменьшением  $R_3$  снижается и напряжение, которое может иметь заземленный предмет. Однако такое же напряжение появится на корпусах неповрежденного оборудования, присоединенных к тому же заземлителю. Это один из недостатков защитного заземления. Аналогично действует защитное заземление и в трехфазных установках с изолированной нейтралью, например в установках с номинальным напряжением 6...35 кВ. Напряжение относительно земли, под которым могут оказаться корпуса оборудования  $a$ ,  $b$  и  $c$  с пробитой изоляцией при отсутствии защитного заземления на  $a$ , зависит от сопротивления изоляции фаз относительно земли и теоретически может лежать в пределах от 0 (при  $Z_A = 0$ ) до линейного  $U_L$  (при  $Z_B = 0$  или  $Z_C = 0, Z_A \neq 0$ ) (рисунок 3.11).

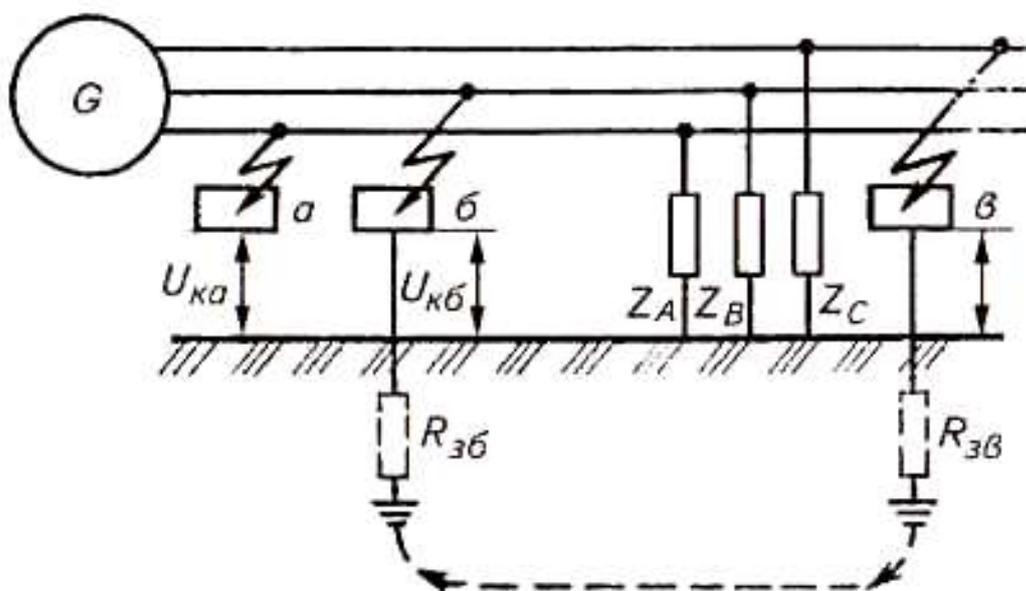


Рисунок 3.11 – Схема, поясняющая действие защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью

В таких сетях возможно проявление следующего недостатка защитного заземления. Если изоляция двух других фаз достаточно хорошая, а емкость их относительно земли мала, то ток замыкания на заземленный корпус (например, б) может быть настолько мал, что напряжение на корпусе  $U_{кб}$  может не ощущаться людьми, в то же время напряжение двух других фаз относительно земли увеличивается от фазного до линейного. Изоляция этих фаз может не выдержать увеличившегося напряжения и оказаться поврежденной в другом электроприемнике, имеющем свое защитное заземление (в). Ток двойного замыкания на землю может быть близок по значению к току короткого замыкания двух фаз и может создавать большое падение напряжения на сопротивлениях заземления обоих поврежденных приемников  $R_{3б}$  и  $R_{3в}$ . Видно, что какими бы малыми ни были  $R_{3б}$  и  $R_{3в}$  падения напряжения на них, а значит, и напряжения на корпусах  $U_{кб}$  и  $U_{кв}$  будут зависеть от соотношения между  $R_{3б}$  и  $R_{3в}$  от линейного напряжения сети. Практически всегда будет существовать опасность поражения электричеством. Например, при  $R_{3б} = R_{3в}$  и  $U_{к} = 10$  кВ получится:  $U_{кб} = 0,5 U_{л} = 5$  кВ.

Участок сети с двойным замыканием на землю автоматически отключается за время, не превышающее 2...3 с, но до момента отключения заземления не защищает людей. Поэтому продолжительность работы сети с однофазным замыканием на землю ограничивают. На торфоразработках и в других местах с

особо опасными условиями с точки зрения возможности поражения током вообще не допускается работа при однофазном замыкании на землю. В этих случаях применяют автоматическое отключение.

В установках напряжением выше 1 кВ с заземленной нейтралью (в России это установки с номинальным напряжением 110 кВ и более) защитное заземление снижает напряжение на заземленных частях оборудования, оказавшихся под напряжением при пробое изоляции одной фазы, а затем устройства релейной защиты от однофазных к. з. отключают поврежденную часть электроустановки за несколько секунд.

**Напряжением прикосновения**  $U_{\text{ПР}}$  по ПУЭ называют напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на заземленный корпус) при одновременном прикосновении к ним человека. Это, например (рисунок 3.9), корпус заземленного аппарата и точка земли в месте, где стоит человек, касающийся аппарата. **Напряжением шага**  $U_{\text{Ш}}$  называют напряжение между двумя точками на поверхности земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном касании их ногами человека. Определение этих понятий в ГОСТ Р 50571. 10 – 96 другое. Там это напряжение на теле человека при прикосновении или соответственно при шаге, т. е. оно меньше за счет падения напряжения на сопротивлениях растекания с ног в землю, обуви, пола при протекании тока через человека. Однако и определенное по ПУЭ  $U_{\text{ПР}}$  составляет лишь часть напряжения на заземлителе или практически равного ему напряжения на корпусе относительно точек земли с нулевым потенциалом. Оно зависит от расстояния между ногами человека и заземлителем (чем дальше, тем больше) и от крутизны кривой спада потенциала, которая может быть более пологой при сложной конструкции заземлителя (положение — безопаснее).

Заземляют открытые (доступные прикосновению) металлические нетоковедущие части, на которые напряжение может попасть в результате повреждения изоляции. Это корпуса трансформаторов и других электроприемников, приводы выключателей и других коммутационных аппаратов, каркасы распределительных щитов, пультов и щитов управления, шкафов с электрооборудова-

нием, металлические оболочки кабелей, проводов, стальные трубы для электропроводки, тросы, на которых подвешены провода, кожухи шинопроводов, короба и лотки, арматура железобетонных опор и их проволочные оттяжки. Чтобы уравнивать потенциалы в помещениях, где применяется заземление или зануление, заземляют (зануляют) также все так называемые сторонние проводящие части (строительные и производственные металлоконструкции и трубы водопровода и центрального отопления). Однако не заземляют и не зануляют: изоляторные крюки на деревянных опорах, если на них не проложен кабель с заземленной броней и не требуется заземление крюков на данной опоре для грозозащиты; металлические скобы для крепления проводов и другие детали размером не более  $50 \times 50$  мм, недоступные для прикосновения; трубы для прохода через стены, в том числе при выполнении его кабелем. Не заземляют и металлические корпуса электрооборудования, установленного на заземленных или зануленных частях станков, если на опорных поверхностях предусмотрены места, зачищенные для хорошего контакта. На движущихся частях станка электрооборудование зануляют, поскольку оно отделено от неподвижной части станка смазочной пленкой.

По ГОСТ 30331.3 – 95 «Электроустановки зданий. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током» требуется заземление или зануление открытых нетоковедущих частей, в частности металлических корпусов стационарных и переносных электроприемников, в любых зданиях (производственных, жилых) независимо от степени опасности поражения током в данном помещении, если номинальное напряжение превышает 50 В переменного тока или 120 В постоянного. Если же напряжение меньше, но больше 25 В переменного тока или 60 В постоянного, то так называемая защита от косвенного прикосновения (к корпусу оборудования с поврежденной изоляцией), в частности заземление или зануление, требуется в помещениях с повышенной опасностью или в особо опасных и наружных электроустановках. При меньшем напряжении заземление или зануление необходимо только во взрывоопасных зонах и для электрооборудования электросварки.

### 3.2. Конструкции заземляющих устройств

Для выравнивания потенциалов на территории электростанций и подстанций с целью уменьшения напряжения прикосновения и шага заземлитель в электроустановках напряжением выше 1000 В обязательно делают в виде замкнутого горизонтального контура из круглой или полосовой стали, охватывающего территорию, на которой размещена подстанция или электростанция. Незамкнутый контур, например ряд стержней, допускается лишь для заземления опор ЛЭП. В электроустановках напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью (это установки с номинальным напряжением 110 кВ и выше) кроме замкнутого контура дополнительно применяют выравнивание электрических потенциалов 10 В путем прокладки внутри контура продольных и поперечных и горизонтальных элементов заземлителя и соединения их сваркой между собой в заземляющую сетку. На рисунке 3.12 показано, как при этом уменьшаются напряжения прикосновения и шага по сравнению с сосредоточенным заземлителем (рисунок 3.9).

Продольные заземлители (выравнивающие потенциал незаизолированные проводники) надо прокладывать на расстоянии 0,8... 1 м (длина вытянутой руки) от фундаментов или оснований электрооборудования со стороны его обслуживания вдоль осей оборудования на глубине 0,5...0,7 м от поверхности земли.

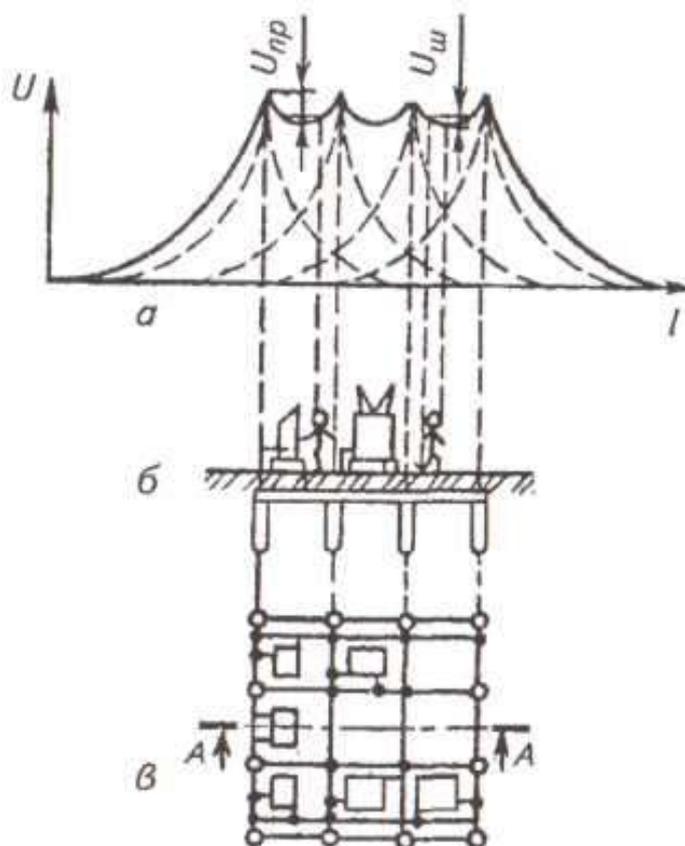


Рисунок 3.12 – Выравнивание потенциалов при сложном заземлителе:

$a$  — кривая изменения потенциалов на поверхности земли по оси А —А при стекании тока с заземлителя;  $б$  — разрез электроустановки и заземлителя по оси А — А,  $в$  — план заземлителя

Поперечные заземлители прокладывают на такой же глубине в удобных местах между оборудованием.

Если заземляющая сетка располагается в пределах внешнего ограждения электроустановки, то у входов и въездов на ее территорию для дополнительного выравнивания потенциалов в установках напряжением 110 кВ и выше к внешнему горизонтальному проводнику присоединяют заглубленные под него два вертикальных стержня длиной по 3...5 м с расстоянием между ними, равным ширине входа или въезда. В скальных грунтах допускается не применять вертикальные заземлители, а горизонтальные прокладывать на глубине 0,15 ... 0,5. В обычных грунтах заземляющие проводники от заземляемых частей оборудования к заземляющей сетке следует прокладывать в земле на глубине не менее 0,3 м.

Если обнаруживают заземлитель с сопротивлением, не удовлетворяющим

норме, то проверяют заземлители соседних опор до тех пор, пока на двух опорах подряд в одном направлении сопротивление не окажется в норме.

На ВЛ напряжением до 1000 В измерения проводят на всех опорах с искусственными заземлителями для грозозащиты или ПО вторного заземления нулевого провода раз в 6 лет. У остальных железобетонных опор сопротивление измеряют выборочно у 2 % опор. Это сопротивление растеканию нижнего заземляющего вы пуска от арматуры опоры. Оно не нормируется.

На электростанциях и подстанциях измеряют сопротивление заземления при капитальных и текущих ремонтах их электрооборудования, но не реже чем раз в 6 лет, причем на подстанциях напряжением 35 кВ и ниже — раз в 12 лет.

На объектах потребителей, имеющих заземляющее устройство вокруг здания или в полу, в частности в коровниках с устройствами выравнивания электрических потенциалов, сопротивление заземления измеряют ежегодно.

Одновременно с измерением сопротивления на всех перечисленных объектах контролируют визуально состояние элементов заземлителя с выборочным откапыванием и заменяют разрушенные коррозией более чем на 50 % сечения. На ВЛ осматривают заземлители у 2% железобетонных опор в населенной местности. Обнаружив опору с заземлителем, требующим замены элементов, вскрывают грунт и на соседних опорах до обнаружения удовлетворительных заземлителей на двух опорах подряд в одном направлении. На прочих объектах кроме ВЛ проверяют также состояние подземных контактов у соединений элементов. При неудовлетворительном состоянии повторяют откапывание до обнаружения шести подряд соединений в удовлетворительном состоянии, а неудовлетворительные ремонтируют. Проверку заземлений оформляют актом. Результаты вписывают в технический паспорт установки.

Для измерения сопротивления заземлителя используют специальные измерители заземления типов Ф4103, М416, МС08 или измеритель кажущегося сопротивления ИКС-1, а если они отсутствуют, то амперметр и вольтметр.

По рекомендации ГОСТ Р 50571.16 — 99 «Приемо-сдаточные испытания» для измерения сопротивления заземлителя пропускают ток неизменной

величины между проверяемым заземлителем  $E$  и вспомогательным электродом заземления  $E1$  (рис. 10.5), расположенным на таком расстоянии от  $E$ , чтобы зоны растекания этих заземлителей не перекрывались. Второй вспомогательный электрод  $E2$  забивают или заворачивают между  $E$  и  $E1$ , Измеряют падение напряжения между  $E$  и  $E2$ . Отношение этой величины к току, протекающему между  $E$  и  $E1$ , равно сопротивлению заземлителя  $E$ .

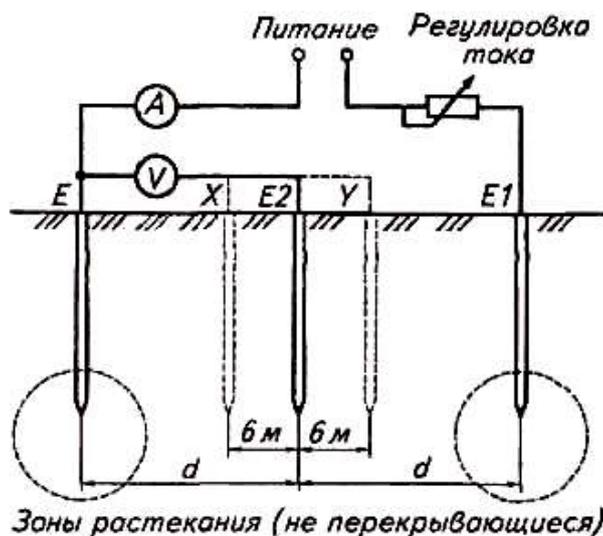


Рисунок – 3.13 – Схема измерения сопротивления заземлителя:

$E$  — проверяемый заземлитель, отключенный от всех источников питания;  $E1$  и  $E2$  — вспомогательные заземляющие электроды;  
 $X, Y$  — измененные положения электрода  $E2$  при проверочных измерениях

Для проверки правильности результата делают два дополнительных измерения, при которых электрод  $E2$  переносят на 6 м дальше, а затем на  $d$  м ближе от  $E$ . Если 3 полученных результата существенно не различаются, то их среднее значение принимают за сопротивление заземления  $E$ . Иначе измерения повторяют, увеличив расстояние между  $E$  и  $E1$ . При измерении на переменном токе частотой 50 Гц внутреннее сопротивление миниметра должно быть не менее 200 Ом/В. Вход схемы должен быть отделен от питающей сети, например, разделительным трансформатором. Если измерения выполнены не зимой, а летом, то полученное значение сопротивления умножают на так называемый поправочный коэффициент, учитывающий не только изменения удельного сопротивления земли в активном слое, но и конструкцию и размеры за-

землителя. Эти коэффициенты весьма приблизительны и установлены только для центральных районов европейской части России. Чаще измерения делают один раз летом, а первый раз зимой, когда результат справедлив и без учета коэффициента.

При измерениях сопротивления заземлителя провода присоединяют в ближайшей к нему точке заземляющих проводников и так одновременно проверяют состояние контакта между заземлителем и магистральным заземляющим проводником. Контакты в самой магистрали можно проверить отдельным измерением или осмотром и простукиванием мест сварки.

Удобнее всего использовать специально предназначенный для таких проверок омметр типа М-372. Прибор позволяет обнаружить напряжение на заземленном (или зануленном) корпусе от 60 (первое деление) до 380В и измерять сопротивления от 0,1 до 50 Ом. Норма — до 0,1 Ом. При большем значении надо тщательно проверить качество переходных контактов цепи, особенно в месте присоединения заземляющей проводки к корпусу данного Шпарата.

Прибор М-372 применяют и для проверки в электроустановках напряжением до 1000 В целостности электрической цепи между открытыми **металлическими частями (например, проводника для уравнивания потенциалов между ними) и между корпусами обо обмотки, близкой к зажиму В, то прикосновение человека к первому электроприемнику с замыканием на корпус зажима А вызовет ток через человека и землю от провода А до провода В.**

**Однако по ГОСТ Р 50571.3 – 94 допускается питание от разделяющего трансформатора нескольких электроприемников при условии, что их корпуса будут соединены между собой для уравнивания потенциалов изолированным проводником, не заземленным и не связанным с защитными проводниками в первичной цепи трансформатора; штепсельные розетки во вторичной цепи будут иметь защитный контакт, присоединенный к системе уравнивания потенциалов, а гибкие кабели, питающие электроприемники, будут содержать защитный проводник, применяемый в качестве проводника уравнивания потенциалов; будет быстродействующая защита, отключающая питание при двойном замыкании разных фаз на два разных корпуса электроприемников во вторичной цепи.**

Разделительный трехфазный трансформатор может иметь мощность до 40 кВ · А, однофазный – до 25 кВ · А, безопасный разделительный – соответственно 16 и ЮкВ-А. При вторичном напряжении холостого хода до 33 В переменного тока или до  $33\sqrt{2}$  В пульсирующего токоведущие части могут быть доступны прикосновению, а иначе должны иметь оболочки без отверстий. Сопротивление изоляции обмоток должно быть не менее 2 МОм у основной, 7 МОм у усиленной и 5 МОм между первичной и вторичной обмоткой. Сопротивления проверяют мегаомметром на 500 В через 1 мин после приложения напряжения. Испытательное напряжение зависит от номинального напряжения обмоток. Например, если последнее составляет до 50 В, то испытательное, прилагаемое между первичной и вторичной обмоткой, – 500 В. при номинальном 1000 В испытательное – 5500 В.

**Малое (сверхнизкое) напряжение** – это номинальное напряжение переменного тока между фазами или относительно земли. Оно составляет не более 42 В (эффективное значение) по ПУЭ или до 50 В по ГОСТ 30331.3 –95. При постоянном или выпрямленном токе к сверхнизким относят напряжение до 120 В (с амплитудой пульсаций до 140 В). Применение малого напряжения – самостоятельная мера защиты от косвенного прикосновения, например, вместо зануления в помещениях без повышенной опасности (по ГОСТу) и в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных (по ПУЭ).

По ГОСТу защита от косвенного прикосновения не требуется при номинальном напряжении переменного тока до 25 В и постоянного – до 60 В.

Если питание малым (сверхнизким) напряжением осуществляется через понижающий, но неразделительный трансформатор, то один из зажимов его вторичной обмотки должен быть заземлен (зануден) на случай пробоя изоляции между обмотками.

По ГОСТу различают следующие системы сверхнизкого напряжения:

БСНН – безопасное сверхнизкое напряжение – система защиты из сверхнизкого напряжения в цепи и дополнительного защитного разделения со всеми другими цепями, включая заземление:

ЗСНН – сверхнизкое напряжение в заземленной токоведущей цепи и дополнительно защитное разделение с другими цепями, кроме цепей заземления.

Токоведущие части цепей БСНН и ЗСНН должны быть электрически отделены друг от друга и прочих цепей, а их изолированные проводники должны быть отделены от таких же проводников других цепей путем помещения в неметаллическую оболочку или разделены заземленным металлическим экраном. Штепсельные вилки цепей не должны входить в розетки других напряжений, а розетки не должны быть рассчитаны на включение в них вилок для цепей других напряжений и не иметь защитного (заземляющего, зануляющего) контакта.

На систему вилок и розеток для сверхнизкого напряжения существует ГОСТ Р МЭК 906.3—96. При горизонтальном расположении гнезд для вилки и нулевого кодирующего паза на розетке в положении цифры 12 на часовом циферблате, кодирующие пазы на розетке, соответствующие различным номинальным напряжениям, находятся в положениях: «1 ч» — для напряжения переменного тока 6 В, «2 ч» — для 12, «10 ч» — для 24, «11 ч» — для 48 В, т. е. смещены от нулевого паза на 30, 60, 300 и 330° по направлению движения часовой стрелки, а у вилки расположение кодирующих буртиков смещается против хода часовой стрелки. У розеток и вилок для постоянного тока тех же напряжений углы смещения кодирующих пазов и буртиков составляют 120, 150, 210 и 240°.

### **3.3. Классификация электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения током**

Согласно ГОСТ Р МЭК 335-1—94 установлены пять классов электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения электрическим током: 0, 01, I, II, III.

**К классу 0** относят изделия с номинальным напряжением более 42 В и рабочей изоляцией, не имеющие элемента для заземления (зануления) в виде винта, болта. В качестве элемента заземления (зануления) нельзя использовать винты, болты или шпильки, предназначенные для закрепления изделия или его части. До 1998 г. бытовые электроприборы изготавливали по классу 0, так как они

предназначались для работы в помещениях без повышенной опасности, где не требовалось зануление в установках напряжением менее 380 В.

**Класс 01** — изделия с рабочей изоляцией и элементом для заземления, но у провода нет защитной жилы. По классу 01 выполняют светильники, питаемые по защищенным проводам.

**Класс I** — изделия с рабочей изоляцией, элементом для заземления и проводом питания с заземляющей жилой, штепсельной вилкой с защитным контактом.

**Класс II** — изделия, имеющие у всех доступных прикосновению частей двойную или усиленную изоляцию относительно частей, нормально находящихся под напряжением. У таких изделий отсутствует элемент для заземления.

**Класс III** — изделия, не имеющие ни внутренних, ни внешних цепей с напряжением выше 42 В. При питании от внешнего источника изделия относят к классу III только в случаях, если они присоединяются непосредственно к источнику питания с номинальным напряжением не выше 42 В, у которого на холостом ходу оно не превышает 50 В, а при питании от сети — если оно осуществляется через разделительный трансформатор или преобразователь частоты с двойной изоляцией между обмотками.

*Согласно нормам* при измерении мегаомметром на 500 В после капитального ремонта сопротивление изоляции ручного электрифицированного инструмента, переносных светильников, трансформаторов, кабелей, удлинителей, преобразователей частоты должно быть не менее 2 МОм для рабочей, 5 МОм для дополнительной (защитной) и 7 МОм для усиленной изоляции. При эксплуатации сопротивления должны быть не менее 0,5 МОм для рабочей изоляции и 2 МОм для изделий класса II.

Существует и другая классификация электротехнических изделий (ГОСТ 14254 – 90) по степени защиты от попадания внутрь электрооборудования твердых частиц (первая цифра в обозначении IP – XY, где X и Y – цифры): **0** – отсутствие защиты; **1** – защита от проникновения предметов диаметром более 50 мм и случайного прикосновения большим участком тела к токоведущим или движущимся частям; **2** – защита от попадания предметов диаметром более 12 мм (от прикосновения пальцем); **3** – от проникновения инструмента или твердых частиц диаметром более 2,5

мм; **4** — то же, но более 1 мм; **5** и **6** — полная защита людей и разная степень защиты от пыли (от ее опасных отложений — 5, полная — 6).

### **3.4. Уравнивание и выравнивание потенциалов, изолирующие площадки**

**Уравнивание потенциалов** (система защитных проводников) заключается в металлическом соединении между собой открытых частей электрооборудования, а также сторонних проводящих частей для устранения напряжения между ними при появлении потенциала на одной из них, например при повреждении изоляции.

**Выравнивание потенциалов** — это снижение разности потенциалов между заземленными (зануленными) открытыми металлическими частями или заземлителем и поверхностью земли, пола путем укладки вблизи них неизолированных проводников, соединенных с заземленными (зануленными) частями. Это уменьшает напряжение прикосновения при повреждении изоляции. Можно рассматривать выравнивание потенциалов как частный случай уравнивания, если считать проводящий пол сторонней проводящей частью.

В каждом здании с системой уравнивания потенциалов должны быть соединены следующие проводники: магистральный нулевой защитный проводник; магистральный заземляющий проводник или основной заземляющий зажим; стальные трубы коммуникаций в здании или между зданиями и металлические части строительных конструкций; система центрального отопления; система вентиляции и кондиционирования. Эти проводящие части должны быть также соединены между собой на вводе в здание. Для эффективного действия системы уравнивания потенциалов сопротивление проводников между частями, охватываемыми системой уравнивания потенциалов, должно удовлетворять условию  $R < 50 / I_{CP}$ , где  $I_{CP}$  — ток, обеспечивающий срабатывание защитного устройства за время, не превышающее 5 с.

По ГОСТ Р 50571. 10—96 сечение проводников, уравнивающих потенциалы между двумя открытыми металлическими частями, должно быть не менее чем у защитных нулевых проводников, подключенных к ним, а у проводников,

уравнивающих потенциалы сторонних проводящих частей и главного заземляющего зажима (например, повторного заземления на вводе), должно быть не менее половины сечения максимального защитного проводника в данном здании и не менее  $6 \text{ мм}^2$  по меди.

Если электрооборудование охватывается системой уравнивания потенциалов, то при его номинальном напряжении до 25 В переменного тока и до 60 В постоянного или выпрямленного можно не иметь защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям с помощью оболочек или изоляции при условии нормальной эксплуатации только в сухих помещениях и при малой вероятности контакта человека с частями, находящимися под напряжением. При напряжении до 6 В переменного тока и до 15 В постоянного можно не иметь защиты от прямого прикосновения также и при других условиях.

В жилых домах нужно устраивать металлическое соединение водопроводных труб с металлическим корпусом ванн, так как иначе человек, находясь в ванне и касаясь водопроводного крана, может попасть под напряжение, если на водопроводных или отходящих от ванны канализационных трубах появится электрический потенциал. Это может случиться не только при повреждении изоляции, но и при недопустимом использовании канализационных или водопроводных труб внутри дома в качестве естественного заземлителя или нулевого проводника.

**Изолирующие площадки** используют, когда другие технические способы обеспечения безопасности трудно применить. Изоляцию площадки от земли рассчитывают так, чтобы ток через человека, стоящего на площадке, при соприкосновении с частями под напряжением был безопасным. Изоляция рабочего места — способ защиты от поражения током и при прямом прикосновении к токоведущим частям. Если пол такой площадки металлический, то его можно присоединить к частям, которых касается человек (уровнять потенциалы), и допускать большой ток утечки через изоляцию площадки, потому что ток через человека на площадке не будет протекать. С такой площадки невозможно прикоснуться к частям, связанным с землей, а для безопасного входа на площадку надо иметь изо-

лирующее звено лестницы. При ремонте воздушных сетей с телескопических вышек человек соединяет изолированную от земли металлическую площадку, на которой стоит, с проводом линии специальным проводником с помощью изолирующей штанги. После этого он может касаться провода голыми руками.

### **3.5. Защита от опасности перехода на провода с напряжением 380/220 В более высокого напряжения**

Иногда на провода переходит напряжение от сетей с более высоким номинальным напряжением, например при падении на провода линий 380/220 В проводов линии более высокого напряжения или при пробое изоляции между обмотками трансформаторов. Для уменьшения опасности таких случаев применяют заземление вторичных обмоток измерительных и силовых трансформаторов в нейтрали. Замыкание фазы сети напряжением 6...35кВ с заземленной сетью более низкого напряжения превращается в однофазное замыкание на землю. Поврежденный участок сети высокого напряжения должен быть отключен в кратчайший срок, определяемый временем, необходимым для поиска места повреждения. До этого заземление снижает напряжение вторичной цепи относительно земли. Например, при сопротивлении заземлителя 4 Ом на ТП 10/0,38 кВ и силе тока замыкания на землю в сети напряжением 10 кВ, равным 10 А, напряжение на нулевом проводе при пробое изоляции будет около  $4 \cdot 10 = 40$  В.

В сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью на случай перехода на провода этой сети более высокого напряжения включают между заземленным корпусом трансформатора и любым из выводов обмотки пониженного напряжения пробивной предохранитель. Внутри фарфоровой пробки этого предохранителя между ее резьбой и пяткой зажата среди двух металлических дисков тонкая слюдяная пластинка с отверстиями. При появлении напряжения выше нормального происходит пробой воздуха в отверстиях пластинки и сеть оказывается заземленной.

На потребительских подстанциях напряжением 6...35/0,4кВ опасный потенциал на нулевом проводе может появиться и при пробое изоляции разъеди-

нителеей или предохранителей на раму, заземленную через заземляющее устройство, к которому присоединена и нулевая точка обмотки 380/220 В, а также при срабатывании грозозащитных искровых промежутков или разрядников. Для защиты от заноса высоких потенциалов по нулевому проводу в коровник, мастерскую наиболее эффективная мера — выравнивание потенциалов, но возможно и включение на вводе УЗО по напряжению на нулевом проводе, действующего на четырехполюсный контактор.

## **Глава 4. Техника безопасности при эксплуатации электроустановок**

### **4.1. Общие правила электробезопасности при работе в действующих электроустановках**

Действующими электроустановками считаются такие, которые находятся под напряжением или на которые напряжение может быть подано в любой момент выключателями, рубильниками, магнитными пускателями и автоматами.

На каждом предприятии, в организации должен быть назначен ответственный за электрохозяйство (главный энергетик, инженер-электрик), который отвечает за его общее состояние и за соблюдение Правил эксплуатации электро-

установок потребителей и Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок. Ответственность за несчастный случай несут лица из числа обслуживающего электроустановку и административно-технического персонала, т. е. как непосредственно нарушившие правила, так и те, кто не обеспечил выполнения технических и организационных мероприятий, исключающих возможность несчастных случаев.

При эксплуатации электроустановок проводят их оперативное обслуживание и другие работы (профилактические испытания, ремонт).

***Оперативное обслуживание заключается:***

▶ в выполнении операций включения и отключения линий, генераторов и трансформаторов;

▶ постоянном наблюдении за режимом работы и состоянием всего электрооборудования;

▶ периодическом осмотре того оборудования, которое не находится вблизи постоянного рабочего места дежурного оперативного персонала;

▶ подготовке рабочего места для ремонтных бригад, их допуске к работе, надзоре за соблюдением ими правил безопасности и восстановлении схемы работы электроустановки; выполнении по мере надобности небольших внеплановых работ по уходу за электроустановкой.

***Оперативно-ремонтным персоналом называют*** ремонтный персонал, которому после специального обучения разрешают выполнять переключения в установках, не имеющих постоянного дежурства оперативного персонала, при подготовке рабочего места для ремонта.

***Все другие работы, кроме оперативной, выполняют тремя путями:***

▶ по наряду-допуску (далее — наряд);

▶ устному распоряжению вышестоящего электротехнического персонала;

▶ без распоряжений — в порядке текущей эксплуатации.

**В отношении мер безопасности работы в электроустановках подразделяют на три категории:**

- ▶ со снятием напряжения;
- ▶ без снятия напряжения — на токоведущих частях или вблизи них;
- ▶ без снятия напряжения — вдали от токоведущих частей, находящихся

под напряжением.

К работам, выполняемым со снятием напряжения, относят работы в электроустановке, в которой со всех токоведущих частей снято рабочее напряжение и закрыт вход в помещение, где расположены установки, оставшиеся под напряжением.

**Технические мероприятия по электробезопасности.** Их выполняют в указанной далее последовательности, когда работы должны проводиться со снятием напряжения, до их начала.

1. Отключают от источника напряжения необходимые для работы токоведущие части и принимают меры, препятствующие ошибочному или самопроизвольному включению выключателей или других коммутационных аппаратов, через которые напряжение могло бы попасть на эти токоведущие части.

2. На приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационными аппаратами вывешивают плакаты безопасности, запрещающие включение.

3. Проверяют отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены на время работ.

4. Включают заземляющие ножи разъединителей или, если их нет, накладывают на токоведущие части переносные заземляющие проводники, которые еще до проверки отсутствия напряжения присоединяют к заземлению.

5. Ограждают при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением части (если работа производится вблизи таких частей) и вывешивают предупреждающие плакаты на этих ограждениях («СТОЙ НАПРЯЖЕНИЕ») и предписывающие на рабочем месте («РАБОТАТЬ ЗДЕСЬ»). При оперативном обслуживании электроустановки двумя лицами все эти операции выполняют вдвоем, а при единоличном обслуживании допускается делать это и одному человеку.

**Организационные мероприятия по электробезопасности.** Они обеспечивают безопасность работы в электроустановке. К ним относят:

1. Письменное оформление задания на работу нарядом-допуском или записью в оперативный журнал устного распоряжения, которую делает отдающий или получивший распоряжение до его выполнения, или письменным перечнем работ, которые ответственный за электрохозяйство разрешает выполнять при эксплуатации;

2. Соблюдение процедуры допуска ремонтного персонала к работе;

3. Надзор во время работы за соблюдением правил безопасности этим персоналом;

4. Письменное оформление окончания работ, а также перерывов в работе и перевода работающих на другое рабочее место.

**К организационным мероприятиям относится и назначение лиц, ответственных за безопасное ведение работ, а также установление рационального режима труда и отдыха.**

**Наряд** — это задание на работы, составленное на бланке установленной формы и определяющее:

▶ содержание и место работы, время ее начала и окончания, срок (не более 5 дней), условия безопасного выполнения, состав бригады и ответственных за безопасное выполнение работы;

▶ выдающего наряд (или отдающего распоряжение);

▶ допускающего — ответственного лица из оперативного персонала; ответственного руководителя работ;

▶ производителя работ;

▶ наблюдающего, членов бригады.

**Распоряжение действует одну смену.**

*Лицо, выдающее наряд или отдающее распоряжение*, устанавливает объем работы и отвечает за ее безопасное выполнение, достаточность квалификации ответственного руководителя работ или наблюдающего, а если ответственный руководитель работ не назначается, то и за достаточность квалифика-

ции членов бригад. Право выдачи нарядов или распоряжений предоставляется лицам из электротехнического персонала, уполномоченным на это распоряжением лица, ответственного за электрохозяйство.

*Допускающий несет ответственность* за правильность выполнения и достаточность мер безопасности, которые необходимы для безопасности допускаемых, а также за правильность допуска к работе и приемки рабочего места после окончания работ с соответствующим оформлением.

*Ответственного руководителя работ* (или руководителя работ) с группой V обязательно назначают только при работах без снятия напряжения выше 1000 В на токоведущих частях или вблизи них, а также со снятием напряжения выше 1000 В или вдали от токоведущих частей, но несколькими бригадами одновременно. Он отвечает за численный состав бригад и квалификацию их членов. Принимая рабочее место от допускающего, руководитель отвечает наравне с ним за правильную подготовку рабочего места и выполнение мер безопасности.

*Производитель работ* (например, бригадир ремонтной бригады) принимает рабочее место от допускающего (если не назначали руководителя работ) и, так же как он, отвечает за правильное выполнение всех необходимых мер безопасности. Производитель работ обязан: проинструктировать бригаду о мерах безопасности и обеспечить их выполнение членами бригады, соблюдая правила безопасности; следить за тем, чтобы установленные на месте работы ограждения, плакаты и переносные заземления не снимали, кроме тех случаев, которые предусмотрены в наряде.

*Наблюдающего* назначают из электротехнического персонала с группой III для надзора за бригадами строителей, такелажников и другого неэлектротехнического персонала при его работе в электроустановке и за электротехническим персоналом при особо опасных условиях работы. **Наблюдающему запрещается** совмещать надзор с какой-либо работой или оставлять бригаду без надзора хотя бы на короткое время. **Он должен контролировать:**

► наличие установленных на месте работы заземлений, ограждений, плакатов, запирающих устройств;

► не допускать опасного приближения персонала или его инструмента к токоведущим частям и отвечать за невозможность поражения членов бригады электрическим током.

За безопасность, связанную с технологией работ, например на высоте или такелажных, отвечает бригадир.

***Члены бригады обязаны соблюдать инструкции, полученные при допуске к работе и во время нее.***

Допускается одному лицу совмещать обязанности двух лиц из перечисленных ранее, кроме обязанностей допускающего и производителя работ. При работе в установках напряжением до 1000 В по распоряжению можно совмещать обязанности допускающего и члена бригады. Допускается совмещение обязанностей допускающего и производителя работ при подготовке рабочего места на ВЛ любого напряжения, когда она сводится только к проверке отсутствия напряжения и установке переносных заземлений без операций с коммутационной аппаратурой.

***Наряд выписывают в двух экземплярах и вручают допускающему непосредственно перед подготовкой им рабочего места.*** При работе по наряду в бригаде должно быть не менее двух лиц, включая производителя работ.

***Перед допуском бригады к работе по наряду производитель работ совместно с допускающим (а когда назначен руководитель, то и с ним) проверяют выполнение технических мероприятий по подготовке рабочего места.*** Затем производитель работ (или руководитель, если он назначен) должен расписаться в наряде. После этого производится ***допуск***, который заключается в том, что допускающий проверяет:

► соответствие состава бригады указанному в наряде по именным удостоверениям;

► прочитывает по наряду фамилии руководителя, производителя работ и содержание работы, проводит краткий целевой инструктаж по технике безопасности: объясняет бригаде, откуда снято напряжение, где наложены заземления, какие части ремонтируемых и соседних присоединений к сборно-

распределительным шинам (например, линий, вводов) остались под напряжением, какие особые условия безопасности должны соблюдаться, указывает границы рабочего места и убеждается, что все понято правильно;

► доказывает бригаде, что напряжение отсутствует, показывая наложенные заземления, а если последние не видны с места работ, то прикасается рукой к токоведущим частям; сдает рабочее место производителю работ, что удостоверяют подписями в специальной графе обоих экземпляров наряда с указанием времени и даты начала работ. **Один экземпляр должен находиться у производителя работ, а второй — у оперативного персонала, который записывает время допуска, а впоследствии и окончания работ в оперативный журнал с указанием номера наряда.**

**С момента допуска к работе производитель работ** (или наблюдающий) обязан вести надзор за бригадой, чтобы предупредить нарушения правил. При необходимости отлучиться, если его на время отлучки не может заменить лицо, выдавшее наряд, руководитель работ или лицо оперативного персонала, надо вывести бригаду из РУ и запереть за собой дверь, а также оформить перерыв в работе в соответствующей графе наряда. Члены бригады могут отлучаться, но число остающихся, включая производителя работ при работе по наряду, должно быть не менее двух. Допускается пребывание одного члена бригады в другом помещении отдельно от производителя работ при необходимости по условиям работы, например при регулировке выключателя, привод которого расположен за стеной. Этому члену бригады производитель работ должен привести на место работ и дать ему необходимые указания по технике безопасности. Руководитель работ и оперативный персонал периодически проверяют соблюдение работающими правил безопасности. В случае их нарушения наряд у производителя работы отбирают и отстраняют от нее бригаду.

**После полного окончания работы и вывода бригады из РУ** руководитель работ принимает рабочее место, расписывается в наряде об окончании работы и сдает его оперативному персоналу. Если руководителя не назначили, то все это выполняет производитель работ. **Оперативный персонал за-**

**крывает наряд** после осмотра места работ (кроме работ на линии), чтобы убедиться, что там не осталось людей и инструмента. До закрытия наряда он снимает временные заземления, ограждения и плакаты. **Закрытие наряда выражается** в соответствующей пометке в нем, а также в оперативном журнале с подписью и указанием даты и времени. Только после закрытия наряда оборудование, отключенное для ремонта, включают в работу. При перерыве в работе на обед или на ночь наряд остается действительным, если отключенные части не включали и условия работ не изменялись. После перерыва на ночь бригаду допускает допускающий, а на обед — производитель работ.

#### **4.2. Особенности правил электробезопасности при работе в электроустановках напряжением до 1000 В**

Ответственным за электрохозяйство в таких установках может быть лицо с группой не ниже IV. Лицо, выдающее наряд или отдающее устные распоряжения на выполнение работ, — также с группой IV. Старший в смене оперативного персонала (или лицо, единолично обслуживающее такую установку) — с группой III. Также не менее группы III должен иметь производитель работ со снятием напряжения (без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них — группу IV).

К работам без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них в данных установках относят работы на ВЛ на расстоянии от работающих до проводов меньше 0,6 м, а от грузоподъемных машин, стропов, грузов — 1 м. В РУ напряжением до 1000 В расстояние от работающих до токоведущих частей не нормируют: лишь бы исключалось прикосновение к ним. При работе без снятия напряжения надо оградить части, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение. Временное ограждение в виде ширмы должно быть изготовлено из дерева или другого диэлектрического материала. В случае необходимости оно может касаться токоведущих частей (изоляционные накладные между контактами отключенного рубильника).

Накладки устанавливают вдвоем —лица с IV и III группами, пользуясь диэлектрическими перчатками, галошами и клещами. Работать вблизи токоведущих частей следует в диэлектрических галошах или стоя на диэлектрическом коврике, на изолирующей подставке и применяя инструменты с изолированными рукоятками. Можно использовать обычные, надев диэлектрические перчатки.

По наряду в установках напряжением до 1000 В выполняют работы по ремонту, монтажу, наладке и испытанию электрооборудования и приборов следующих объектов: распределительных устройств, щитов; воздушных и кабельных вводов и линий: электрических машин и трансформаторов, если работа на них по местным условиям особо опасна или важна. Однако, как правило, работу со снятием напряжения в установках напряжением до 1000 В выполняют по распоряжению. Отдающий распоряжение назначает производителя работ и указывает необходимые мероприятия безопасности. Затем он сам или получивший распоряжение делает запись в оперативном журнале, где указывает: кем отдано распоряжение, содержание, время и место работы, категорию работ в отношении мер безопасности, необходимые мероприятия безопасности, фамилии, инициалы и квалификационные группы производителя работ и членов бригады. После выполнения технических мероприятий по подготовке рабочего места их также записывают. Производитель работ принимает рабочее место и расписывается в журнале, указав время.

Работы со снятием напряжения до 1000 В может единолично выполнять лицо с группой III, а работы без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них должна выполнять бригада, состоящая не менее чем из двух лиц, включая производителя работ. Накладывать временное переносное заземление на отключенные токоведущие части обязательно при работе со снятием напряжения выше 380 В, а также при работе на ВЛ 380/220 В, воздушных и кабельных вводах в здания, сборных шинах РУ, щитов и сборок с любым напряжением до 1000 В. Накладывать и снимать заземления в установке напряжением до 1000 В может одно лицо оперативного персонала с группой III, надев диэлектрические перчатки.

В тех случаях, когда временного заземления не устанавливают, необходимы дополнительные мероприятия, предотвращающие ошибочную подачу напряжения на место работ: кроме отключения установочного автомата или магнитного пускателя вынимают патроны предохранителей. Допускается вместо этого запереть рукоятки коммутационных аппаратов или двери шкафов, в которых расположены эти аппараты, укрывать пусковые кнопки дистанционного включения или отсоединять концы проводов от включающей катушки. Между контактами выключателя два лица (с группами IV и III, причем второй может быть из числа ремонтного персонала) вставляют изолирующие накладки, используя диэлектрические перчатки и клещи.

Включать и отключать пусковую аппаратуру станка или производственного механизма разрешается работающим на них лицам (токарь, доярка) после получения инструктажа и практического обучения на рабочем месте электриком. Тем, кто обслуживает электротехнологические установки (электрозакалка, доильные установки), а также водителям автокранов присваивают квалификационную группу I, а при определенном стаже работы — II. Этим лицам разрешается также заменять лампы, обтирать и чистить осветительную, пусковую и защитную аппаратуру и электродвигатели после снятия с них напряжения. В порядке текущей эксплуатации без распоряжений или заявок, но с записью в журнале оперативный персонал может выполнять следующие работы: без снятия напряжения — уборку помещений до ограждения, чистку и обтирку корпусов электрооборудования, доливку масла в подшипник, уход за кольцами или коллекторами электрических машин, замену щеток, ламп или предохранителей; при полном снятии напряжения — ремонт магнитных пускателей и другой пусковой и коммутационной аппаратуры при установке ее вне щитов и сборок, а также небольшой ремонт отдельных электроприемников и осветительной проводки.

Эти работы может выполнять один человек, если ремонтируемый электроприемник или участок проводки отключают не менее чем двумя аппаратами, например рубильником и вынутыми патронами предохранителей. При замене сторевавшей плавкой вставки предохранителя необходимо снять с него напряже-

ние, отключив рубильник на том ответвлении, где сработал предохранитель. Если это невозможно сделать без отключения других ответвлений, например на групповых щитах, сборках с общим рубильником на ряд линий, то допускается единолично менять плавкие вставки вместе с патронами под напряжением, но сняв нагрузку (отключив выключатель ниже предохранителей), пользуясь защитными очками, диэлектрическими перчатками, изолирующими клещами. Без снятия нагрузки можно менять только предохранители в закрытых патронах.

#### **4.3. Особенности правил электробезопасности при работе в электроустановках напряжением выше 1000 В**

Квалификация всех лиц, эксплуатирующих или ремонтирующих такие установки, должна быть на одну группу выше, чем в установках напряжением до 1000 В, кроме включенных в бригаду лиц с группами I и II и обходчиков ЛЭП (могут иметь группу II).

К работам без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них в данных установках относят работу как на ВЛ, так и в РУ напряжением до 35 кВ, если работающие или машины находятся на расстоянии от токоведущих частей менее 0,6 и 1 м соответственно (как на ВЛ до 1000 В), а при напряжении 110 кВ — 1 и 1,5 м соответственно. Если же исключается приближение на расстояния менее указанных, как работающих, так и их инструментов или ремонтной оснастки, и не требуется принятия технических или организационных мер (например, непрерывного надзора) для предотвращения такого приближения, то работу считают выполняемой без снятия напряжения вдали от токоведущих частей.

Для работы без снятия напряжения вблизи токоведущих частей их ограждают временными ограждениями, так же как при напряжении до 1000 В (если напряжение до 15 кВ), но при установке накладок обязательно используют кроме диэлектрических перчаток изолирующие штанги или клещи, а группа у лиц, которые устанавливают накладки, должна быть V и IV. Токоведущие части напряжением выше 1000 В для работы на них отключать надо так, чтобы был

видимый разрыв цепи в самом выключателе или в разъединителе. Можно создать видимый разрыв путем извлечения патронов предохранителей, отсоединения концов проводов и кабелей, демонтажа участков шин.

Трансформаторы напряжения и силовые, связанные с выделенным для работы участком электроустановки, должны быть отключены со стороны как высшего, так и низшего напряжения, чтобы исключить обратную трансформацию.

Всегда принимают меры для предотвращения ошибочного включения коммутационных аппаратов запирающим механическим замком ручных приводов, отключением цепей дистанционного управления, опусканием груза у грузовых приводов. При работе в шкафах КРУ с выкатными тележками или на линиях, питаемых через такие шкафы, тележку необходимо выкатить, запереть на замок верхнюю шторку, за которой находятся токоведущие части. При оперативных переключениях более чем на одном присоединении к сборным шинам делать их надо вдвоем: один управляет коммутационной аппаратурой, а второй контролирует правильность операций, используя заранее заполненный бланк переключений. В нем записывают правильную последовательность действий, что особенно важно при отсутствии блокировки от ошибочных операций с разъединителями под нагрузкой.

Проверять отсутствие напряжения в РУ и на подстанциях разрешается одному из оперативного персонала с группой IV. На ВЛ напряжением выше 1000 В его отсутствие проверяют вдвоем лица с IV и III группами.

На открытых подстанциях, в ОРУ, на ВЛ разрешается пользоваться указателем напряжения только в сухую погоду. В сырую возможно перекрытие изоляции разрядом. Допускается в сырую погоду убедиться в отсутствии напряжения путем прослеживания схемы в натуре (по видимым разрывам). На ВЛ проверяют ее внешние признаки и обозначения на опорах.

В установке напряжением выше 1000 В работы на отключенных токоведущих частях без их заземления не допускаются. Переносные заземления устанавливают здесь также в диэлектрических перчатках (как и при напряжении до 1000 В), но вдвоем лица IV и III групп, причем второе лицо может быть из ре-

монтажного персонала. Лицо с группой IV может в одиночку заземлять установку заземляющими ножами разъединителей с механическим приводом или с помощью изоляционной штанги, которая позволяет закрепить переносное заземление на токоведущих частях, не касаясь их руками. Запрещается использовать в качестве переносных заземляющих проводников случайные провода, не предназначенные специально для этой цели, или присоединять их скруткой. В РУ напряжением выше 1000 В и на подстанциях заземляют токоведущие части всех фаз или полюсов, отключенные для работы на них со всех сторон, откуда может быть подано напряжение. Точки заземления могут быть отделены от частей, на которых работают, отключенными коммутационными аппаратами или демонтированными участками шин. проводов. Как к токоведущим, так и к заземленным частям заземляющие проводники присоединяют на зачищенных от краски местах, которые в закрытых РУ (ЗРУ) окаймляют черными полосами.

Нельзя приближаться к месту замыкания на землю ближе чем на 4 м в ЗРУ или ближе чем на 8 м в ОРУ до отключения поврежденного участка. Подойти ближе можно только для его отключения или для оказания первой помощи пострадавшему, но при этом необходимо пользоваться диэлектрическими ботами или ковриками. При работе на ОРУ с земли место работ ограждают канатом с предупреждающими плакатами на нем, обращенными надписями внутрь ограждения. При работе на порталах укрепляют на них плакат «**ВЛЕЗАТЬ ЗДЕСЬ**», а на соседних — «**НЕ ВЛЕЗАЙ УБЬЕТ**».

*В электроустановках напряжением выше 1000 В по распоряжениям можно работать вдвоем или, имея группу IV, одному, в частности в ЗРУ, где токоведущие части напряжением выше 1000 В находятся за постоянными сетчатыми или сплошными ограждениями или на высоте не менее 2,75 м, в шкафах релейной защиты на ОРУ и приводах выключателей, вынесенных за сетчатое ограждение. Убирать помещения щитов управления, коридоров ЗРУ разрешается лицу с квалификационной группой I. Такая работа может выполняться и в порядке текущей эксплуатации, как и уборка территории ОРУ, очистка ее от снега, травы, разгрузка или погрузка грузов на ОРУ, ремонт светильников и за-*

мена ламп, расположенных вне камер и ячеек ЗРУ, ОРУ, уход за щетками электродвигателя и их замена, за пальцами и коллекторами электрических машин, возобновление надписей на кожухах оборудования и ограждениях.

#### **4.4. Основные особенности правил электробезопасности при работах на ВЛ**

Обходы и осмотры ВЛ под любым напряжением могут проводить единолично и без наряда лица с группой не ниже II. При этом всегда следует считать, что линия под напряжением, и во время осмотра нельзя подниматься на опоры или конструкции мачтовых подстанций и разъединительных пунктов. Ночью обходчик должен идти по краю трассы, чтобы не попасть под напряжение при обрыве провода.

Обнаружив оборвавшийся или сильно провисший провод, электрик должен принять меры для предотвращения приближения к нему людей. Если провод касается земли, то при напряжении линии более 1 кВ нельзя подходить к нему ближе 8 м. Нужно объяснить это местным жителям и, установив охрану из них, немедленно сообщить о месте обрыва в ближайший участок района электрических сетей. В ненаселенной местности надо снять с ближайших опор два-три предупредительных плаката и укрепить их на палках вокруг места обрыва.

Если для работы нужно снять напряжение с линии, то ее отключают с обеих сторон выключателями и разъединителями и заземляют при напряжении ВЛ более 1000 В во всех РУ и у секционирующих аппаратов, где эта ВЛ отключена. На ВЛ напряжением до 1000 В заземление делают только на месте работ. На приводах разъединителей вывешивают плакаты **«НЕ ВКЛЮЧАТЬ РАБОТА НА ЛИНИИ»**. Заземление на месте работ не устанавливают, если голова монтера, работающего на опоре на высоте более 3 м от земли до подошвы ног, находится на расстоянии более 1 м от уровня нижних проводов на линиях напряжением 6... 10 кВ или 2 м на линии 35 кВ и выше и если исключена возможность приближения к проводам инструментов и приспособлений ближе, чем на эти расстояния. При ведении работ ближе к про-

водам или соприкосновении с ними, но без их разрыва все три фазы заземляют не только по концам ВЛ, но также и на опоре, где работают. Если при работе провода разрезают, то заземления устанавливают по обе стороны от разрыва. На опоре, которая имеет заземляющий спуск, нижний конец заземления присоединяют к нему, а если не имеет — к металлическому заземлителю в виде бурава, завинченного в землю на глубину 0,5... 1 м. На ВЛ напряжением до 1000 В с нулевым проводом заземляющий проводник присоединяют к этому проводу.

По наряду на линиях напряжением выше 1000 В выполняют все работы с отключением линий и те работы без снятия напряжения, которые связаны с подъемом на опору выше 3 м (от земли до ног) или прикосновением к проводам, тросам, изоляторам; заменой элементов опоры или откапыванием ее глубже чем на 0,5 м; применением грузоподъемных машин и механизмов в пределах охранной зоны линии, а также при вырубке деревьев на краю трассы, когда требуются меры для предотвращения падения деревьев на провода.

***Запрещается выдавать разрешение на начало работ со снятием напряжения*** на еще не отключенной линии, заранее обусловив час, с которого линия будет готова к проведению работ. Производитель работ должен постоянно наблюдать за бригадой, поэтому участок ее работ должен быть не более 2 км, а если производитель работ работает сам, то не более одного промежуточного пролета, чтобы вся бригада была в поле его зрения.

***Работы без подъема на опору или с подъемом не выше 3 м от земли*** как на отключенных, так и неотключенных линиях выполняют по устному распоряжению, если не разбирают конструктивные элементы опоры (проверка степени загнивания приставок, подтяжка ослабевших бандажей, установка плакатов). Эти работы может выполнять одно лицо с квалификационной группой III. если требуется подъем на опору, или группой II. если не требуется. На линиях напряжением до 1000 В с группой II можно подниматься на опору на 3 м. Измерять сопротивление повторного заземления нулевого провода и грозозащитного заземления изоляторных крюков могут без отключения линии два человека с

группами III и II, если есть болтовой разъем на заземляющем спуске. Причем разъединять его надо в диэлектрических перчатках.

**Работы с подъемом на опору выше 3 м от земли**, но за 1...2 м до уровня нижних проводов не требуют снятия с них напряжения. Это, например, замена приставок, распорок. Производитель таких работ должен иметь квалификацию не ниже группы IV, за исключением работ, не требующих разборки частей опоры, когда можно иметь и группу III. Производитель работ может принимать участие в работе бригады, если она сосредоточена на одной опоре и не применяют грузоподъемные машины или телескопические вышки.

**Работы с подъемом до верха опоры или на проводе без отключения линии:** верховой осмотр опор, провода, грозозащитного троса, изоляторов и арматуры; их ремонт и замена; выправка опор; установка и снятие трубчатых разрядников; антисептическая обработка древесины верхней части опор, окраска верхней части опор и троса; работы с измерительными штангами. Такие работы без снятия напряжения разрешается выполнять с соблюдением особых правил. Укажем только важнейшие из них, касающиеся ВЛ напряжением до 1000 В. В этом случае без письменного распоряжения разрешается менять на деревянной опоре без заземляющего спуска перегоревшие пробки предохранителей или лампы и чистить арматуру светильников, если они расположены ниже фазных проводов. При этом необходимо пользоваться диэлектрическими перчатками, а во время смены предохранителей еще и защитными очками. Работать следует, стоя на обоих когтях и прикрепившись поясом к опоре, или с деревянной лестницы вдвоем (второй поддерживает лестницу). Необходимо иметь в виду, что нулевой провод нужно располагать ниже фазных проводов. Если на тех же опорах расположены провода радиотрансляционной сети напряжением до 360 В, то замена предохранителей и ламп без отключения и заземления проводов радиотрансляционной сети недопустима.

Работы на опоре ВЛ напряжением до 1000 В или с телескопической вышки, не имеющей изолирующего звена, выполняют, соблюдая расстояние от работающего или его инструмента до провода, находящегося под напря-

жением (в том числе связи, радификации), не менее 0,6 м. Если это расстояние соблюдения невозможно, линию отключают и заземляют на месте работ. Бригада для работ на ВЛ напряжением до 1000 В с телескопической вышки должна состоять из трех человек, считая водителя. Один из членов бригады должен находиться внизу (но не под корзиной!), подавая команды водителю о подъеме и спуске корзины и не допуская посторонних. Производитель работ должен иметь квалификационную группу не ниже III, а лица, работающие на вышке, и водитель — группу II.

Если на заземляющем спуске у опоры ВЛ напряжением до 1000 В нет болтового разъема у основания опоры и необходимо отсоединить этот спуск от нулевого провода на время измерения сопротивления заземлителя, то отключение (и присоединение) нужно выполнять по наряду с отключением и заземлением линии. Однако допускается делать это под напряжением, установив изолирующее ограждение на фазных проводах с помощью изолирующей штанги.

Работы на ВЛ, которая отключена, но пересекает или проходит вблизи другой действующей ВЛ, т. е. может иметь на проводах и тросах наведенное напряжение, должны проводиться в случае прикосновения к проводам или тросам с заземлением их на каждой опоре, где работают. Какие ВЛ могут оказаться под наведенным напряжением, заранее определяют ИТР эксплуатирующей ВЛ организации. Если опоры такой ВЛ железобетонные, то провода соединяют с ними для выравнивания потенциала, а если провод заменяют, то и старый и новый провода должны быть заземлены (на пересечениях — с двух сторон), даже когда они лежат на земле. Разрезаемый провод в месте разреза нужно зашунтировать временным проводником. При использовании грузоподъемных машин, телескопических вышек в охранной зоне ВЛ, находящейся под напряжением, машины необходимо заземлять (кроме гусеничных).

#### **4.5. Особенности правил безопасности при эксплуатации мачтовых понизительных подстанций**

На мачтовых потребительских трансформаторных подстанциях (ТП) или

распределительных (переключательных) пунктах оперативные переключения может делать один работник с квалификационной группой IV, если он обучен и знает данный участок сети, а ТП или распределительный пункт имеют простую схему и к ним подходят не более трех ВЛ, разъединители имеют механический привод, расположенный не выше 3 м от земли, а работник использует диэлектрические перчатки. Чтобы исключить случайное включение линии под напряжение, приводы разъединителей на распределительных пунктах запирают. Нельзя делать переключения и менять предохранитель во время приближения грозы.

Любую работу с подъемом на верхнюю площадку подстанции выполняют по наряду два лица с квалификацией не ниже групп IV и III. Открывают ящик распределительного щита низкого напряжения и рубильниками снимают нагрузку с трансформатора. Это необходимо для того, чтобы потом можно было разъединителем отключить трансформатор от линии. Кроме того, это предохраняет от случайной обратной трансформации со стороны низкого напряжения на первичную обмотку. Если известно, что напряжение может быть подано на подстанцию со стороны линий напряжением до 1000 В, то эти линии должны быть также отключены с противоположного от подстанции конца и приняты меры против их ошибочного включения, а на подстанции на эти линии до рубильников должен быть наложен переносной заземляющий проводник. Надев диэлектрические перчатки и галоши для защиты от напряжения прикосновения в случае повреждения изоляции, отпирают и отключают разъединитель и проверяют положение ножей, осматривая их с земли (все ли отключились). Отпирают и раскладывают лестницу. Запирают ящик распределительного щита и рукоятку привода разъединителя. Поднявшись на верхнюю площадку, присоединяют заземляющий конец переносного заземляющего проводника к заземляющему спуску подстанции. С помощью указателя напряжения убеждаются в отсутствии напряжения на всех фазах и присоединяют заземляющий проводник к токоведущим частям.

Складная лестница мачтовой подстанции должна быть заблокирована с приводом разъединителя, чтобы ее нельзя было открыть, пока не выключен

разъединитель, или включить его, если забыли сложить лестницу. На мачтовой подстанции, а также на опорах ВЛ напряжением выше 1000 В предохранители может менять оперативный персонал вдвоем (группы IV и III) без наряда, но со снятием напряжения с предохранителей и наложением заземления.

Если нужно подняться выше верхней площадки, надо отключить и заземлить подстанцию и линию напряжением выше 1000 В.

#### **4.6. Особенности правил безопасности при эксплуатации генераторов и электродвигателей**

Работать в цепи статора остановленного генератора разрешается только после соблюдения общих правил и вывешивания плакатов «НЕ ВКЛЮЧАТЬ РАБОТАЮТ ЛЮДИ» у пускового ящика валоповоротного устройства и на гнездах для включения цепи синхронизации. Вращающийся генератор, хотя и не возбужденный рассматривают как находящийся под напряжением.

Заменять щетки или ухаживать за ними может один человек, специально назначенное лицо или оперативный персонал без наряда в порядке текущей эксплуатации. При этом нельзя одновременно касаться руками токоведущих частей с разным потенциалом или токоведущих и заземленных частей, следует пользоваться диэлектрическими галошами или ковриками и инструментом с изолирующими рукоятками, но не диэлектрическими перчатками. Нужно следить за тем, чтобы одежда не была захвачена валом машины (применяют нарукавники, плотно обтягивающие руки у запястья). При обточке и шлифовании коллектора или колец пользуются защитными очками. Женщины при обслуживании генераторов и двигателей должны работать в головном уборе и брюках.

Во время работы нельзя снимать ограждения выводов обмоток и кабельных воронок электродвигателя, а также его движущихся частей (конца вала, шкива, муфты). Эти ограждения следует устраивать так, чтобы их нельзя было снять без инструментов. Корпуса электродвигателей и пусковой аппаратуры необходимо занулять. Операции с пусковыми устройствами двигателей напряжением выше 1000 В, имеющими ручное управление (переключатель «звезда — треугольник», пусковой реостат), нужно выполнять, стоя на диэлек-

трическом коврике и надев диэлектрические перчатки.

При ремонтных работах на движущейся части электродвигателя или механизма, приводимого им в движение, надо кроме отключения двигателя вынуть плавкие вставки предохранителей или запереть на замок рычажные приводы рубильников, автоматов, или снять рукоятки с них и, чтобы предотвратить вращение двигателя со стороны связанного с ним насоса или вентилятора, закрыть соответствующие задвижки, перевязать их цепью и вывесить на них запрещающие плакаты.

#### **4.7. Требования безопасности при измерениях испытаниях и приемке установок в эксплуатацию**

Работы, связанные с измерениями переносными приборами в установках напряжением до 1000 В, выполняет по устному распоряжению один электрик с группой III. В РУ, на распределительных щитах должны работать двое и записывать работы в журнал. Измерения на опорах ВЛ напряжением до 1000 В можно выполнять одному, стоя на когтях и прикрепившись поясом к опоре (а не с лестницы).

Измерения мегаомметром в установках напряжением выше 1000 В или испытания высоким напряжением выполняют двое с группами IV и III. На отключенном электродвигателе измерения мегаомметром может делать одно лицо с группой III по устному распоряжению. Испытания отключенного двигателя на специальной установке повышенным напряжением выполняет один монтер с группой IV без наряда. Измерения мегаомметром могут выполнять члены бригады на участке работ по распоряжению производителя работ без письменного оформления. Перед началом работ с мегаомметром нужно запретить окружающим касаться частей, к которым он подключается. При проверке изоляции мегаомметром допускается снять заземление токоведущих частей на время проверки, после того как рабочее место будет полностью подготовлено (с установкой заземления). Закончив эту работу и переходя к другим, нужно вновь наложить заземление.

Допускается присоединять и отключать вольтметры и другие приборы, не требующие разрыва первичной цепи под напряжением до 10 кВ, но при этом следует применять провода с надежной изоляцией и специальные наконечники с изолирующими рукоятками. Такое подсоединение, а также измерение токов клещами можно выполнять с помощью защитных очков, диэлектрических перчаток и бот или изолирующей подставки. Измерения переносными приборами без снятия напряжения выше 1000 В выполняют по наряду два лица с квалификационной группой V у первого и не ниже группы III у второго. С токоизмерительными клещами или измерительными штангами работают по наряду двое с группами IV и III.

Место испытаний высоким напряжением и соединительные провода, которые при испытании окажутся под напряжением, необходимо оградить (щитами, канатом) от посторонних лиц или поставить наблюдающего. Перед подачей испытательного напряжения производитель работ лично убеждается в том, что это безопасно, и предупреждает свою бригаду словами: «Даю напряжение». Около рубильника дежурит член бригады. Чтобы предупредить случайное включение рубильника, между ножами и верхними контактами закладывают пластинку из миканита. После испытания производитель работ снижает напряжение, разряжает токоведущие части, несколько раз заземляя соединительный испытательный провод. Убедившись в отсутствии заряда, он сообщает: «Напряжение снято». После этого лицо, выполнявшее присоединение к объекту, с помощью штанги накладывает заземление на провод, соединяющий вывод испытательного устройства с испытуемым оборудованием, а также на изолированные от земли части испытуемого оборудования, на которых, как на промежуточных обкладках конденсатора, может остаться заряд. Испытание выполняют в диэлектрических перчатках, стоя на изолирующем основании. На противоположном конце испытуемого кабеля вывешивают плакат «**СТОЙ НАПРЯЖЕНИЕ**», а на приводах отключенных разъединителей — плакаты «**НЕ ВКЛЮЧАТЬ РАБОТАЮТ ЛЮДИ**». Если в помещении, где находится противоположный конец кабеля, ведутся другие работы, то около кабеля ставят наблюдающего с группой II, который не разрешает прибли-

жаться к кабелю. Такую охрану надо выставлять и в случае, если провода под испытательным напряжением проходят вне помещений установки с напряжением более 1000 В (коридоры, территория). Корпус испытательной установки заземляют. Если установка передвижная, то ее делят на два отделения: высоковольтное и низковольтное, где находится оператор. Дверь в высоковольтное отделение должна быть оборудована блокировкой, которая снимает напряжение с высоковольтной части при открывании двери.

Электростанции, электромеханизированные фермы и другие объекты принимает в эксплуатацию Государственная комиссия. Она проверяет техническую документацию; соответствие выполненных работ проекту, ПУЭ, ПЭЭП, строительным, санитарным и пожарным нормам; состояние средств защиты и тушения пожара; наличие эксплуатационных кадров. До предъявления нового производственного объекта Государственной комиссии его готовность проверяет рабочая комиссия, назначаемая заказчиком, с участием его инженера по охране труда и представителей профорганизации, строительно-монтажной, проектной и наладочной организаций.

В частности, эксплуатирующему персоналу должны быть переданы строительно-монтажной организацией акты на скрытые работы по устройству заземлений, описание их конструкций и протоколы измерений сопротивления заземлителей, проверки действия защиты в системе зануления. На находящееся в эксплуатации заземляющее устройство должен быть составлен паспорт со схемой заземления и его техническими данными, результатами его проверок и ремонтов.

Перед первым включением под напряжение элементов электроустановок выделяют ответственного за безопасное опробование данного элемента. Необходимо, чтобы до опробования были на месте и исправны все ограждения, замки, надписи и предупредительные плакаты, защитные средства, противопожарный инвентарь, защитное заземление, освещение. К работам по опробованию электроустановки допускают только лиц, имеющих удостоверение о проверке знаний по технике безопасности. До включения установки в эксплуатацию испытывают изоляцию электрооборудования и кабелей повышенным напряжением

ем, налаживают работу машин, прокручивают двигатели. Перед первым включением под напряжение элемента высоковольтной установки (при испытаниях) об этом заранее оповещают руководителей строительных и монтажных организаций, работники которых заняты на данном объекте. Перед опробованием смонтированных механизмов проверяют крепление фундаментных болтов, работу электродвигателя при разъединенных полумуфтах и убеждаются в отсутствии посторонних предметов внутри оборудования. Когда опробуют работу

механизмов, все пальцы полумуфт уже должны быть установлены. Вновь сооруженный объект включает под напряжение эксплуатационный персонал после разрешения Государственной приемочной комиссии, которая должна убедиться в том, что нет недоделок, препятствующих нормальной эксплуатации или ухудшающих санитарно-гигиенические условия и безопасность труда, и получить письменное уведомление строительно-монтажной организации о том, что люди сняты с объекта и он подготовлен к включению под напряжение.

#### **4.8. Особенности требований электробезопасности в жилых и общественных зданиях**

В сельских жилых и общественных домах большинство помещений имеет деревянные нетокопроводящие полы и их относят к помещениям без повышенной опасности. В них до 1998 г. допускалось не применять зануление при напряжении менее 380 В. Предохранители с плавкими вставками или однополюсные установочные автоматы часто включали как в фазном, так и в нулевом проводе двухпроводной сети для более надежной защиты от пожара из-за коротких замыканий. Однако менять лампы, очищать от пыли или чинить светильники и электропроводку надо при снятом напряжении. Поэтому важно, чтобы выключатели были установлены в фазном проводе. Кроме того, на металлический крюк для подвешивания незануленного светильника должна быть надета изоляционная трубка. Осветительная арматура в жилых помещениях должна быть подвешена на высоте не менее 2 м. При этих условиях в помещениях без повышенной опасности разрешается не занулять подвесные светильники.

Квартирные кухни относят к помещениям с повышенной опасностью пора-

жения током, так как в них металлические трубопроводы связаны с землей и возможно случайное прикосновение одновременно к ним и к корпусам электрооборудования, оказавшимся под напряжением. Стационарные электроплиты следует занулять отдельным /ТГ-проводником (пятым в случае трехфазных плит) или с помощью стальной трубы, в которой проложена электропроводка, причем этот проводник присоединяют к нулевой рабочей шине на распределительном или этажном щитке. Использование для этого нулевого рабочего TV-проводника не допускается.

Все вновь строящиеся жилые, общественные и временные здания должны полностью соответствовать ПУЭ и ГОСТу. При капитальных ремонтах или реконструкциях старых зданий должны предусматривать зануление всех электроприемников класса защиты I, рассчитанных на номинальное напряжение выше 50 В, в том числе включаемых через штепсельные розетки, которые должны иметь защитный контакт, выполненный при однофазном питании, например, как у так называемых «евророзеток». Соответствующий контакт должен быть и у вилок, подключаемых к этим розеткам электроприемников. От защитного контакта розетки нулевой защитный проводник должен быть проложен до группового щитка. На линии розеток должно быть УЗО-Д с уставкой до 30 мА.

По ГОСТ Р 50571.11—96 «Раздел 701. «Ванные и душевые комнаты» пространство в этих комнатах подразделяют на зоны. Внутри ванной или душевого поддона — зона 0; над ними, включая края ванны или поддона, а если поддона нет, то на участке пола в радиусе 0,6 м от разбрызгивателя душа — зона 1; на расстоянии до 0,6 м от границ зоны 1 — зона 2, а далее зона 3.

В зонах 0, 1 и 2 нельзя устанавливать распределительные устройства, соединительные коробки и устройства управления, кроме выключателей, управляемых шнурком, — в зонах 1 и 2. В зоне 3 могут быть штепсельные розетки, подключенные или через индивидуальный разделительный трансформатор, или через УЗО-Д с током срабатывания до 30 мА, или к источнику питания системы БСНН или ЗСНН. В зоне 0 допускаются только электроприборы с защитой по системе БСНН или ЗСНН и номинальным напряжением до 12 В при условии установки источника питания за пределами зо-

ны 0. В зоне 1 могут быть установлены только электрические водонагреватели, в зоне 2 —то же и светильники с двойной изоляцией. Все металлические корпуса электрооборудования и сторонние проводящие части в зонах 1, 2 и 3 и все защитные проводники присоединяют к системе уравнивания потенциалов. В частности, металлические поддоны и корпуса ванн должны быть соединены с водопроводными трубами. Для обогрева помещения в полу во всех зонах размещают нагревательные элементы, покрытые металлической сеткой или заземленной металлической оболочкой, присоединенной к системе уравнивания потенциалов. Уравнивание без заземления (на повторное заземление нулевого провода) не допускается. В зонах 0, 1, 2 может быть только электропроводка, предназначенная для питания расположенного там электрооборудования (нетранзитная). Все провода или кабели должны быть без металлической оболочки. Рекомендуется скрытая электропроводка, но допускается и открытая с защищенными проводами и кабелями (АНРГ, АППР, АВРГ) или изолированными проводами на роликах на высоте не менее 2,5 м (АПР, АПН).

В соответствии с указаниями по применению устройств защитного отключения в электроустановках жилых зданий следует обязательно применять УЗО-Д с током срабатывания до 30 мА на групповых линиях, питающих штепсельные розетки, особенно расположенные в ванных и душевых комнатах, если они там не присоединены к индивидуальному разделительному трансформатору постоянного контроля сопротивления изоляции (защитно-отключающего). Таким устройством должны снабжаться все передвижные автономные источники питания с изолированной нейтралью.

В качестве проводника металлической связи между корпусом передвижной электрифицированной установки и корпусом источника можно применять дополнительную жилу в питающем кабеле, например пятую в четырехпроводной сети или четвертую в трехпроводной. В передвижных электроустановках с автономными передвижными источниками питания допускается наличие разъединяющих приспособлений в цепях всех проводников, включая связывающие

корпуса источника и установок.

При срабатывании защитно-отключающих устройств питание должно отключаться до соединительного кабеля между источником питания и передвижной установкой.

## **Глава 5. Безопасность электроустановок**

### **5.1. Общие теоретические сведения и определения**

*Электроустановками* называется совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

В различных электроустановках различна опасность поражения электрическим током, так как параметры электроэнергии, условия эксплуатации электрооборудования и характер среды помещений, в которых оно установлено, весьма разнообразны, Комплекс защитных мер должен соответствовать условиям применения электрооборудования, обеспечивая достаточную безопасность.

Опасность поражения, а также возможная его тяжесть, прежде всего, зависят от номинального напряжения. По напряжению различаются установки до 1000 В и электроустановки напряжением выше 1000 В.(Применяются также малые напряжения - 36; 12 В и менее).

В реальных электротехнических изделиях и в электроустановках токоведущие части всегда имеют электрическую связь с корпусом (или землей) через распределенные параметры-сопротивление изоляции и емкость токоведущих элементов. Поэтому, независимо от наличия или отсутствия связи с землей (корпусом), цепи между токоведущим и элементами и землей всегда замкнуты и в них протекают токи утечки, а в местах повреждения электрической изоляции - токи замыкания на землю (корпус).

От значения эквивалентных сопротивлений токоведущих элементов относительно земли зависят<sup>1</sup> условия электробезопасности, пожаробезопасности и, в ряде случаев, правильность функционирования электрических приборов. В этом отношении электроустановки разделяются на:

- 1) электроустановки выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью (с большими токами замыкания на землю);
- 2) электроустановки выше 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью (с малыми токами замыкания на землю);
- 3) электроустановки до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью;
- 4) электроустановки до 1 кВ с изолированной нейтралью.

*Электрической сетью с эффективно заземленной нейтралью* называется трехфазная электрическая сеть выше 1 кВ, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4.

*Коэффициентом замыкания на землю* в трехфазной электрической сети

называется отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

**Глухозаземленной нейтралью** называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформаторы тока).

**Изолированной нейтралью** называется нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты, заземляющие дугогасящие реакторы и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.

**Заземлением** какой-либо части электроустановки или другой установки называется преднамеренное электрическое соединение этой части с заземляющим устройством.

**Защитным заземлением** называется заземление частей электроустановки с целью обеспечения электробезопасности.

**Рабочим заземлением** называется заземление какой-либо точки токоведущих частей электроустановки, необходимое для обеспечения работы электроустановки.

**Занулением** в электроустановках напряжением до 1 кВ называется преднамеренное соединение частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока. Это основная мера защиты от поражения людей током в случае прикосновения к корпусам электрооборудования и металлическим конструкциям, оказавшимся под напряжением из-за повреждения изоляции или однофазного короткого замыкания в электроустановках до **1000 В** в сети с заземленной нейтралью. Назначение зануления такое же, как и заземления: устранить опасность поражения людей током при пробое фазы на корпус. Эта задача решается автоматическим отключением поврежденной установки от электрической сети.

Принцип действия зануления - превращение пробоя на корпус в однофазное короткое замыкание с целью вызван, ток большой величины, способный обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную установку от питающей сети.

Однако необходимо отметить, что зануление как средство защиты не обеспечивает в полной мере безопасности. В момент короткого замыкания в нулевом проводе возникает опасность поражения, которая будет существовать до тех пор, пока не произойдет отключение поврежденного оборудования благодаря сгоранию предохранителя или отключению аппарата защиты.

**Замыканием на землю** называется случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с конструктивными частями, не изолированными от земли, или непосредственно с землей.

**Замыканием на корпус** называется случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с их конструктивными частями, нормально не находящимися под напряжением.

**Заземляющим устройством** называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

**Заземлителем** называется проводник (электрод) или совокупность металлических - соединенных' между собой проводников(электродов), находящихся в соприкосновении с землей.

**Заземляющим проводником** называется проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем.

**Защитным проводником (РЕ)** в электроустановках называется проводник, применяемый для защиты от поражения людей и животных электрическим током. В электроустановках до 1 кВ защитный проводник, соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора, называется *нулевым защитным* проводником.

**Нулевым рабочим проводником (N)** в электроустановках до 1 кВ называется проводник, используемый для питания электроприемников, соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях

трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в трехпроводных сетях постоянного тока

**Совмещенным нулевым защитным и нулевым рабочим проводником (PEN)** в электроустановках до 1 кВ называется проводник, сочетающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью нулевой рабочий проводник может выполнять функции нулевого защитного проводника.

В настоящее время применяются следующие типы систем шемления электрических сетей: TN-S, TN-C, TN-C-S, TT, IT. На рис. *1.1 a, b, c, d, e* даны примеры типов систем заземления для обычно используемых трехфазных сетей переменного тока. На рис. *1.2 a, b, c, d, e* даны примеры типов систем заземления сетей постоянного тока. Используемые на рисунках буквенные обозначения имеют следующий смысл.

Первая буква - характер заземления источника питания:

T - непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей источника питания к земле;

I - все токоведущие части изолированы земли или одна точка заземлена через сопротивление.

Вторая буква - характер заземления открытых проводящих частей электроустановки:

T - непосредственная связь открытых проводящих частей с землей, независимо от характера связи источника питания с землей;

N - непосредственная связь открытых проводящих частей с точкой "заземления источника питания (в системах переменного тока обычно заземляется нейтраль).

Последующие буквы (если таковые имеются) - устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

S - функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются отдельными проводниками;

C - функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объ-

единены в одном проводнике (PEN-проводник).

Обозначения, принятые на 1.1 и 1.2, соответствуют ГОСТ 30331.2-95 и ГОСТ Р 50571,2-94.

*⌚* – нулевой рабочий проводник (N)

*⌚* – защитный проводник (PE)

*⌚* – совмещенный нулевой рабочий и защитный проводник (PEN)

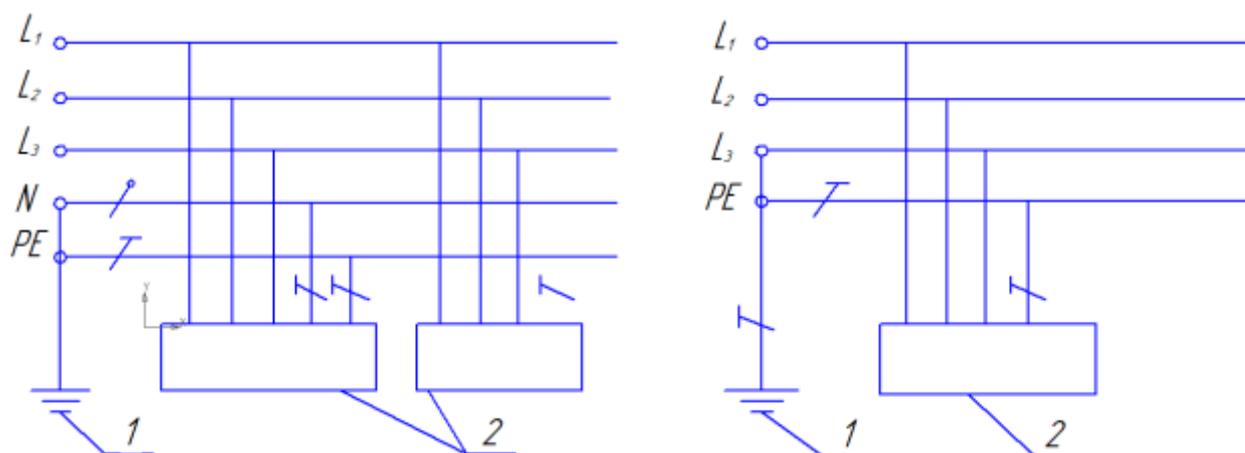


Рисунок 1.1. а – Система TN – S (нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают отдельно):

1 – заземление источника питания; 2 – открытые

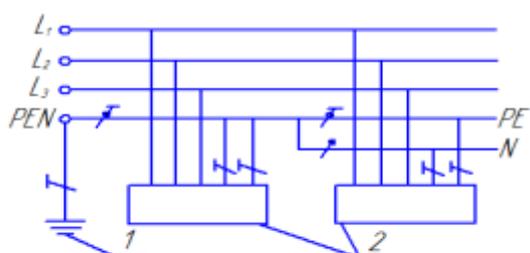


Рисунок 1.1. b – Система TN – S (в части сети нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены)

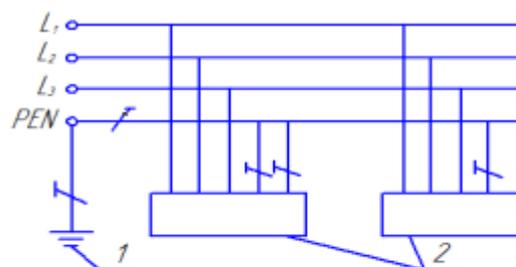


Рисунок 1.1. c – Система TN – C (нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены по всей сети):

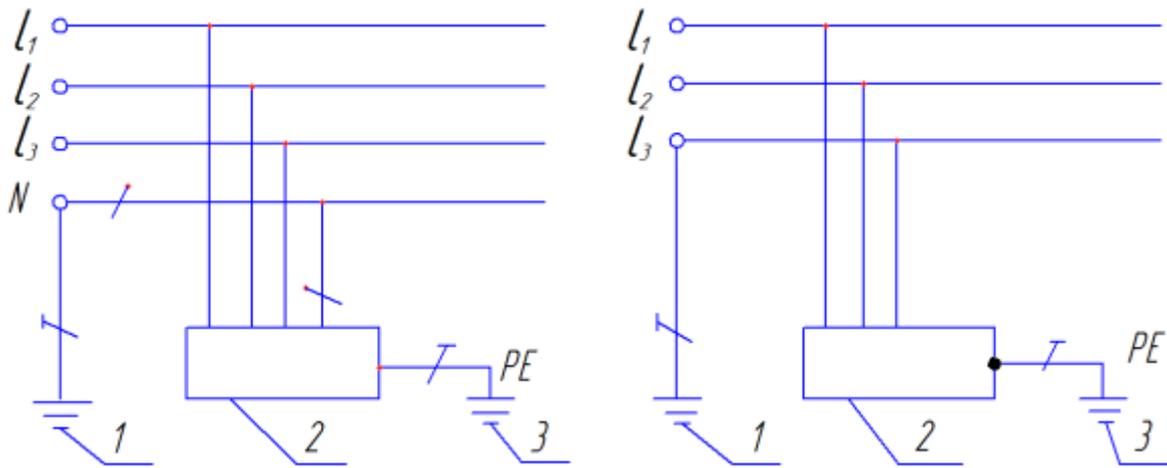


Рисунок 1.1.d – Система ТТ:

1 – заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части;  
3 – заземление корпусов оборудования

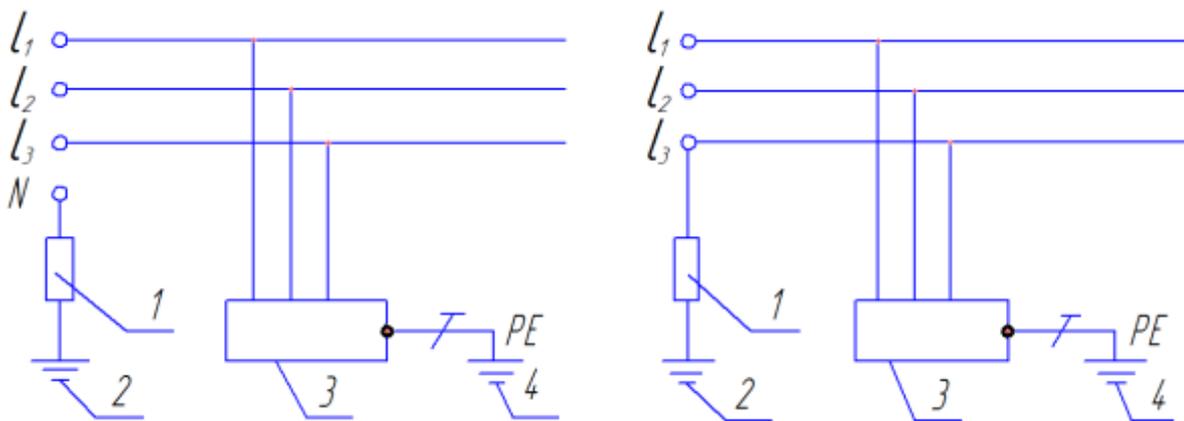


Рисунок 1.1.e – Система IT:

1 – сопротивление; 2 – заземление источника питания; 3 – открытые проводящие части; 4 – заземление корпусов оборудования

Питающая сеть системы IT не имеет непосредственной связи токоведущих частей с землей, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.

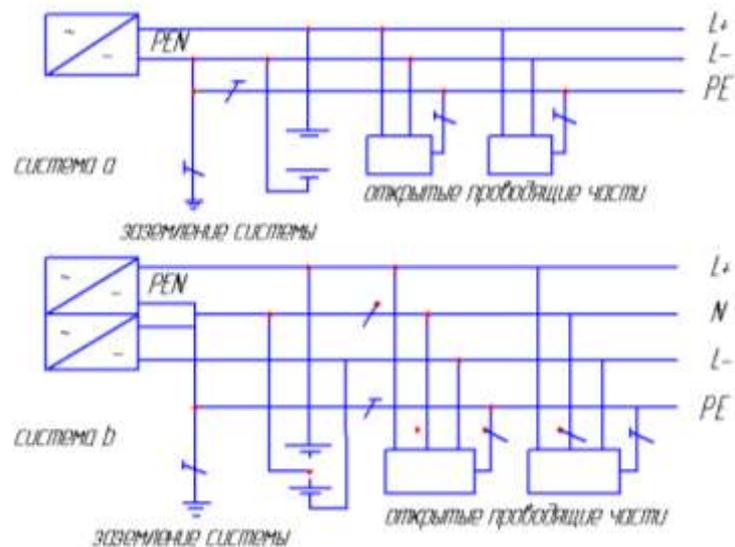


Рисунок 1.2. *a* – Система TN – S постоянного тока

Заземленный линейный (фазный) проводник (например,  $L-$ ) в системе *a* или заземленный средний проводник (M) в системе *b* отделены от защитного проводника (PE) во всей системе.

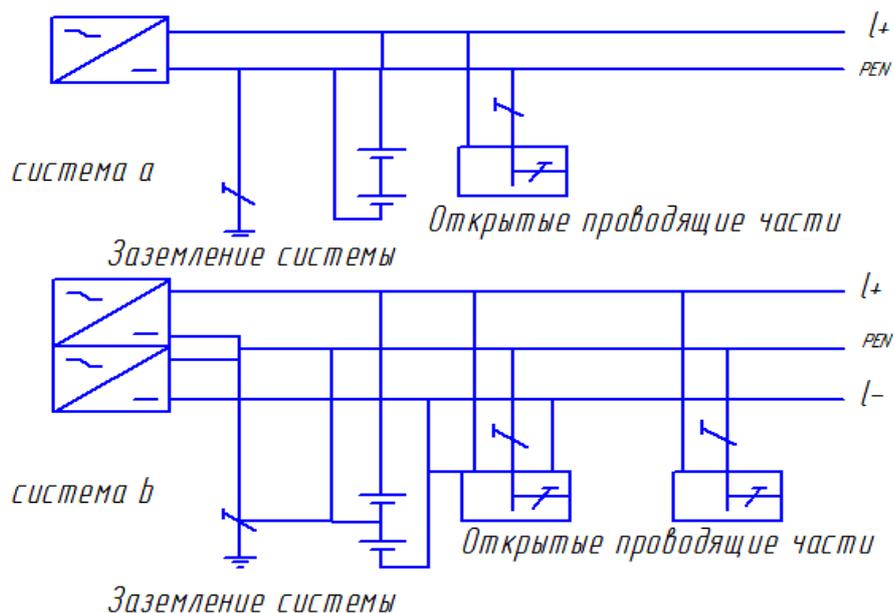


Рисунок 1.2. *b* – Система TN – C постоянного тока

Функции заземленного линейного (фазного) проводника (например,  $L-$ ) в системе *a* и защитного проводника (PE) совмещены в одном проводнике PE (постоянного тока) во всей системе, или заземленного среднего проводника (M) и защитного проводника (PE) в системе *b* совмещены в одном проводнике PEN

(постоянного тока) во всей системе.

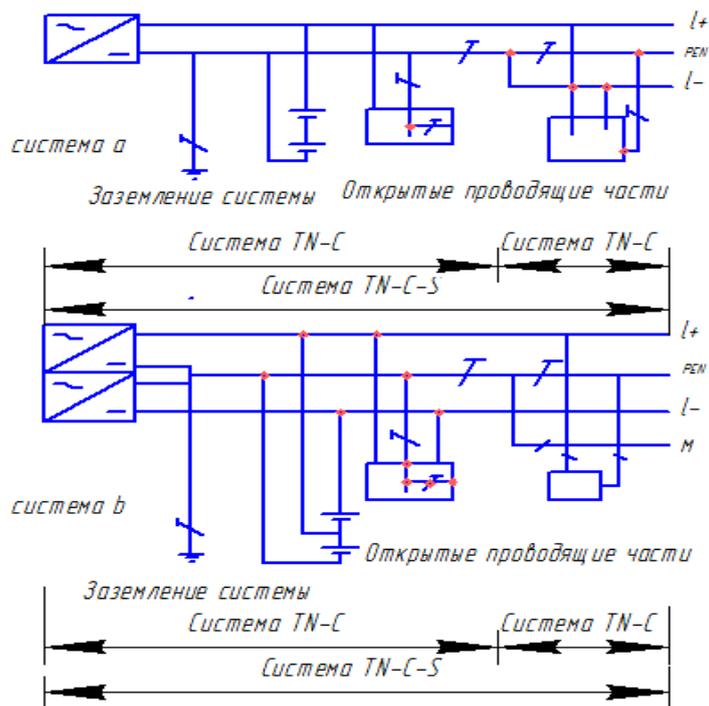


Рисунок 1.2, с – Система TN-C-S постоянного тока

В такой системе функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников объединены в одном проводнике в части сети

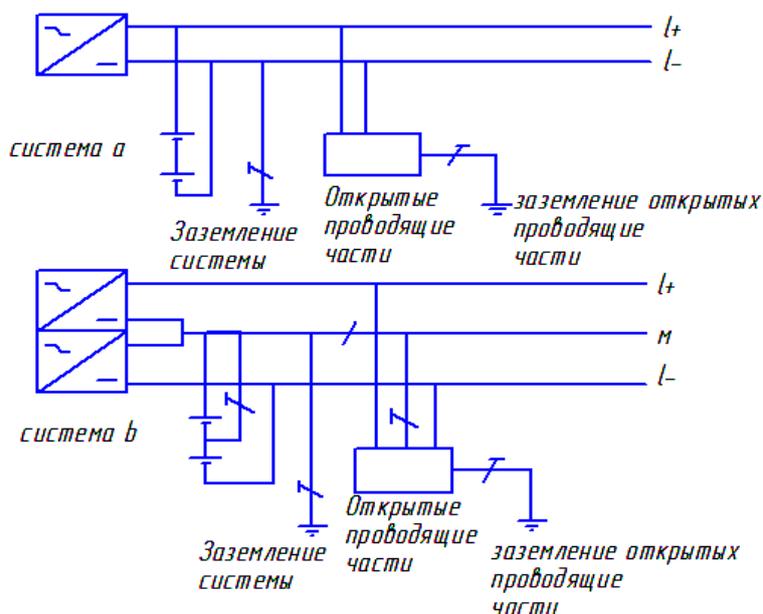


Рисунок 1.2, d – Система TT постоянного тока

В такой системе открытые проводящие части, защищенные одним защитным устройством, должны присоединяться защитным проводником к од-

ному заземляющему устройству

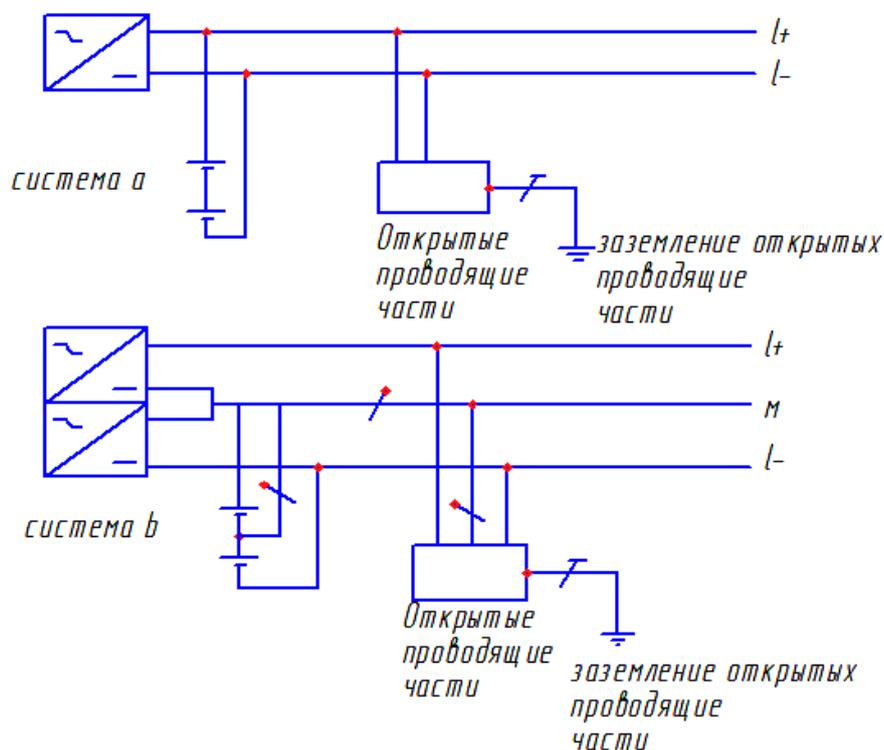


Рисунок 1.2, е – Система ТТ постоянного тока

В сетях системы IT электроустановка должна быть изолирована от земли или связана с ней через достаточно большое сопротивление. Эта связь может быть выполнена путем присоединения к нейтральной точке источника питания системы или к искусственной нейтральной точке. Последняя, может непосредственно соединяться с землей, если регулирующее сопротивление нулевой последовательности достаточно велико. В случае отсутствия нейтральной точки должна быть заземлена фаза источника питания через сопротивление.

При анализе условий безопасности в электроустановках промышленной частоты обычно оперируют эквивалентными значениями распределенных сопротивлений изоляции и емкостей; на схемах замещения эти параметры принимаются сосредоточенными, что допустимо, так как длина электромагнитной волны промышленной частоты несоизмеримо больше размеров схемных связей в данной электрической сети.

На рисунке 1.3 а приведена эквивалентная схема трехфазной сети с изолированной нейтралью, а на рис. 1.3 б – её схема замещения применительно к

изучению процессов в цепях «фаза-земля».

Обозначения на схемах:  $U_A, U_B, U_C$  – фазные напряжения;

$O$  – нейтраль(нуль) источника электроэнергии;  $R_A, R_B, R_C, C_A, C_B, C_C$  – эквивалентные сопротивления изоляции и емкости фаз относительно земли;  $Z_H$  – эквивалентное сопротивление нагрузки;  $O_1$  – точка с потенциалом земли.

На рисунке 1.3 *b* видно, что сопротивление изоляции и емкости фаз образуют трехфазную звезду нагрузки с узлом в точке  $O_1$ .

Поэтому расчеты токов утечки и напряжений фаз относительно земли могут быть выполнены обычными методами теоретических основ электротехники.

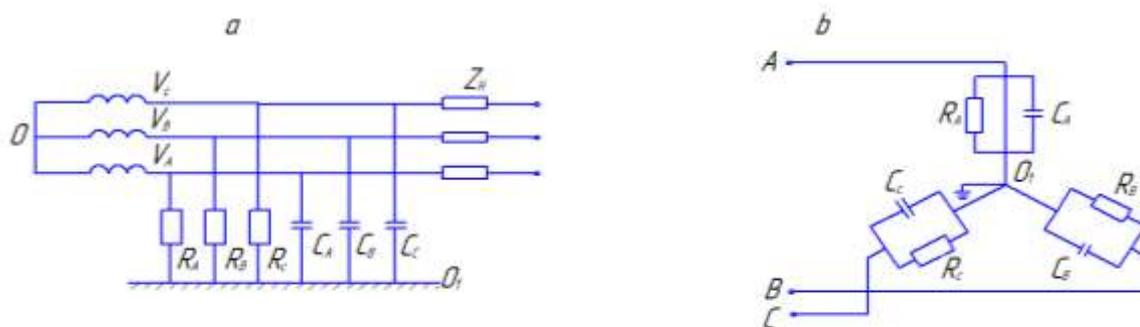


Рисунок 1.3 – Эквивалентная трехфазная схема:  
*a* – сети с изолированной нейтралью; *b* – ее схема замещения

Эквивалентная схема однофазной сети и её схема замещения с соответствующими обозначениями приведены на рисунке 1.4.

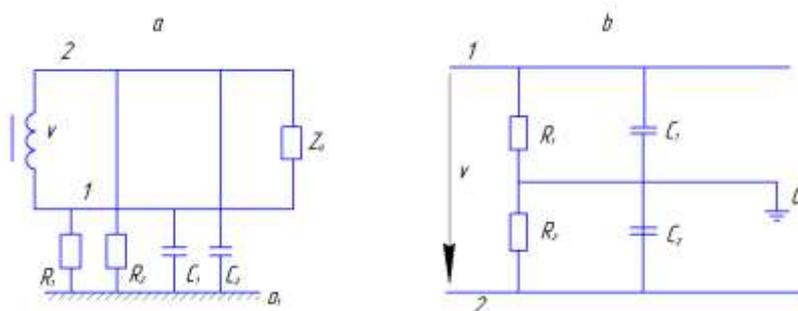


Рисунок 1.4 – Однофазная сеть:  
*a* – эквивалентная схема; *b* – ее схема замещения

Эквивалентная схема режима замыкания на землю (однофазного снижения сопротивления изоляции) в трехфазной сети с изолированной нейтралью

приведена на рисунке 1.5, *a*, где  $Z_A, Z_B, Z_C$  – полные сопротивления изоляции фаз А, В, С.

$R_{зам}$  – сопротивление изоляции в месте повреждения ( либо сопротивление зоны растекания тока в месте замыкания на землю). Схема замещения этого режима приведена на рисунке 1.5, *b*.

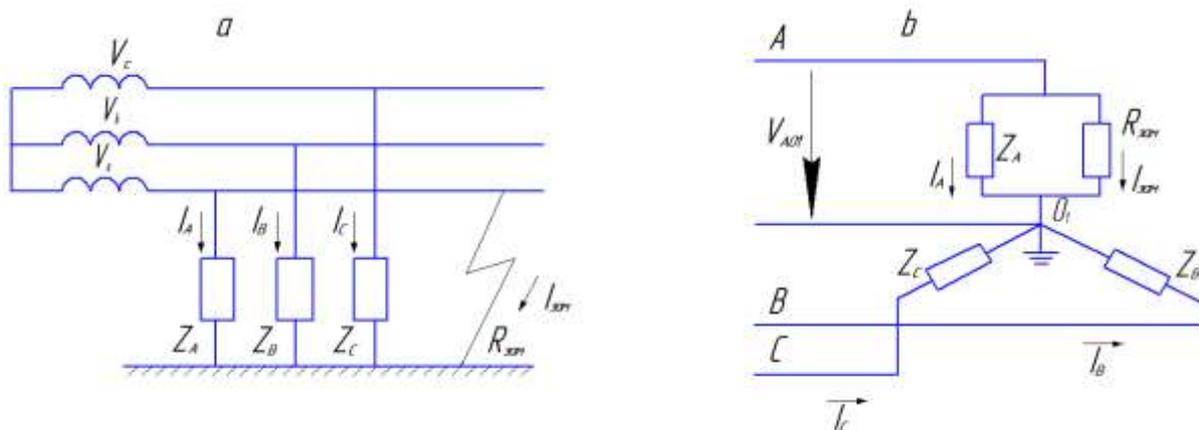


Рисунок 1.5 – Режим однофазового замыкания фазы на землю:  
*a* – эквивалентная схема; *b* – схема заземления

В этой схеме ток замыкания равен отношению падения напряжения  $U_{AO1}$  на эквивалентном сопротивлении  $Z'_A$  фазы А звезды ABCO1 к сопротивлению замыкания:

$$i_{зам} = \dot{U}_{AO1} / R_{зам}$$

при этом

$$\dot{U}_{AO1} = \dot{U}_A - \dot{U}_{010} \quad (1.1)$$

где напряжение смещения через комплексные проводимости лучей звезды определяется выражением

$$\dot{U}_{010} = \frac{(\dot{U}_A Y'_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C)}{Y'_A + Y_B + Y_C}, \quad (1.2)$$

а эквивалентная проводимость фазы А:  $Y'_A = Y_A + I / R_{зам}$

В общем виде расчет модуля тока замыкания (а именно он характеризует **пожарную** опасность режима) может быть выполнен по формуле:

$$I_{\text{зам}} = \frac{g_{\text{зам}} U_{\phi}}{2} \sqrt{\frac{9(g_B + g_C)^2 + [\sqrt{3}(g_B - g_C) + 6\omega C_{\phi}]^2}{(g_A + g_B + g_C + g_{\text{зам}})^2 + 9\omega^2 C_{\phi}^2}}, \quad (1.3)$$

где  $g_A, g_B, g_C$  - активные проводимости изоляции фаз;

$g_{\text{зам}} = 1/R_{\text{зам}}$ ;  $C_{\phi}$  - емкость фазы относительно земли.

Формула (1.3) дана для случая замыкания фазы А; если замыкание произошло в другой фазе, следует соответствующим образом изменить индексы проводимостей.

В ряде случаев целесообразно выполнять менее трудоемкие ориентировочные расчеты (с погрешностью 10-15%). Из выражения (1.2) следует, что при отсутствии повреждений изоляции ( $Y_A = Y_B = Y_C$ ) напряжение - смещения нейтрали  $U_{O10} = 0$  т. е. потенциалы нейтрали источника О и земли  $O_1$  равны.

Отсюда следует, что на векторной диаграмме напряжений источника точка О совпадает с точкой  $O_1$  и поэтому напряжения фаз относительно земли оказываются равными соответствующим фазным напряжениям источника  $\dot{U}_{AO1} = \dot{U}_A, \dot{U}_{BO1} = \dot{U}_B, \dot{U}_{CO1} = \dot{U}_C$  (рисунок 1.6, а)

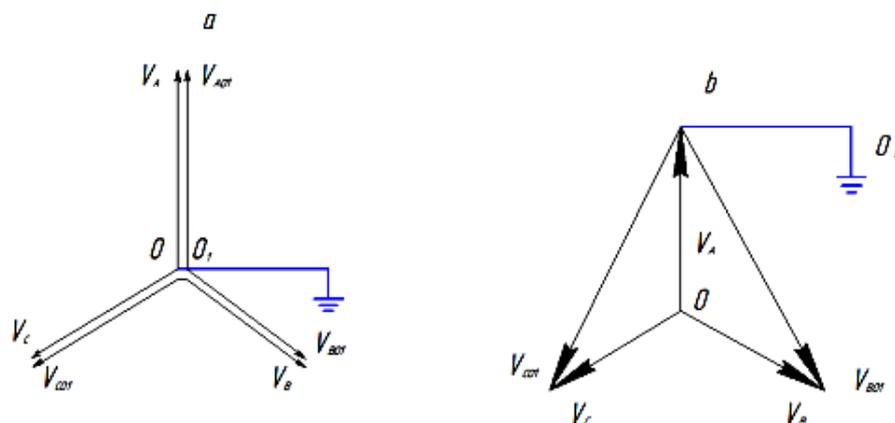


Рисунок 1.6 – Векторные диаграммы напряжений

В случае замыкания фазы А на землю (с учетом  $R \ll Z_A$ )

И  $to = l$ , потенциалы фазы А и точки  $O_1$  равны, что показано на векторной диаграмме напряжений (точка О совпадает с концом вектора  $U_A$ , (рисунок

1.6 б. При этом

$$\dot{U}_{AO1} \rightarrow 0, \dot{U}_{BO1} = \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CO1} = \dot{U}_{CA}.$$

Так как значение напряжения  $U_{AO1}$  мало, ток замыкания  $I_{зам}$  определяется с помощью первого правила Кирхгофа для узла  $O_1$  (рисунок 1.6. б):

$$\dot{i}_a + \dot{i}_b + \dot{i}_c + \dot{i}_{зам} = 0 \quad \text{или} \quad \dot{i}_{зам} = -(\dot{i}_a + \dot{i}_b + \dot{i}_c) = -(\dot{i}_b + \dot{i}_c)$$

Имея значения проводимостей и зная из векторной диаграммы значения напряжений фаз относительно земли, путем геометрического суммирования легко находим значение тока  $I_{зам}$ .

## 5.2. Основные теоретические положения, связанные с электробезопасностью человека

Если человек касается одновременно двух точек, между которыми существует напряжение, и при этом образуется замкнутая цепь, то через тело человека проходит ток. Величина этого тока зависит от схемы включения, т. е. от того, каких частей электроустановки касается человек, а также от параметров электрической сети.

*Напряжением прикосновения* называется напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (корпус) при одновременном прикосновении к ним человека.

Рассмотрим варианты схем опасного прикосновения человека в цепи тока.

### 5.2.1. Двухполюсное прикосновение к токоведущим частям

На рисунке 1.7 показано одновременное прикосновение к двум полюсам сети постоянного тока (а) и к двум фазам трехфазной сети (б). При этом человек оказывается под рабочим напряжением сети, и ток, проходящий через него, будет:

$$I_h = \frac{U_{раб}}{R_h}$$

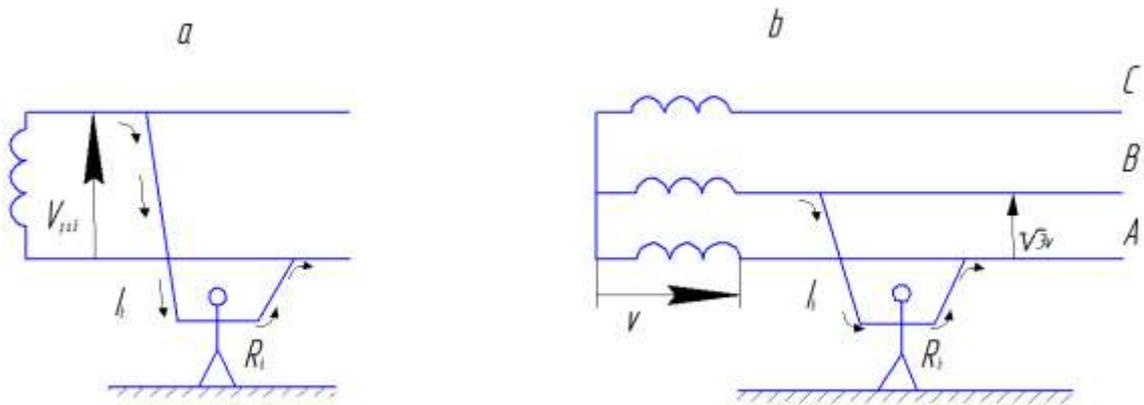


Рисунок 1.7 – Двухполюсное прикосновение к токоведущим частям:  
*a* - в сети постоянного тока или в однофазной сети переменного тока;  
*b* - в трехфазной сети.

В трехфазной сети ток через человека определяется линейным напряжением:

$$I_h = \frac{U_{л.}}{R_h} = \frac{\sqrt{3}U}{R_h}.$$

### 5.2.2. Однополюсное прикосновение к токоведущим частям

Если человек, стоя на земле, касается одного из полюсов или одной из фаз, цепь тока замыкается через землю и далее через сопротивления изоляции и емкости фаз в сети с изолированной нейтралью ( рисунок 1.8, *a*) или через заземление нейтрали ( рисунок 1.8, *b*).

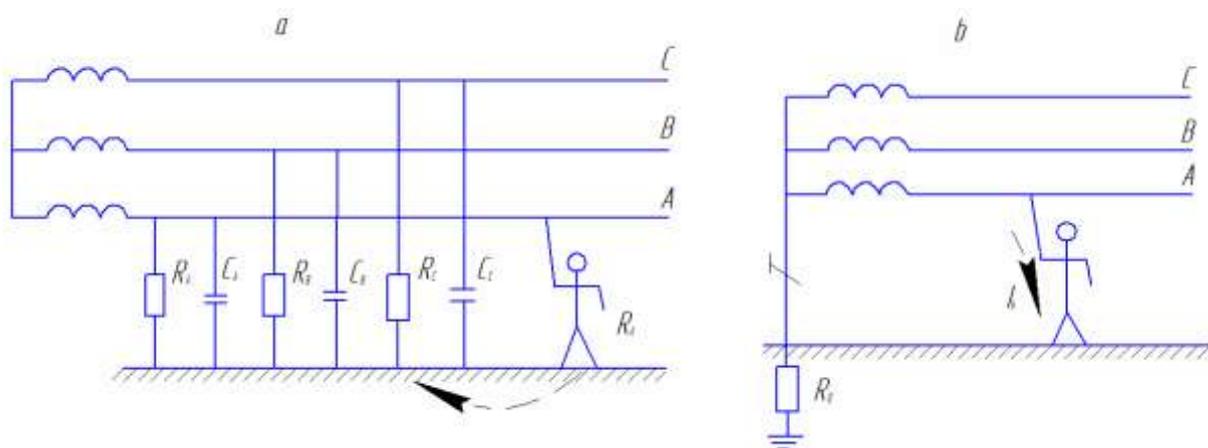


Рисунок 1.8 – Однополюсное прикосновение к токоведущим частям:  
*a* - в сети с изолированной нейтралью; *b* - в сети с заземленной нейтралью.

Как видно из рисунка 1.8, через тело человека происходит замыкание на землю, так как человек, касаясь провода, соединяет его с землей. Поэтому ток, проходящий через человека  $I_h$ , можно представить как ток замыкания на землю, т.е.  $I_h=I_3$ .

### 5.2.3. Прикосновение к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимися под напряжением

Нетоковедущие части электроустановок, которые нормально не находятся под напряжением (корпуса электрооборудования, оболочки кабелей и т. д.), могут оказаться под напряжением лишь случайно в результате повреждения изоляции.

Прикосновение к заземленному корпусу, имеющему контакт с одной из фаз показано на рисунке 1.9, а. Часть тока замыкания на землю проходит через тело человека, т. е. ток через тело человека зависит от тока замыкания на землю:

$$I_h=f(I_3)$$

Если человек касается незаземленного корпуса, оказавшегося под напряжением, то, как это видно на рисунке 1.9, а, через человека проходит весь ток замыкания на землю  $I_h=I_3$ . Таким образом, этот случай равноценен однополюсному прикосновению к токоведущим частям.

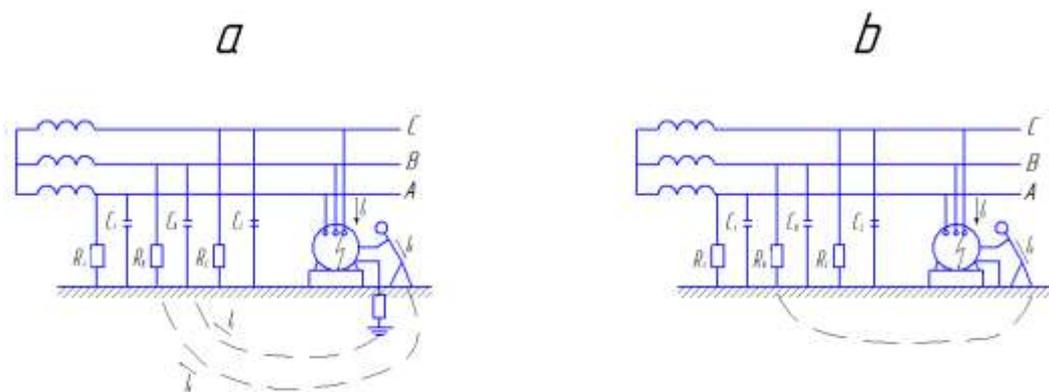


Рисунок 1.9 – Прикосновение к корпусу, оказавшемуся под напряжением:  
а - при исправном заземлении; б - при отсутствии заземления

Включение на напряжение шага. *Напряжением шага* называется напряжение между двумя точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю, при одновременном прикосновении к ним человека.

Если человек находится вблизи заземления, с которого стекает ток в землю, то часть этого тока может ответвляться и проходить через ноги человека по нижней петле, как показано на рисунке 1.10.

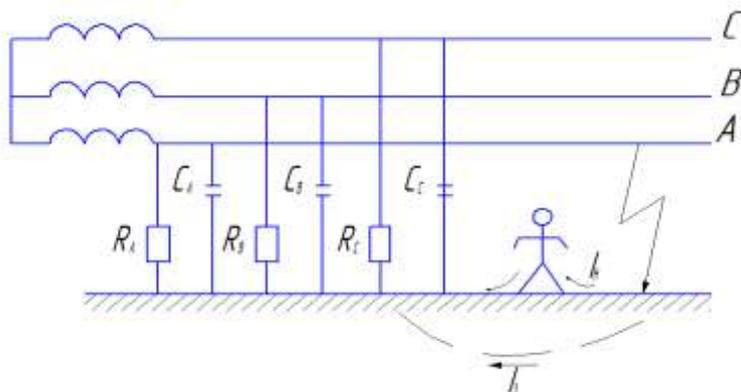


Рисунок 1.10 – Включение на напряжение шага

Величина тока, проходящего через человека, как в предыдущем случае, зависит от величины тока замыкая на землю:  $I_h = f(I_3)$

#### 5.2.4. Напряжение прикосновения

Во всех случаях контакта человека с частями, нормально или случайно находящимися под напряжением, это напряжение прикладывается ко всей цепи человека, куда входят сопротивление человека, обуви или грунта на котором стоит человек, и т.д. Та часть напряжения, которая приходится в этой цепи непосредственно на тело человека, то есть *напряжете прикосновения*, будет:

$$U_{\text{пр}} = I_h R_h$$

Напряжение прикосновения определяется как падение напряжения в сопротивлении тела человека.

При двухполюсном прикосновении к токоведущим частям напряжение прикосновения равно рабочему напряжению электроустановки, а в трехфазной сети - линейному напряжению.

При однополюсном прикосновении к токоведущим частям напряжение прикосновения определяется фазным напряжением относительно земли.

При прикосновении к заземленным нетоковедущим частям напряжение прикосновения зависит от напряжения корпуса относительно земли.

Во всех случаях, кроме двухполюсного прикосновения, в цепи тока через человека участвует грунт (земля), одна из точек касания (или обе) находится на поверхности грунта. Во всех этих случаях ток через человека зависит от тока замыкания на землю.

Чтобы выявить эту зависимость и определить ток через человека, надо провести анализ явлений при прохождении тока в грунте (тока замыкания на землю).

Таким образом, **анализ опасности режима включения человека в электрическую цепь** рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

1. Рассчитывается значение напряжения прикосновения  $U_{np}$  т.е. падение напряжения на сопротивлении тела человека  $R_h$  в данной цепи.

2. Определяется значение тока, проходящее через тело человека,

$$I_h = U_{np}/R_h, \text{ где } R_h = 1000 \text{ Ом.}$$

3. Полученное значение тока сравнивается с нормированными допустимыми значениями. Для расчетов принимаем следующие значения токов частотой 50 Гц : пороговый не отпускающий ток 11мА (длительный режим), фибрилляционный ток 200мА 100мс (переходный режим).

В режиме однофазного (однополюсного) прикосновения напряжение прикосновения равно напряжению соответствующей фазы относительно земли; например, при прикосновении (рисунок 1.11, а),  $U_{np} = U_{A01}$ .

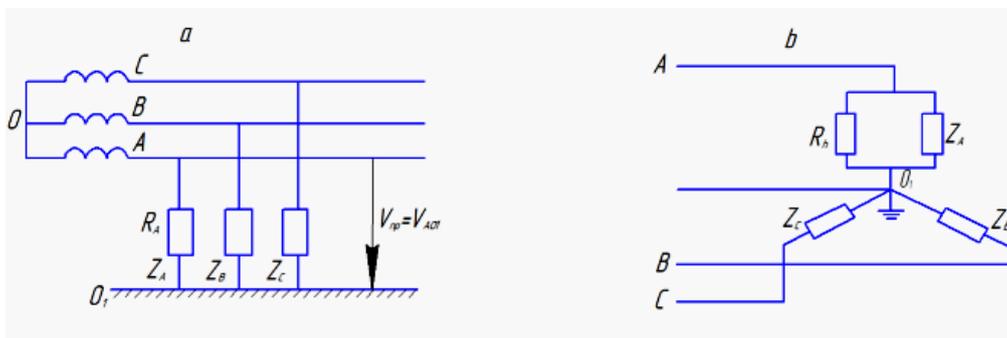


Рисунок 1.11 – Режим однофазного прикосновения

Из схемы замещения (рисунок 1.11, б) видно, что факт однофазного прикосновения человека аналогичен факту однофазного снижения сопротивления

изоляции (рисунок 1.5, б). Поэтому значение  $U_{пр}$  может быть найдено одним из способов, указанных выше - расчет по формулам (1.1), (1.2), (1.3) или приближенный расчет по векторным диаграммам (рисунок 1.6).

### 5.3. Задания по теме "Токи замыкания на землю"

**Задание 1.** Электрическая сеть (рисунок 1.12) содержит генератор  $\Gamma$ , приемники электроэнергии  $\Pi$  и кабельные линии  $K$  связи приемников с генератором. Нормальные эксплуатационные значения сопротивлений изоляции этих элементов:  $R_{\Gamma} = R_{\Pi} = 10 \text{ Мом}$ ,  $R_K = 100 \text{ Мом}$ . По соображениям безопасности запрещается эксплуатировать приемники, имеющие сопротивление ниже  $0,5 \text{ Мом}$ .

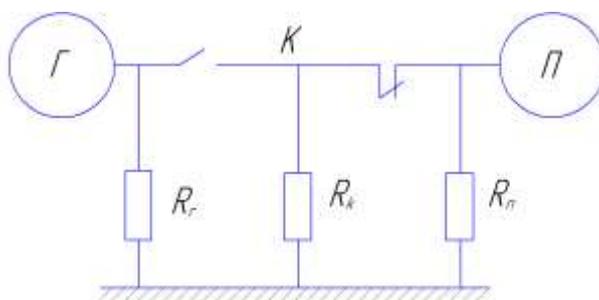


Рисунок 1.12 – Электрическая сеть

**Требуется:** 1) рассчитать значения эквивалентных сопротивлений изоляции сети при параметрах, указанных в таблице;

2) определить, в каких из приведенных в таблице 1.1. случаев повреждения изоляции приемников электроэнергии прибор непрерывного контроля эквивалентного сопротивления изоляции сети не выдаст информацию оператору (относительная погрешность срабатывания блока сигнализации  $\delta = 10\%$ ).

Таблица 1.1 – Случаи повреждения изоляции

Номер задачи	Количество приемников в сети		Количество линий связи
	исправных	неисправных	
1	1	-	1
2	9	-	9
3	8	1	9
4	99	-	99
5	98	1	99
6	999	-	999
7	998	1	999

**Задание 2.** В трехфазной сети с изолированной нейтралью произошло замыкание фазы С на землю (рисунок 1.13). Взрывоопасным считается ток, значение которого превышает 25 мА. Опасность формирования пожара возникает в тех случаях, когда в месте замыкания активная мощность превышает 30 Вт. Параметры сети приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Параметры сети

Номер задания	$U_{\Phi}$ , В	f, Гц	$C_{\Phi}$ , мкФ	Сопротивления изоляции, Мом			$R_{зам}$ , Ом	Дополнительные условия
				$R_A$	$R_B$	$R_C$		
1	220	50	0,5	1	1	1	100	Учесть индуктивность фазного провода 75 мГн
2	220	400	0,5	1	1	1	100	
3	220	400	100	1	1	1	100	
4	220	400	100	1	1	1	0,5	
5	6000	50	0,01	10	10	10	100	
6	6000	50	100	10	10	10	100	
7	6000	50	100	10	10	10	100	

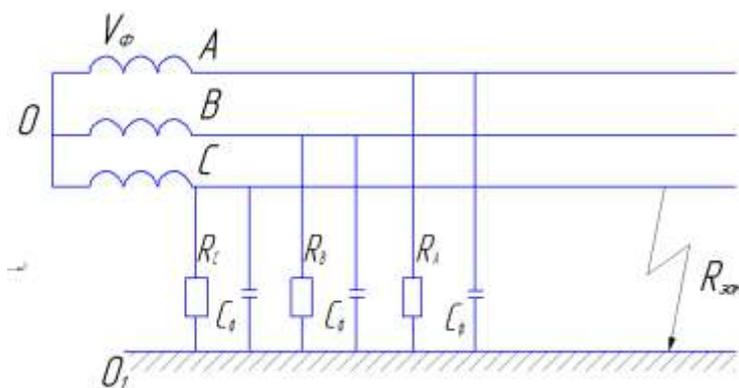


Рисунок 1.13 – Трехфазная сеть

**Требуется:**

- 1) рассчитать значения напряжений относительно земли;
- 2) рассчитать значение тока замыкания на землю;
- 3) построить векторные диаграммы напряжений и токов;
- 4) оценить опасность режимов.

**Задание 3.** В однофазной сети переменного тока напряжением 220В 50Гц, изолированной от земли, измеряется напряжение между полюсом 1 и землей (рисунок 1.14). В качестве измерительного прибора  $V$  используется ампервольтметр (тестер), имеющий внутреннее сопротивление 100 кОм. Параметры сети приведены в таблице 1.3.

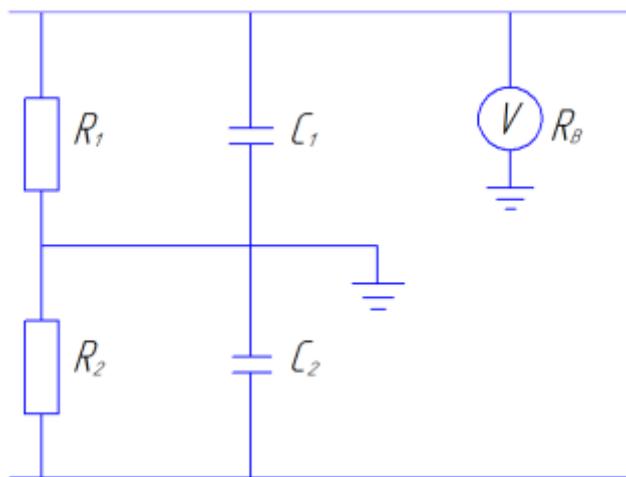


Рисунок 1.14 – Однофазная сеть переменного тока

Таблица 1.3 – Параметры сети

Номер задачи	$C_1=C_2$ , мкФ	$R_1$ , кОм	$R_2$ , кОм
1	0,05	1000	1000
2	1000	1000	1000
3	0,05	1000	0,1
4	100	1000	0,1
5	0,05	0,1	0,1
6	100	0,1	0,1

**Требуется:**

1. Рассчитать истинные значения измеряемого напряжения;
2. Определить каковы будут показания прибора;
3. Ответить, в каких случаях (по какой причине) возникает погрешность в измерениях и с помощью каких средств ее можно избежать.

**Задание 4.** Однофазный электромашинный преобразователь служит для питания низковольтных сетей постоянного тока (сигнализации, телефонии, аппара-

туры управления и контроля). Первичное напряжение  $U_1 = 380\text{В}$  50Гц., вторичное напряжение  $U_2=27\text{В}$  постоянного тока. В целях уменьшения массогабаритных показателей в преобразователе принята однопроводная схема, т. е. корпус  $K$  преобразователя использован в качестве обратного токопровода (рисунок 1.15).

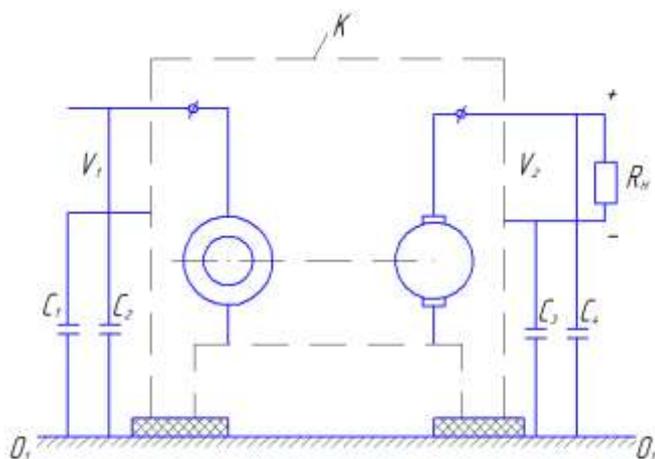


Рисунок 1.15 – Схема однофазного электромашинного преобразователя

На объекте преобразователь установлен на изолирующем фундаменте. Емкости полюсов питающей сети переменного, тока относительно корпуса объекта  $C_1=C_2 =10 \text{ мкФ}$ ; емкости полюсов сети нагрузки постоянного тока  $C_3=C_4=20 \text{ мкФ}$ .

**Требуется:**

1) составить схему замещения и определить значение напряжения частотой 50 Гц, выносимого на нагрузку постоянного тока через емкости полюсов относительно корпуса объекта (утечками на корпус через сопротивления изоляции пренебрегаем);

2) ответить на вопрос: смогут ли нормально функционировать приборы постоянного тока при такой схеме питания?

3) какова зависимость значения выносимого переменного напряжения от сопротивления нагрузки постоянного тока  $R_H$

**Задание 5.** Перед включением однофазного приемника электроэнергии в сеть переносным мегаомметром измерили его сопротивление изоляции относительно корпуса. Показания мегаомметра 10Мом подтвердило исправность изоляции. Мегаомметр отключили, а приемник включили в сеть напряжением 220 В

**Требуется:**

1) нарисовать схему питания приемника с учетом сопротивлений изоляции и рассчитать возможные значения тока активной утечки через изоляцию приемника, протекающего) под действием рабочего напряжения сети.

**Задание 6.** Магний получают путем электролиза расплава карналлита. Сырье плавят и подогревают до нужной температуры в аппаратах X,ГМ,РМ, связанных переточными каналами с электролизерами Э (рис. 1.16, *a*). Последние также связаны между собой переточными каналами, а схемно шинопроводами Ш соединены в последовательную цепь. Серия электролизеров получает питание от силовых выпрямительных агрегатов В. Электроды плавления сырья и подогрева электролита П, находящиеся в аппаратах X,ГМ и РМ, получают индивидуальное питание от однофазных трансформаторов с различными значениями напряжения  $E_i$ .

Через расплав электролита и сопротивления изоляции относительно земли все независимые источники постоянного и переменного тока гальванически связаны в единую систему.

Схема замещения одного аппарата с его электрическими связями серией электролизеров приведена на рис. 1.16, *b*. Обозначения на схеме:  $E$  - напряжение источника переменного тока;  $R_1$  и  $R_7$  - сопротивления изоляции полюсов цепи питания электродов П переменным током;  $R_2$  и  $R_4$  сопротивления зон растекания тока вблизи электродов П;  $R_3$  и  $R_5$  - сопротивления термоизоляции электродов от стального кожуха аппарата;  $R_6$  - сопротивление изоляции кожуха аппарата относительно земли;  $R_8$  - сопротивление расплава электролита в переточном канале;  $R_9$  - эквивалентное сопротивление изоляции силовой сети выпрямленного тока (шинопроводы и электролизеры).

**Требуется:**

1) Вывести формулу для действующего значения переменного напряжения  $U_{50}$  (напряжение между узлами 0 и 5 схемы (рисунок 1.16, *b*). Это напряжение выносится из цепи переменного тока на все конструктивные элементы постоянного тока и датчики АСУТП расположенные в электролизерах.

2) По выведенной формуле рассчитать, при каком соотношении значений сопротивления изоляции цепей питания электродов подогрева выносится максимальное напряжение и чему оно равно.

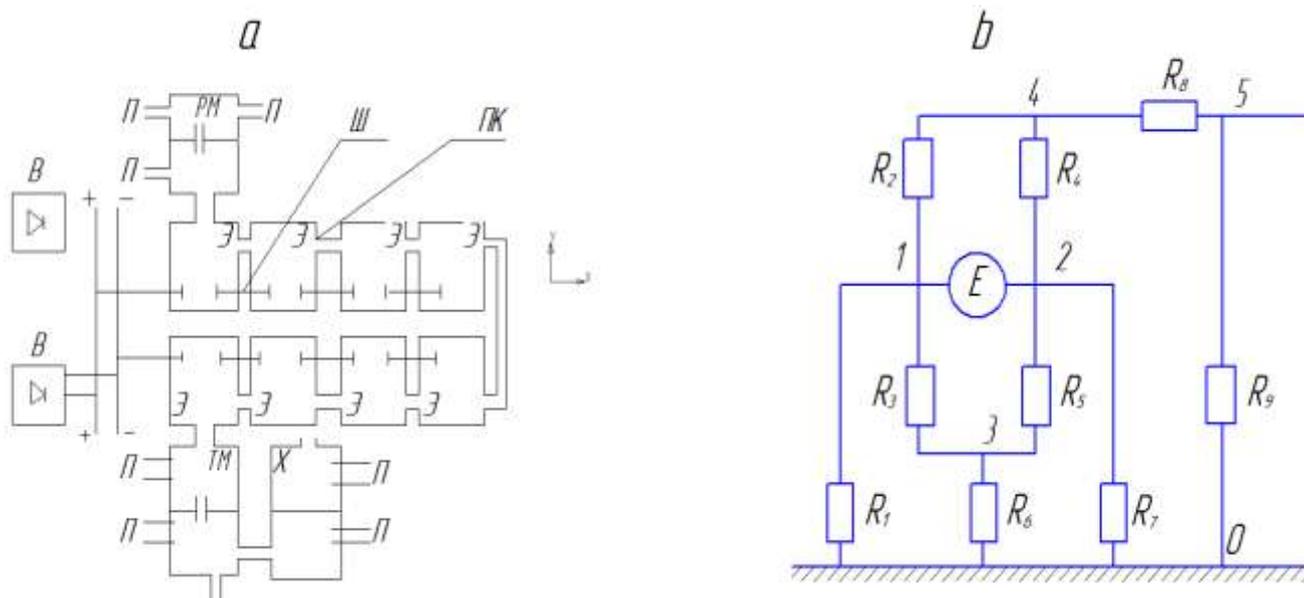


Рисунок 1.16 – Схема для получения магния

Для справки, ориентировочные значения постоянных сопротивлений равны  $R_2=R_4=0.0001$  Ом;  $R_3=R_5=1$  кОм;  $R_6=50$ кОм;  $R_8=0,5$  Ом.

**Задание 7.** В цехе электролиза магния (рисунок 1.16, *b*) напряжения  $E_i$  питания цепей переменного тока в общем виде могут быть сдвинуты по фазе и иметь различные действующие значения. Пусть  $E_1 = U_e$  - напряжение на электродах подогрева в ГМ, а  $E_2 = U_e$  - напряжение на электродах подогрева в ПМ.

Схема замещения этого режима приведена на рисунке 1.17 где индексы сопротивлений соответствуют указанным для схемы рисунке 1.16, *b*, причем прописными буквами обозначены сопротивления цепей ГМ, а строчными – сопротивления цепей ПМ.  $R_9$  - сопротивление изоляции цепей постоянного тока.

В процессе эксплуатации могут возникать однополюсные повреждения электрической изоляции одновременно в обеих цепях переменного тока. Считаем переменными сопротивления  $R_1, R_7, r_1, r_7$ , а также сопротивление  $R_9$ .

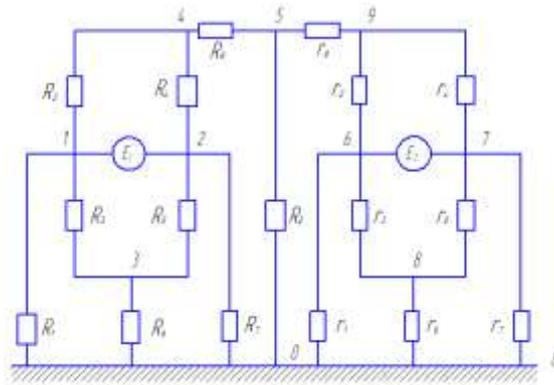


Рисунок 1.17 – Схема замещения режима

**Требуется:**

1) вывести формулу для расчета значения переменной напряжения  $U_{\text{вын}}$  на сопротивлении  $R_9$  (между узлами 0 и 5) выносимого от источников переменного тока на элементы цепей постоянного тока;

2) рассчитать максимально возможное действующее значение напряжения  $U_{\text{вын}}$ . При каких условиях оно формируется (в зависимости от соотношения  $R_1, R_7, r_1, r_7, R_9$ ) ?

#### 5.4. Задания по теме

##### «Режимы опасного прикосновения человека и сельскохозяйственных животных в электрической цепи»

**Задание 8.** Человек прикасается к полюсу 1 однофазной сети переменного тока, изолированной от земли. Схема замещения режима приведена на рисунке 1.18, где приняты следующие обозначения  $U$  - рабочее напряжение,  $R_h$  сопротивление тела человека.  $R_1, R_2, C_1, C_2$  - эквивалентные сопротивления изоляции и емкости сети относительно земли.

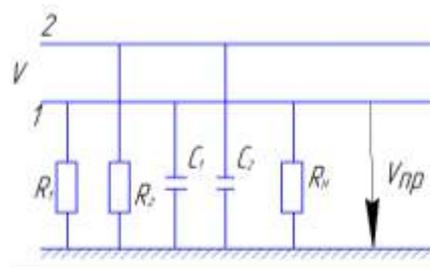


Рисунок 1.18 – Схема замещения режима прикосновение к однофазной схеме

**Требуется:**

1) вывести формулу для расчета значения напряжения прикосновения  $U_{пр}$  в зависимости от параметров сети, при этом активные и емкостные сопротивления выразить через проводимости.

**Задание 9.** Человек прикасается к фазе А трехфазной сети с изолированной нейтралью с фазным напряжением 220В 50Гц (рисунок 1.19). Параметры цепей связи с землей приведены в таблице 1.4. Сопротивление тела человека 1000 Ом.

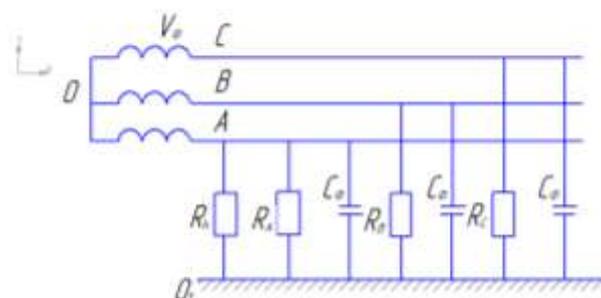


Рисунок 1.19 – Схема трехфазной сети с изолированной нейтралью

**Требуется:**

- 1) построить векторные диаграммы напряжений фаз относительно земли;
- 2) определить значения напряжений соприкосновения.

Таблица 1.4 – Параметры цепей связи с землей

Номер задачи	С <sub>ф</sub> , мкФ	Сопротивление изоляции, кОм		
		R <sub>A</sub>	R <sub>B</sub>	R <sub>C</sub>
1	0,05	1000	1000	1000
2	0,05	1000	0.1	1000
3	100	150	150	150
4	100	150	0.1	150

**Задание 10.** В высоковольтной сети произошло замыкание провода фазы С на землю. Сопротивление зоны растекания тока  $R_{зам} = 100$  Ом. Человек подошел и взял провод в руки (рисунок 1.20).

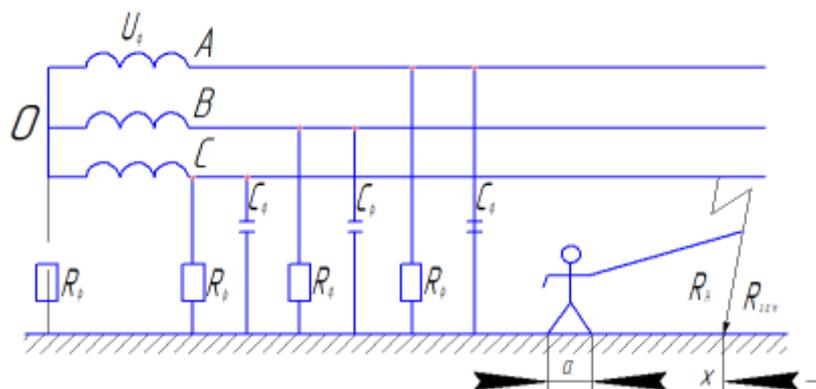


Рисунок 1.20 – Схема включения человека в сеть

Параметры сети: фазное напряжение  $U_{\phi} = 6\text{кВ}$ ,  $50\text{Гц}$ , сопротивление изоляции фаз  $R_{\phi} = 3\text{Мом}$ , емкость фаз относительно земли  $C_{\phi} = 0,1\text{мкФ}$ , расстояние от места замыкания  $x = 1\text{м}$ , длина шага  $a = 0,8\text{м}$ . Возможны 2 вида сети: а) с изолированной нейтралью; б) с глухим заземлением нейтрали ( $R_0 = 0,50\text{Ом}$ ).

**Требуется:**

- 1) Определить значения напряжений прикосновения и шага для обоих видов сети (сопротивлением обуви пренебрегаем);
- 2) Построить векторные диаграммы напряжений относительно земли;
- 3) Пояснить, какой вид сети оказался безопасным и почему.

**Задание 11.** Соотношение параметров трех сетей постоянного тока с равными рабочими напряжениями  $U$  указано в таблице 1.5.

Человек прикасается к полюсу 1 (рисунок 1.21).

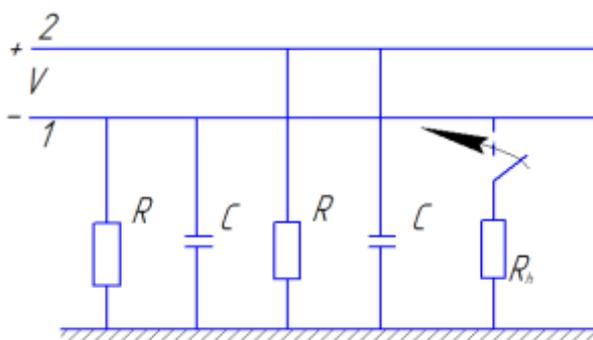


Рисунок 1.21 – Схема прикосновения человека к полюсу

**Требуется:**

1) в одной системе координат нарисовать приблизительно графики переходного процесса изменения напряжения прикосновения во времени  $U(t)$ .

Таблица 1.5 – Соотношение параметров

Вариант сети	Емкость полюса	Сопротивление изоляции полюса
1	C	$R \gg R_h$
2	C	$R \ll R_h$
3	10C	$R \gg R_h$

**Задание 12.** Молодому электрику на одном из производств надо было прикурить сигарету, а спички отсутствовали. Для этого он взял проводник(жилу кабеля в изоляции) и вскрыл клеммную коробку светильника. Один конец проводника он подключил к корпусу (земле), а другим концом, с предварительно прикрепленной к нему ватой, стал касаться клеммы светильника, искрами поджечь вату. Схема замещения приведена на рисунке 1.22.

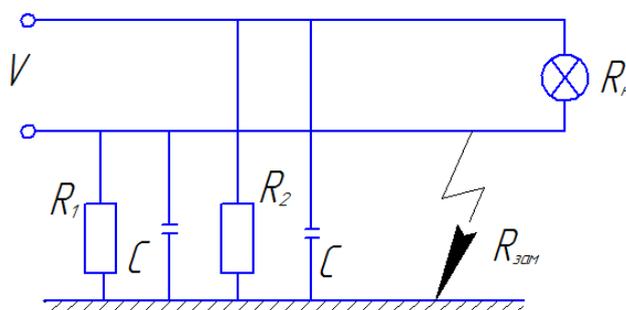


Рисунок 1.22 – . Схема замещения

Напряжение сети  $U = 220\text{В}$  50Гц, сопротивление изоляции  $R_1 = R_2 = 200\text{k}\Omega$ , сопротивление замыкания  $R_{\text{зам}} = 0,1\Omega$ . Считаем что искра формируется при токе замыкания не менее 1А.

**Требуется:**

- 1) определить, при каких значениях емкости C загорится вата;
- 2) оценить опасность режима случайного прикосновения человека к клемме при этой емкости.

**Задание 13.** На одной из ферм АСХОЗТ "Шушары" Ленинградской области для подогрева воды был установлен водoeлектроподогреватель собственного изготовления. В результате некачественного монтажа медный проводник, соединяющий фазный зажим водонагревателя с нагревательной спиралью, оборвался и замкнулся на металлический корпус нагревателя. Корпус водoeлектроподогревателя был подключен к нулевому проводу сети и к отдельному заземляющему устройству сопротивлением 7 Ом (рисунок 1.23).

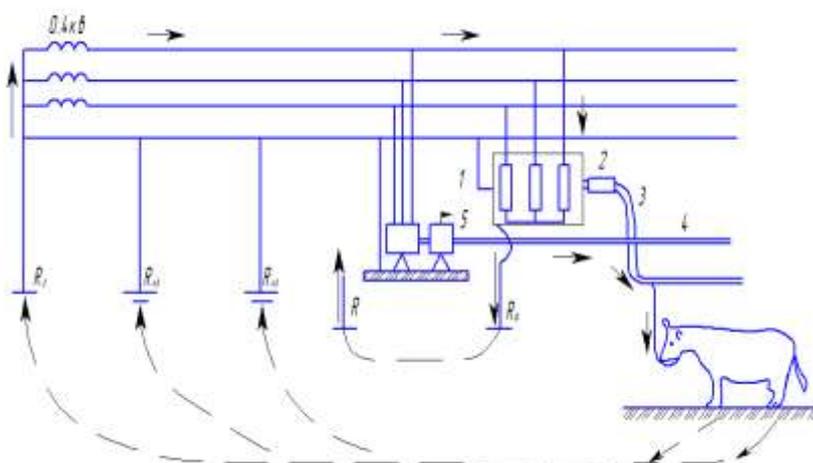


Рисунок 1.23 – Поражение животных электрическим током при замыкании фазного провода на корпус водoeлектроподогревателя (пути прохождения тока показаны стрелками):

1- водoeлектроподогреватель; 2- изолирующая вставка; 3- труба системы автопоения; 4- вакуум-провод; 5- вакуумный насос и электродвигатель.

В месте соединения нулевого провода с корпусом был плохой контакт; поэтому часть тока короткого замыкания пошла к заземляющему устройству водoeлектроподогревателя. В результате замкнулась через заземляющее устройство R на корпус электродвигателя вакуумного насоса. Сопротивление заземляющего устройства электродвигателя вакуумного насоса R составляло 0,8 Ом. На трубе вакуум-провода не была установлена изолирующая вставка, а сами трубы в нескольких местах соединялись с трубами автопоения, вследствие чего произошел вынос потенциала к автопоилкам.

Водoeлектроподогреватель же был подключен к трубам системы автопоения через изолирующую вставку. Сопротивление столба воды в изолирующей

вставке, замеренное сразу же после несчастного случая, составляло 85 000 Ом, что исключало вынос опасного потенциала через трубы системы автопоения.

Находящиеся на животноводческой ферме коровы получили удар электрическим током, причем для 23 животных этот удар оказался смертельным.

Условия электробезопасности были ухудшены еще тем, что полы на животноводческой ферме были сырые, их электрическое сопротивление, замеренное сразу же после несчастного случая, составляло менее 20 Ом.

**Требуется:**

- 1) составить эквивалентную электрическую схему замещения;
- 2) определить значение напряжения прикосновения и величину электрического тока, оказавшимся смертельным для 23 животных.

**Задание 14.** При несимметричной нагрузке наибольшая опасность поражения электрическим током возникает при обрыве нулевого провода. На рисунке 1.24 показана принципиальная электрическая схема, когда нулевой провод сети имеет обрыв на участке между повторным заземлением и щитком животноводческого помещения.

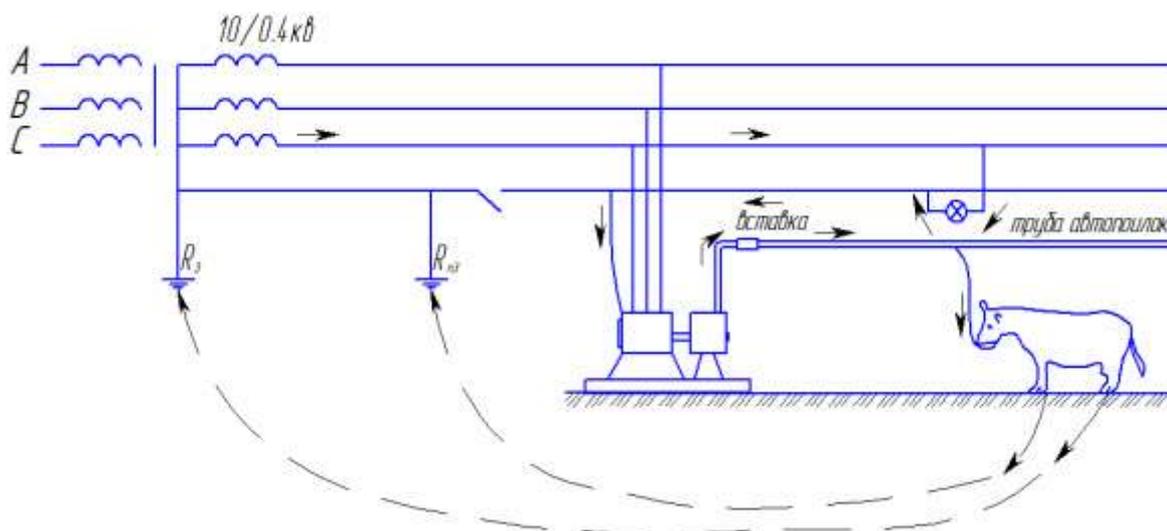


Рисунок 1.24 – Поражение животных электрическим током при несоизмеримой нагрузке в сети освещения и обрыве нулевого провода (стрелками показаны пути прохождения поражающего тока)

Очевидно, чем больше общая мощность ламп накаливания, включенных между фазным проводом и нулевым, тем больший ток будет проходить через животное. Опасность поражения электрическим током появляется при несимметричном распределении осветительной нагрузки между тремя фазными проводами при обрыве одного или двух фазных проводов.

Надо иметь в виду, что при включении осветительной установки возникает пусковой ток, и в момент включения напряжение и ток возрастают в несколько раз. Это объясняется большой разностью сопротивлений нити накала ламп в холодном и раскаленном состояниях.

Если к моменту включения светильников нулевой провод имел обрыв, то при включении их ( в первый переходный момент) напряжение прикосновения увеличивается в несколько раз по сравнению с установившимся режимом.

Известно, что сопротивление нити лампы  $R_T$  в раскаленном состоянии определяется по выражению

$$R_T = R_0(1+aT) \text{ Ом,}$$

где:  $a$  – температурный коэффициент сопротивления, равный  $0,0046 \text{ град}^{-1}$ ;

$R_0$  – сопротивление нити лампы в холодном состоянии, замеренное оммометром, Ом;

$T$  – температура раскаленной нити лампы ( для вольфрама  $2800^\circ\text{C}$ ).

***Требуется:***

1) для данного случая составить электрическую схему замещения, а также определить: а) сопротивление нити лампы в раскаленном состоянии, если известно сопротивление  $R_0 = 35 \text{ Ом}$  для лампы мощностью  $100 \text{ Вт}$ ;

2) величину тока, проходящего через нить лампы в холодном состоянии и в раскаленном состоянии;

3) во сколько раз ток в момент включения превосходит ток установившегося режима работы лампы.

## 5.5. Задания по теме "Технические средства защиты"

**Задание 15.** В однофазной сети напряжением 220В 50 Гц установлено устройство защитного шунтирования, схема которого построена с использованием двух реле напряжения РН1 и РН2 (рисунок 1.25). В нормальном режиме работы напряжения на обмотках реле недостаточны для срабатывания реле.

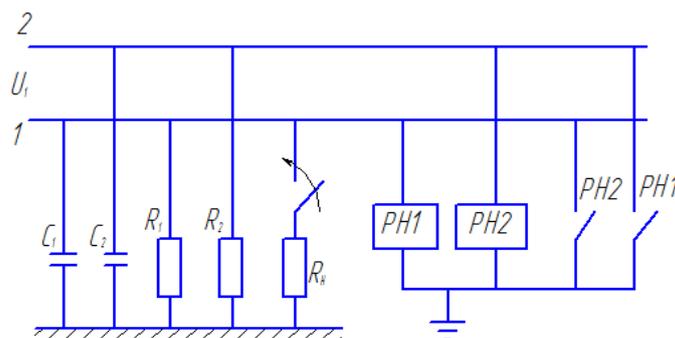


Рисунок 1.25 – Схема установки устройства защитного шунтирования

В случае прикосновения человека, например, к полюсу 1, напряжение на обмотке реле РН2 увеличивается, реле срабатывает и своим контактом замыкает полюс 1 на землю, при этом напряжение прикосновения  $U_{np}$  уменьшается до безопасного значения.

Сопротивление обмоток реле  $R_1=R_2=100\text{кОм}$ , чувствительность (т.е. увеличение напряжения на обмотке гарантирующее срабатывание реле)  $\Delta U=10\text{В}$ .

Параметры сети: сопротивление изоляции  $R_1=R_2=100\text{кОм}$  емкости относительно земли  $C_1=0.95C_2$ .

### **Требуется:**

1) определить минимальное значение емкости  $C_2$ , при котором устройство защитного шунтирования не станет реагировать на факт прикосновения человека.

**Задание 16.** Прибор контроля сопротивления изоляции сети переменного тока содержит источник постоянного измерительного напряжения  $E$ , миллиамперметр  $A$  и ограничительный резистор (рисунок 1.26, а).

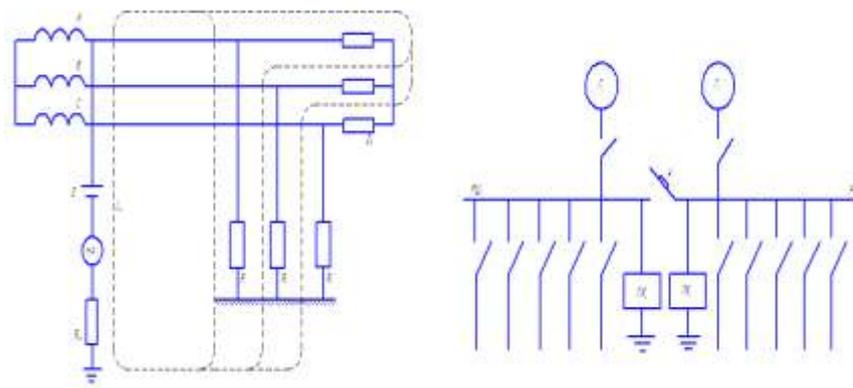


Рисунок 1.26 – Электрическая схема

Одним полюсом миллиамперметр подключается к шине распределительного щита, а другим - к заземлителю (корпусу объекта). В результате постоянный ток  $I_{\text{изм}}$  протекающий через прибор, будет однозначной функцией эквивалентного сопротивления изоляции сети.

$$I_{\text{изм}} = \frac{E}{R + R_{\text{доб}}} = f(R)$$

где

$$R = R_A R_B R_C / R_A R_B + R_B R_C + R_A R_C$$

Обычно  $E = 150\text{В}$ ,  $R_{\text{доб}} = 150\text{кОм}$ .

Автономная электроустановка содержит два источника электроэнергии Г1 и Г2 и два соответствующих распределительных щита РЩ1 и РЩ2, на каждом из которых установлен прибор контроля изоляции ПКИ1 и ПКИ2.

На рис.1.26,b приведена схема генерирования такой электроустановки в однолинейном изображении; через А обозначен секционный автоматический выключатель для включения РЩ или источников электроэнергии на параллельную работу, а сопротивления изоляции на схеме не указаны.

Пусть в сети генератора Г1 сопротивления изоляции фаз будут  $R_A = 100\text{кОм}$ ,  $R_B = 200\text{кОм}$ ,  $R_C = 400\text{кОм}$ , а в сети генератора Г2 соответственно  $R_A = 400\text{кОм}$ ,  $R_B = 100\text{кОм}$ ,  $R_C = 200\text{кОм}$ .

**Требуется:**

1) определить, насколько изменятся показания приборов ПКИ1 и ПКИ2 после включения автомата А (в процентах).

**Задание 17.** Из задания 16 видно, что при включении распределительных щитов на параллельную работу возникает погрешность показаний всех подключенных приборов контроля сопротивления изоляции ПКИ. Поэтому измерительные цепи ПКИ должны иметь блокировку, обеспечивающую возможность работы только одного прибора ПКИ и отключающую все остальные приборы. Блокировка осуществляется вспомогательными контактами (замыкающими или размыкающими блок контактами) секционных автоматических выключателей.

Пусть электростанция содержит 5 генераторов Г1-Г5 со своими распределительными щитами РЩ1 - РЩ5 (рисунок 1.27).

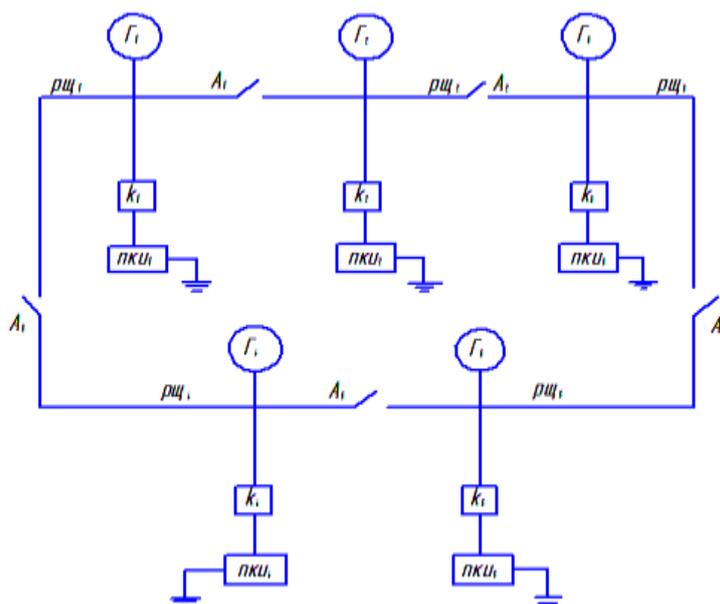


Рисунок 1.27 – Схема электростанции с 5 генераторами

На каждом щите установлен прибор ПКИ для контроля сопротивления изоляции.

Распределительные щиты РЩ с выключателями (автоматами А) могут в произвольной комбинации номеров и количества включаться на параллельную

работу. Например, могут быть включены автоматы А1, А3 и А5. В этом режиме параллельно работают распределительные щиты РЩ1 - РЩ2 - РЩ4- РЩ5, а щит РЩ работает индивидуально.

В другом случае включены А2 и А5, при этом параллельно работают РЩ2 - РЩ3 , РЩ4-РЩ5, щит РЩ1 работает индивидуально.

Контроль изоляции параллельно работающих щитов на каждом данном режиме должен производиться только одним прибором ПКИ, имеющим наименьший номер в данной комбинации; остальные приборы должны быть отключены коммутаторами  $K_i$ , состоящими из набора вспомогательных контактов секционных автоматов  $A_i$ .

**Требуется:**

1) составить принципиальные схемы коммутаторов К1 - К5 (либо составить математическое описание схем коммутаторов в минимизированной форме). Схемы должны исключать погрешность измерений при работе щитов в любой возможной комбинации.

**Задание 18.** Бытовой электронагреватель (рисунок 1.28) предназначен для подогрева воды, подаваемой из водопровода или какой-либо емкости.

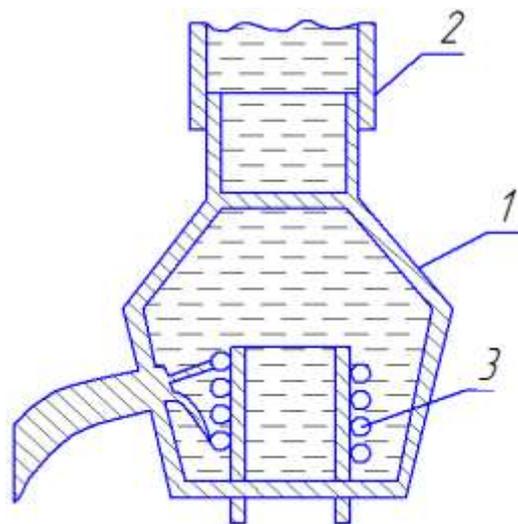


Рисунок 1.28 – Схема бытового нагревателя

Он имеет пластмассовый корпус 1 и выполнен в виде колбы с отверстиями в верхней и нижней части с помощью отрезка резинового шланга 2 колба крепится на водопроводном кране.

Внутри колбы на пласт цилиндре размешена спираль 3 из нихромовой проволоки, от которой выведен провод со штепсельной вилкой для подключения к двухпроводной сети напряжением 220 В с заземленным нулевым проводником.

Согласно инструкции вначале следует открыть кран, заполнить электронагреватель водой (она начинает вытекать из нижних отверстия) и затем подключить спираль к сети. После этого из нагревателя должна течь горячая вода.

Количество выходных отверстия 6, диаметр каждого отверстия 1мм. Удельное сопротивление водопроводной воды  $\rho = 5$  кОм-см. Струи вытекающей воды считаем непрерывными.

Возможны два варианта работы электронагревателя:

- а) в городской водопроводной сети (кухня, ванная комната) ;
- б) на даче, то есть при подключении его к емкости с водой (металлическому баку), установленной на улице.

Возможны различные эксплуатационные ситуации.

***Например:***

- а) под напором воды электронагреватель может сорваться с крана;
- б) человек, подставивший руку под струи воды, одновременно другими частями тела может касаться заземленных конструкций (батареи отопления) или стоять непосредственно на земле.

***Требуется:***

1) проанализировать эксплуатационные ситуации, при которых возможно поражение человека электрическим током. Для каждого варианта составить схему контура тока через тело человека, рассчитать значения токов и оценить условия безопасности. За безопасный принимаем ток 6 мА (ниже порогового неотпускающего тока для детей); Представить не менее трех вариантов.

**Задание 19.** Из сообщения газеты "Московский комсомолец" от 5 февраля 1995 г.: " Одна из песен группы "Браво" стала в пятницу вечером траурным маршем для 18-летнего москвича, решившего совместить приятное с полезным - принять ванну и одновременно насладиться приятной музыкой. Как сообщили "МК" в отделении милиции муниципального округа "Зябликово", парень зашел

в ванную комнату около полуночи. Он взял с собой магнитофон и включил музыку на полную мощность. Однако вскоре в ванной наступила в буквальном смысле гробовая тишина. Обеспокоенные домочадцы, взломав дверь, ворвались в комнату. Одного взгляда было достаточно, чтобы понять - самые худшие опасения подтвердились. Оказалось, что двухкассетный - магнитофон, который меломан поставил рядом с собой, неожиданно упал в наполненную водой ванну.. Скорее всего парень случайно задел его локтем. Сильный разряд тока оказался для молодого человека роковым - все попытки спасти его были тщетны".

***Требуется:***

- 1) нарисовать схему контура тока через тело человека;
- 2) рассчитать возможные значения тока, принимая удельное сопротивление водопроводной воды равным 5 кОм-см и полагая, что корпус ванны металлический.

***Задание 20.*** Из газеты "Известия" от 5 января 1994 г." В Туле на остановке "9 мая" пенсионерку Елену Матюшину ударило током при входе в троллейбус, следовавший по маршруту №5 "Погода была сырая, под ногами лужи, - рассказывает она. - Я поставила ногу на подножку троллейбуса, взялась рукой за железный поручень, и тут же меня притянуло словно магнитом, и затрясло. Вибрация от тока была ужасной!, страшная боль пронзила все тело". Водитель выразил соболезнование: "Нечему удивляться, видите, какая мокрота". Высадил пассажиров и уехал себе восвояси".

Троллейбус питается от двухпроводной линии с выпрямленным током напряжением 700В (среднее значение). Когда от той же подстанции получает питание трамвайная линия, отрицательный полюс сети заземляется. Приемники электроэнергии - тяговые электродвигатели постоянного тока и пусковые реостаты.

***Требуется:***

- 1) составить схему контура тока через тело человека в режиме, когда он входит в троллейбус (нога на земле, рука касается корпуса троллейбуса);

2) рассчитать значение эквивалентного сопротивления изоляции силовой цепи троллейбуса, исключающее возможность сражения током в самом неблагоприятном для человека Случае - когда он не имеет обуви. За безопасный принимается ток 10мА.

3) для условий п.2 рассчитать значение напряжения корпуса троллейбуса относительно земли;

4) принято условие, что сеть питания изолирована от земли при сопротивлениях изоляции полюсов 50 кОм. Построить схему контура тока через тело человека и рассчитать напряжение прикосновения для условий п.2.

## Глава 6. Эксплуатация электроустановок потребителей

### 6.1. Нормативные документы

Для решения вопросов проектирования, монтажа и эксплуатации электрооборудования имеется система взаимосвязанных правил, норм и положений, приводимых в нормативных документах. Основными нормативными документами являются:

***Правила устройства электроустановок (ПУЭ).*** Документ определяет порядок выбора электрооборудования, требования к устройству электроустановок и проведению испытаний. В нем даются термины, определения и классификация электроустановок и электроприемников; требования по выбору проводов, кабелей, электрических аппаратов, измерительных приборов; рекомендации по обеспечению безопасности обслуживающего персонала. Для всего основного электрооборудования установлены объем, виды и нормы приемо-сдаточных испытаний, а также порядок проведения и оформления результатов испытаний.

***Строительные нормы и правила (СН и П)*** устанавливают основные требования к организации, управлению, порядку и нормам проектирования, производству и приемке строительных и монтажных работ, нормам затрат материальных и людских ресурсов. Правила по производству и приемке монтажных работ в электротехнических установках изложены в СНиП 3.05.06-85 «Электротехнические устройства». В них излагаются основные требования к хранению основных видов электрооборудования, подготовке и сдаче объектов под монтаж, приему проектно-сметной документации монтажными организациями, распределению работ между электромонтажными и другими смежными специализированными организациями, общему порядку выполнения электромонтажных работ, передаче электрооборудования под наладку и представление документации к приему рабочей комиссией. Значительное место уделено правилам выполнения и приемки монтажных работ по отдельным видам электро-

оборудования. Кроме СНиП порядок, методы и способы выполнения работ по монтажу отдельных видов электрооборудования с большей степенью детализации регламентируется общероссийскими и ведомственными инструкциями.

**Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП)** определяют задачи и обязанности персонала по эксплуатации электрооборудования; порядок выполнения работ при эксплуатации и ремонте электрооборудования общего назначения и специальных электроустановок, а также сроки, объем и нормы испытаний электрооборудования, находящегося в эксплуатации. Правила обязательны для всех потребителей независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности. Эксплуатация электроустановок потребителей может производиться по специальным правилам и местным инструкциям, если они не противоречат ПТЭЭП, и не ослабляют их требований. Введение специальных правил осуществляется органами, уполномоченными на это после согласования с органами госэнергонадзора.

Вопросы учета и расчетов за электрическую энергию регламентируются **«Правилами учета электрической энергии»**. Правила содержат основные положения по учету электрической энергии при ее производстве, передаче, распределении и потреблении на действующих, вновь сооружаемых и реконструируемых электроустановках, а также при эксплуатации средств учета. В книгу включены нормативно-технические документы, определяющие порядок взаимоотношений энергоснабжающей организации и потребителей в вопросах учета электроэнергии, отражена взаимосвязь этих документов.

**Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (МПОТ)** устанавливают: требования безопасного оперативного обслуживания и правила производства работ в электроустановках. В документе содержатся: порядок выполнения организационных и технических мероприятий; правила техники безопасности при обслуживании электродвигателей, коммутационных аппаратов и комплектных распределительных устройств, при работах на кабельных и воздушных линиях электропередачи, при

проведении испытаний и измерений электрооборудования и другие.

*Правила пользования электрической и тепловой энергией* определяют взаимоотношения энергоснабжающих организаций с потребителями при пользовании электрической энергией. Они определяют условия присоединения электроустановок потребителей к сетям энергоснабжающих организаций, режимы потребления, требования по поддержанию необходимых параметров электроэнергии, условия прекращения подачи электроэнергии. В настоящее время дополнительно к ним используется такой документ, как *«Методические рекомендации по регулированию отношений между энергоснабжающей организацией и потребителями»*.

Расследование и учет нарушений в работе электроустановок потребителей производится в соответствии с требованиями «Типовой инструкции по расследованию и учету нарушений в работе объектов энергетического хозяйства потребителей электрической и тепловой энергии». Расследование электротравматизма, происходящего на объектах, подконтрольных госэнерго-надзору, производится в соответствии с действующими документами о расследовании и учете несчастных случаев на производстве.

Требования к качеству электроэнергии на зажимах электроприемников потребителей регламентируются ГОСТ 13109-97. Документ устанавливает нормальные и максимальные пределы изменения по отдельным показателям. Так, отклонения напряжения в электроустановках потребителей, получающих питание от сетей госэнергосистемы, не должны превышать  $\pm 5\%$  и  $10\%$  соответственно, отклонения частоты  $\pm 0,02$  и  $\pm 0,04\%$ , коэффициент несинусоидальности формы кривой напряжения 5 и  $10\%$ .

## **6.2. Техника безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей**

Обслуживание электроустановок потребителей должно проводиться с соблюдением «Межотраслевых правил по охране труда». Документ является обязательным для всех потребителей электроэнергии независимо от ведомственной принадлежности и форм собственности. Правила распространяются на персо-

нал, производящий монтажные и пусконаладочные работы, обслуживающий действующие электроустановки, выполняющий в них оперативные переключения и ремонтные работы.

Требования правил должны строго соблюдаться. Если работник не в состоянии сам устранить нарушения в электроустановке, он должен немедленно сообщить о замеченных недостатках своему непосредственному начальнику, а при его отсутствии вышестоящему. Запрещается выполнение распоряжений и заданий, противоречащих требованиям правил. При несчастных случаях с людьми снятие напряжения для освобождения пострадавшего от воздействия электрического тока должно производиться немедленно без предварительного разрешения.

На предприятиях могут быть разработаны дополнительные меры, повышающие безопасность работ, однако эти меры не должны противоречить действующим правилам.

Средства защиты должны удовлетворять требованиям «Правил применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках». Используемые при выполнении работ машины и механизмы, приспособления и инструмент должны быть испытаны в соответствии с действующими нормативами и сроками.

### **6.2.1. Производство работ в электроустановках**

С точки зрения соблюдения мер безопасности, работы в электроустановках бывают:

- ▶ со снятием напряжения;
- ▶ без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением;
- ▶ без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них.

При одновременной работе в электроустановках напряжением до и выше 1000 В должны соблюдаться меры безопасности как в электроустановках напряжением выше 1000 В.

К работам, выполняемым со снятием напряжения, относятся работы, вы-

полняемые на обесточенных электроустановках или их частях.

Работы без снятия напряжения вдали от токоведущих частей является работа, при которой исключается приближение людей (оснастки или инструмента) ближе норм, указанных в таблице 6.1, и не требуется принятия специальных мер предотвращения такого приближения.

К работам, выполняемым без снятия напряжения на токоведущих частях, относятся работы, проводимые непосредственно на них или на расстоянии меньшем значений, указанных в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Допустимые расстояния до токоведущих частей, находящихся под напряжением

Напряже- ние ЭУ	Тип ЭУ	Расстояние до токоведущих частей, м	
		от людей, инструмента и приспособлений, временных ограждений	от механизмов и машин
до 1000 В	<b>вЛ</b>	0,6	1,0
1... 35 кВ	остальные ЭУ	без прикосновения не нормируется	1,0
60... 110 кВ	все	0,6	1,0
	все	1,0	1,5

Работы без снятия напряжения должны выполняться не менее чем двумя лицами, из которых производитель работ должен иметь группу по электробезопасности не ниже IV, остальные - не ниже III.

В электроустановках напряжением выше 1000 В работы без снятия напряжения должны проводиться с применением специальных средств защиты.

В электроустановках напряжением ниже 1000 В при работах без снятия напряжения нужно оградить рабочее место, работать на коврике или в галошах, использовать инструмент с изолированными ручками или работать в перчатках. При этом в процессе работы не допускается прикосновение к неизолированным участкам инструмента, необходимо исключить перекрытие по поверхности изоляции, инструмент должен быть сухим и чистым с неповрежденным лаковым покры-

тием.

При использовании электрозащитных средств (штанги, указатели напряжения, электроизмерительные клещи) допускается приближение человека к токоведущим частям на расстояние, определяемое длиной изолированной части этих средств. Без применения электрозащитных средств запрещается прикасаться к изоляторам электроустановок, находящихся под напряжением. Запрещается работать в согнутом состоянии, если после выпрямления расстояние будет меньше величин, указанных в таблице 6.1. При техническом обслуживании и ремонтах в электроустановке запрещается использовать металлические лестницы и работать с ящиков и других посторонних предметов. Лестницы, устанавливаемые на гладкую поверхность должны иметь резиновую обивку внизу, при установке на земле - острые металлические наконечники, при опоре на провода - крюки. Во всех случаях лестница должна быть хорошо закреплена.

При приближении грозы прекращаются работы на воздушных линиях и в открытых распределительных устройствах. Во время дождя и тумана запрещаются работы, требующие применения защитных изолирующих средств.

При обнаружении замыкания на землю запрещается приближаться к месту замыкания менее 4 м в закрытых и менее 8 м в открытых распределительных устройствах (допускается приближение на меньшее расстояние для отключения замыкания или оказания помощи пострадавшим, при этом используются основные и дополнительные средства защиты).

Электротехнический персонал и владельцы электроустановок всегда должны помнить, что после отключения напряжения оно может быть подано без предупреждения.

### **6.2.2. Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках**

Организационные мероприятия включают: оформление работы нарядом, распоряжением или перечнем работ; допуск к работе; надзор во время работы; оформлением перерыва и окончания работы, а также перевод бригады на дру-

гое рабочее место.

**Наряд** - задание на производство безопасных работ. Наряд оформляется на специальном бланке. Он определяет место работы, содержание, условия безопасного проведения, время начала и окончания работы, состав бригады, лицо ответственное за технику безопасности. По наряду могут выполняться работы в электроустановках со снятием напряжения и без снятия напряжения.

**Распоряжение** - задание на производство работ, в котором определено место проведения и содержание работы, время выполнения, ответственные лица, меры безопасности. Распоряжение выдается либо непосредственно, либо при помощи средств связи с последующей записью в оперативном журнале.

**Работа в порядке текущей эксплуатации** - самостоятельное проведение оперативным (оперативно-ремонтным) персоналом работ по специально оформленному перечню на закрепленном за ними участке в течение одной смены.

### **6.3. Ответственные за безопасность работ, их права и обязанности**

За безопасность работ отвечают: лицо, выдающее наряд, отдающее распоряжение или утверждающее перечень работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации; допускающий; ответственный руководитель; производитель работ; наблюдающий; члены бригады.

Лицо, выдающее наряд (отдающее распоряжение) устанавливает последовательность и объем работ, отвечает за безопасность их выполнения, определяет уровень квалификации ответственного руководителя, производителя работ, наблюдающего, членов бригады. Право выдачи нарядов и распоряжений предоставляется административно-техническим работникам с группой V по электробезопасности в электроустановках напряжением выше 1000 В и группой не ниже IV в электроустановках напряжением до 1000 В, а также лицам из оперативного персонала с группой не ниже IV в случае отсутствия работников, имеющих право выдачи нарядов, или при ликвидации аварий.

Допускающий - лицо, из оперативного персонала. Он несет ответственность за правильность и достаточность необходимых для допуска и произ-

водства работ мер безопасности, а также за правильность самого допуска к работе, приемки рабочего места по окончании работ и оформления в нарядах и журналах необходимых документов. Допускающий должен иметь группу по электробезопасности не ниже IV в электроустановках напряжением выше 1000 В, и не ниже III в электроустановках до 1000 В. Если у допускающего возникают сомнения в безопасности выполняемой работы по наряду (распоряжению) или в достаточности указанных в наряде подготовительных мер, подготовку к работе прекращают.

Ответственный руководитель обычно назначается при выполнении работ в электроустановках напряжением выше 1000 В из числа административно-технического персонала с группой по электробезопасности V. В электроустановках напряжением до 1000 В он может не назначаться. Он отвечает за достаточность мер безопасности для производства работ и их полноту, за принимаемые им дополнительные меры безопасности, за полноту и качество инструктажей. Необходимость назначения ответственного руководителя определяет лицо, выдающее наряд.

Производитель работ отвечает за правильность подготовки рабочих мест и выполнение необходимых мер безопасности. Он инструктирует бригаду по мерам безопасности, соблюдает их сам, отвечает за соблюдение мер безопасности членами бригады. Он следит за исправностью инструмента и приспособлений. Производитель работ, выполняемых по наряду, должен иметь группу допуска по электробезопасности не ниже IV в электроустановках напряжением выше 1000 В и не ниже III в электроустановках до 1000 В. В отдельных случаях он должен иметь группу IV и в электроустановках до 1000 В.

Наблюдающий назначается при выполнении работ по наряду или распоряжению бригадой строительных рабочих, такелажников и др., а также при работе электротехнического персонала в помещениях с особо опасными условиями. Наблюдающий контролирует наличие установленных на месте работы заземлений, ограждений, плакатов, запирающих устройств и отвечает за безопасность членов бригады от поражения электрическим током. Наблюдающему за-

прещается совмещать надзор с выполнением какой-либо работы и оставлять бригаду без надзора во время работы. Наблюдающими назначаются лица с группой по электробезопасности не ниже III.

Ответственным за безопасность, связанную с технологией работ, является лицо, возглавляющее бригаду. Бригадир должен входить в состав бригады и постоянно находиться на рабочем месте. Его фамилия указывается отдельно в наряде.

Каждый член бригады должен выполнять требования МПОТ, требования инструкций по охране труда на данном предприятии, полученные при инструктаже указания.

Выдача и оформление наряда Наряд на работу выдается оперативному персоналу непосредственно перед подготовкой рабочего места. Выписывают наряд в двух экземплярах, а при передаче его по телефону или радио - в трех экземплярах. В последнем случае выдающий наряд выписывает один экземпляр, а работник, принимающий текст, заполняет два экземпляра. Вместо подписи выдающего наряд в этом случае указываются его фамилия и инициалы.

На руки производителю работ выдается только один наряд. На однотипные работы также может быть выдан один наряд. При расширении рабочего места или изменении числа рабочих мест должен выдаваться новый наряд. Число нарядов, выдаваемых на одного ответственного руководителя, определяет лицо, выдающее наряд.

Выдавать наряд разрешается на срок не более 15 дней. Наряд может быть продлен один раз на срок не более 15 дней. Хранятся наряды 30 дней, после чего уничтожаются.

### **6.3.1. Допуск бригады к работе по наряду**

Прежде чем допустить бригаду к работам допускающий должен убедиться в полном выполнении технических мер, обеспечивающих электробезопасность.

Перед допуском к работе ответственный руководитель и производитель работ совместно с допускающим проверяют подготовку рабочего места личным осмотром. После проверки и инструктажа бригады ответственный руководитель работ расписывается на обратной стороне наряда (только при первичном допуске). Если ответственный руководитель работ не назначается, подготовку рабочего места осуществляет производитель работ. Изменять меры безопасности, предусмотренные по подготовке рабочего места, запрещается.

После проверки выполнения технических мероприятий производится допуск бригады. При этом проверяющий проверяет состав бригады и их квалификацию по наряду. Если фамилия лица не известна, просматривается именное удостоверение, зачитывает фамилии ответственного руководителя, производителя работ, членов бригады и содержание работы; объясняется, какие меры безопасности приняты (где наложено заземление, какие части находятся под напряжением, где граница рабочего места) и убеждается, что все понятно. Доказывает бригаде отсутствие напряжения (в электроустановках до 35 кВ прикасаясь к токоведущим частям рукой).

Допуск к работам по наряду и распоряжению должен производиться непосредственно на рабочем месте. Допуск к работам по распоряжению, когда подготовка рабочего места не нужна, а также при работах на кабельных и воздушных линиях электропередачи проводить на рабочем месте необязательно. Допускающий сдает рабочее место производителю работ, при этом оформляются подписи на обоих бланках наряда, указывается дата. Один экземпляр наряда находится у производителя работ, второй - у оперативного персонала в папке нарядов. Время и содержание работы заносится в оперативный журнал.

При возникновении сомнений у членов бригады по части обеспечения мер безопасности они вправе потребовать дополнительных объяснений от ответственного руководителя или лица выдающего наряд.

Оперативный персонал не имеет права вносить изменение в схему установки, которые меняют условия производства работ с точки зрения техники безопасности.

На трансформаторных подстанциях и распределительных пунктах рабочие места в первый день готовит оперативный персонал, в последующие дни допуск осуществляет ответственный руководитель, а при отсутствии его - производитель работ.

Началу работ по наряду или распоряжению должен предшествовать целевой инструктаж, фиксируемый установленным порядком.

### **6.3.2. Наблюдение за работой, изменение состава бригады**

С момента допуска надзор за бригадой осуществляет производитель работ или наблюдающий. Они постоянно находятся на рабочем месте, преимущественно, где выполняется наиболее ответственная работа. Наблюдающему запрещается совмещать надзор с выполнением других работ. Производитель работ и члены бригады должны помнить, что за пределами отведенного участка элементы электроустановки в любой момент могут оказаться под напряжением.

Допускается кратковременная отлучка одного (нескольких) членов бригады с рабочего места. При этом производитель работ (наблюдающий) дает необходимые указания по технике безопасности, сам остается на месте. Количество оставшихся работников должно быть не меньше двух. После возвращения члены бригады допускаются к работе с разрешения производителя работ. Члены бригады с группой по электробезопасности III могут уходить из распределительного устройства и возвращаться на рабочее место самостоятельно, имеющие группу II, - в сопровождении лица, имеющего III группу.

В открытых и закрытых распределительных устройствах оставаться одному производителю работ или члену бригады без производителя работ не разрешается, за исключением случаев, когда по условиям работы необходимо выполнение операций на разных участках. При этом производитель работ разводит членов бригады по рабочим местам и дает соответствующие указания по технике безопасности. В распределительных устройствах со снятым напряжением можно оставаться на рабочем месте и продолжать работу одному лицу.

При необходимости отлучиться производителю работ (наблюдающему), если его не могут заменить ответственный руководитель, лицо, выдавшее наряд

или лицо из оперативного персонала, он обязан прекратить работы, вывести бригаду из электроустановки, оформить перерыв в наряде. В случае подмены наряд передается подменяющему лицу.

Ответственный руководитель работ и оперативный персонал периодически проверяют соблюдение техники безопасности. При обнаружении нарушений, угрожающих безопасности работающих, до устранения неполадок работы прекращаются, наряд отбирается, бригада удаляется с места работы.

Изменения в составе бригады должно оформлять лицо, выдавшее наряд, а при его отсутствии - лицо, имеющее право выдачи наряда. Сведения об изменениях могут быть переданы по телефону.

### **6.3.3. Оформление перерывов в работе**

При перерывах в работе в течение рабочего дня бригада выводится из электроустановки. Последующий допуск к работам осуществляет производитель работ (наблюдающий). Без него возвращаться на рабочее место члены бригады не имеют права.

При перерывах в работе по окончании рабочего дня бригада также удаляется с рабочего места. Принятые меры безопасности остаются в исходном состоянии, в наряде делается запись об окончании работ. Наряд сдается допускающему или оставляется в папке действующих нарядов (в электроустановках, не имеющих оперативного персонала, наряд остается у производителя работ или наблюдающего). Повторный допуск бригады на следующий день осуществляется допускающим или с его разрешения ответственным руководителем работ (производителем работ, наблюдающим). При этом если допуск осуществляется допускающим, делается запись в обоих экземплярах наряда, при допуске ответственным руководителем или производителем работ - в экземпляре наряда, находящегося у производителя работ (наблюдающего).

### **6.3.4. Окончание работы, закрытие наряда, включение оборудования в работу**

После полного окончания работы бригада удаляется с рабочего места, рабочее место приводится в порядок, принимается ответственным руководителем, делается соответствующая запись в наряде.

Производитель работ сообщает дежурному оперативному персоналу об окончании работ, сдает наряд допускаящему (если передача наряда затруднена, он остается у производителя работ и сдается оперативному персоналу не позднее следующего дня).

Оперативный персонал закрывает наряд после осмотра места работы, и сообщает об окончании работ вышестоящему оперативному персоналу. Окончание работ оформляется в журнале учета работ по нарядам и распоряжениям и в оперативном журнале.

Оборудование включается в работу после закрытия наряда. Если на отключенной электроустановке работы производились по нескольким нарядам, то оно может быть включено в работу только после закрытия всех нарядов. Допускающему из числа оперативно-ремонтного персонала может быть предоставлено право включения электроустановки без дополнительного разрешения при наличии соответствующей записи в наряде. В аварийной ситуации при отсутствии бригады на рабочем месте электроустановка может быть включена в работу оперативным персоналом или допускающим при условии оповещения при этом производителя работ и всех членов бригады.

### **6.3.5. Организация работ по распоряжению**

Работы по распоряжению имеют разовый характер и обычно ограничиваются продолжительностью рабочего дня исполнителя. Так, в электроустановках напряжением выше 1000 В по распоряжению могут проводиться неотложные работы продолжительностью не более одного часа без учета времени на подготовку рабочего места. При большей продолжительности нужно оформлять наряд.

По распоряжению могут проводиться работы со снятием напряжения в электроустановках напряжением до 1000В и работы без снятия напряжения

вдали от токоведущих частей продолжительностью не более одной смены, а также работы, вызванные производственной необходимостью. К работам, выполняемым по распоряжению в течение одной смены со снятием напряжения в электроустановках до 1000 В, относятся: ремонт магнитных пускателей, автоматических выключателей, пусковых кнопок, рубильников, реостатов, контакторов и аналогичной аппаратуры при условии установки ее вне щитов и сборок. Ремонт отдельных электроприемников (электродвигателей, калориферов и т.п.); отдельно расположенных магнитных пускателей и блоков управления; смена предохранителей; ремонт осветительной проводки; работы, выполняемые в электроустановках с односторонним питанием.

Распоряжение имеет разовый характер, действует в течение отведенного времени для работы персонала. При необходимости повторения, изменении условий работы или состава бригады распоряжение оформляется заново с записью в оперативном журнале. Работы, предусмотренные распоряжением, могут выполняться по наряду. Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ по распоряжению, те же что и при выполнении работ по наряду.

Распоряжение отдается производителю работ и допускающему, а в электроустановках, не имеющих местного оперативного персонала, может отдаваться непосредственно лицу, выполняющему работу. При этом допускающий должен иметь группу IV в электроустановках напряжением выше 1000 В и группу III - в электроустановках до 1000 В. Члены бригады, работающие в электроустановках с напряжением до и выше 1000 В, должны иметь III группу по электробезопасности. Уборку помещений с электрооборудованием напряжением до и выше 1000 В, если токоведущие части ограждены, может выполнять работник, имеющий II группу.

Распоряжение допускается выдавать для поочередной работы на нескольких электроустановках.

Допуск к работам по распоряжению оформляется в журнале учета работ по нарядам и распоряжениям, с записью о допуске в оперативном журнале.

### **6.3.6. Организация работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации**

В электроустановках, напряжением до 1000 В небольшие по объему работы, выполняемые в течение одной смены, могут производиться в порядке текущей эксплуатации. Они включаются в перечень работ, подписываемый ответственным за электрохозяйство, и утверждаемый руководителем организации. Такие работы являются постоянно разрешенными и не требуют каких-либо дополнительных указаний и распоряжений.

Работы в порядке текущей эксплуатации выполняются силами оперативного или оперативно-ремонтного персонала на закрепленных за ними объектах. Подготовку рабочего места осуществляют эти же работники.

К работам, выполняемым в порядке текущей эксплуатации в электроустановках напряжением до 1000 В, относятся: работы в электроустановках с односторонним питанием; отсоединение и присоединение проводов и кабелей к электродвигателям и другому оборудованию; ремонт пускозащитных аппаратов; ремонт отдельных электроприемников; снятие и установка электросчетчиков; замена предохранителей; ремонт осветительной проводки, замена ламп и чистка светильников. Приведенный перечень работ не является исчерпывающим и может быть дополнен решением руководителя организации. При этом в перечне обязательно должно быть указано, какие работы персонал может выполнять единолично.

### **6.4. Оперативное обслуживание электроустановок**

В оперативном порядке электроустановки обслуживает местный оперативный или оперативно-ремонтный персонал, за которым закреплена электроустановка, допущенный распорядительным документом руководителя организации.

Вид оперативного персонала и численный состав дежурной смены определяется руководством организации и закрепляется соответствующим распоряжением.

К оперативному обслуживанию допускаются лица, знающие оперативные схемы, должностные и эксплуатационные инструкции, особенности оборудования. При этом лица, обслуживающие электроустановки единолично и старшие в смене или бригаде должны иметь группу по электробезопасности не ниже IV в установках напряжением выше 1000 В и III - в установках напряжением до 1000 В.

Работает оперативный персонал по графику, утверждаемому лицом, ответственным за электрохозяйство предприятия или структурного подразделения. В необходимых случаях наибольшее рабочее напряжение отдельной цепи не должно превышать 500 В;

- питание отдельной цепи должно быть выполнено от разделительного трансформатора;

- токовые части отделенной цепи не должны иметь точек присоединения к другой цепи или к земле;

- гибкие кабели и шнуры должны быть доступны для осмотра по всей длине, где возможны механические повреждения.

Для разделительных цепей рекомендуется использование отдельных трасс. Допускается питание нескольких электроприемников от одного разделительного трансформатора при выполнении ряда условий.

Обслуживание электрооборудования с *изолирующих площадок*, а также с использованием *изолирующих помещений и зон* имеет целью предотвратить одновременное прикосновение к частям, оказавшимся под разным потенциалом в случае повреждения основной изоляции токоведущих частей. К изолирующим относятся помещения, в которых пол и стены помещения являются изолирующими и выполняется ряд специальных условий, приводимых в ПУЭ.

## **6.5. Особенности систем электроснабжения и защиты электроустановок в Европе**

В Европе широкое распространение получили трехфазные четырехпроводные системы напряжением 400/230 В с глухозаземленной нейтралью.

В большинстве европейских стран, начиная с 1960 года, требуется ис-

пользовать РЕ-проводник при новом строительстве. В странах центральной и северной Европы в качестве основной системы электроснабжения жилых зданий применяется система ТМ-С-8. В южной Европе преимущественное распространение получила система ТТ. При этом защита от повреждений изоляции обеспечивается применением УЗО, действующего на отключение.

Питающие трансформаторы, как правило, монтируются на столбовых подстанциях в сельской местности или внутри зданий в городе. Обычно используются трехфазные трансформаторы, получающие питание от высоковольтных линий напряжением 10 или 20 кВ с изолированной нейтралью. Это делается с целью ограничения тока замыкания на землю до нескольких ампер в случае единственного повреждения изоляции. Мощность каждого трансформатора составляет несколько сотен кВт. Обычно один трансформатор питает несколько независимых потребителей. Отдельные квартиры получают питание от одной фазы, в тоже время частные дома, фермы и аналогичные здания получают трехфазное питание.

В последние 15 лет в ряде стран появилось требование выполнять систему заземления при закладке фундамента здания. В этом случае заземляющее устройство состоит из замкнутого проводника, закладываемого в бетонное основание фундамента по его контуру. Этот проводник присоединяется к главной заземляющей шине, которая обычно располагается в подвальном этаже здания и присоединяется к главному распределительному щиту. Главный распределительный щит имеет защитную шину, к которой присоединяются защитные проводники всего здания. РЕ1Ч-проводник присоединяется к главной заземляющей шине на входе в здание, где устанавливается устройство защиты от сверхтоков. Если используется молниезащита, она также должна быть присоединена к главной заземляющей шине.

Главный распределительный щит содержит устройства для отключения электроустановки потребителя от источника питания. В главном распределительном щите монтируются также автоматические выключатели отдельных групп электроприемников, рассчитанные на отключение токов короткого замы-

кания от 6 000 до 10 000 А. РЕМ-проводник системы электроснабжения расщепляется в главном распределительном щите на два отдельных проводника: РЕ-проводник и ]Ч-проводник.

Электропроводка к штепсельным розеткам выполняется сечением 1,5 мм<sup>2</sup> (по меди) и рассчитана на номинальный ток 16 А. Штепсельные розетки общего пользования выполняются двухполюсными с заземленными контактами. Если в качестве главного защитного аппарата используется УЗО-Д с характеристикой типа 8 (с током уставки от 100 до 300 мА) с одновременной защитой от пожара при замыканиях на землю, то в этом случае штепсельные розетки имеют дополнительную защиту в виде УЗО-Д с уставкой 30 мА.

В современных электроустановках, получающих питание от воздушных линий для защиты от импульсных напряжений, используются грозовые разрядники. В ряде стран эта мера применяется не только при питании от воздушных линий, но и от подземных кабельных линий.

В системе ТТ запрещается присоединять нулевой рабочий проводник к заземляющему устройству электроустановки потребителя.

Для защиты от перенапряжений в электроустановках потребителя устанавливают четыре разрядника: по одному для каждой фазы и один для М-проводника. Защита от повреждения изоляции обеспечивается установкой УЗО-Д. В главном распределительном щите может монтироваться УЗО-Д с уставкой от 100 до 300 мА для обеспечения защиты для всей электроустановки. В этом случае розетки имеют дополнительную защиту с уставкой по дифференциальному току не более 30 мА.

Сопротивление растеканию заземляющего устройства электроустановки потребителя нормируется на уровне 10 Ом. Если защитное заземление используется для обеспечения работы УЗО-Д и если грозовые разрядники установлены на линейной стороне УЗО-Д, повреждение грозового разрядника может вызвать появление опасного напряжения на главной заземляющей шине. Волна перенапряжений может распространиться по РЕ-

проводникам на все электрооборудование. Для предотвращения этой опасности в цепь заземляющего проводника последовательно с разрядником включается выключатель АС8. Этот выключатель разрывает аварийный ток в случае повреждения разрядника.

## **6.6. Электрозащитные средства**

### **6.6.1. Основные и дополнительные средства защиты**

Правила хранения, содержания и использования защитных средств изложены в действующем нормативном документе .

Наиболее общим является понятие средств защиты как средств, предназначенных для предотвращения или уменьшения воздействия на работающих опасных и вредных факторов. В качестве отдельного класса средств защиты рассматриваются электрозащитные средства, предназначенные для обеспечения электробезопасности.

Изолирующие электрозащитные средства делятся на основные и дополнительные средства.

К основным электрозащитным средствам в электроустановках напряжением выше 1000 В относятся: изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, устройства и приспособления для проведения испытаний и измерений в электроустановках, устройства для прокола кабелей, указатели повреждения кабелей и др.

К дополнительным электрозащитным средствам в электроустановках напряжением выше 1000 В относятся: диэлектрические перчатки, диэлектрические боты и ковры, изолирующие подставки и накладки, изолирующие колпаки, штанги для переноса и выравнивания потенциалов.

К основным электрозащитным средствам в электроустановках напряжением до 1000 В относятся: изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, диэлектрические перчатки, изолированный инструмент.

К дополнительным электрозащитным средствам в электроустановках напряжением до 1000 В относятся: диэлектрические галоши, диэлектрические ковры, изолирующие подставки и накладки, изолирующие колпаки.

Кроме перечисленных электрозащитных средств, в электроустановках применяются средства индивидуальной защиты (каска, очки, противогазы, рукавицы, предохранительные пояса, страховочные канаты).

При использовании основного электрозащитного средства достаточно одного дополнительного средства, за исключением специально оговоренных в Правилах случаев. При необходимости защиты от напряжения шага диэлектрические боты и галоши могут использоваться без основных средств защиты.

#### **6.6.2. Правила содержания и использования защитных средств**

Средства защиты должны храниться в закрытых помещениях. Резиновые средства защиты необходимо хранить в сухих помещениях при температуре 0 ... 30 °С в специальных шкафах, стеллажах, полках, ящиках, отдельно от инструмента. Они должны быть защищены от воздействия масел, щелочей и прямого воздействия солнечных лучей.

Изолирующие штанги и клещи хранятся в условиях, исключающих их прогиб, места для хранения переносных заземлений нумеруются. Средства защиты размещаются, как правило, у входа в помещение. В местах хранения должен быть перечень средств защиты.

Средства защиты, находящиеся в пользовании оперативно-выездных бригад, передвижных лабораторий и индивидуальном пользовании, необходимо хранить в ящиках, сумках и чехлах отдельно от прочего инструмента.

Все находящиеся в эксплуатации электрозащитные средства и предохранительные пояса должны быть пронумерованы краской за исключением касок, диэлектрических ковров, изолирующих подставок, плакатов и знаков безопасности, защитных ограждений, штанг для переноса и выравнивания потенциала.

На предприятиях и в организациях необходимо вести журнал учета и

содержания средств защиты. Наличие и состояние средств защиты должно проверяться осмотром периодически не реже одного раза в шесть месяцев лицом, отвечающим за их состояние с записью результатов осмотра в журнал. Средства, выдаваемые в индивидуальное пользование, также должны быть зарегистрированы в журнале.

При получении средств защиты от завода-изготовителя или со складов они должны быть проверены по нормам эксплуатационных испытаний. Исключение составляет: изолирующие подставки, диэлектрические ковры, переносные заземления, защитные ограждения, плакаты и знаки безопасности.

В эксплуатации средства защиты подвергаются периодическим и внеочередным испытаниям в соответствии с действующими нормами в специальной лаборатории. На выдаваемые после испытания средства защиты ставится штамп

№ .

Годен до \_\_\_\_\_ кВ

Дата следующего испытания \_\_\_\_\_ 19\_\_ г.

(наименование лаборатории)

На средства защиты, применение которых не зависит от напряжения электроустановки (диэлектрические перчатки, боты, противогазы и др.), ставится штамп

№\_\_

Дата следующего испытания \_\_\_\_\_ 19\_\_ г.

(наименование лаборатории)

Штамп наносится несмываемой краской и должен быть хорошо виден.

Результаты электрических и механических испытаний средств защиты записываются в специальный журнал в лаборатории. Изолированные инструменты, указатели напряжения до 1000 В, а также предохранительные пояса и

страховочные канаты разрешается маркировать доступными средствами.

Электрозщитные средства используются только по прямому назначению. Основные и дополнительные электрозщитные средства рассчитаны на применение в закрытых электроустановках, использоваться в открытых электроустановках могут только в сухую погоду. В изморозь и при осадках ими пользоваться запрещено.

Персонал, обслуживающий электроустановки, должен быть обеспечен всеми необходимыми электрозщитными средствами, обучен правилам их использования и обязан их применять. Перед каждым применением персонал обязан проверить их исправность, штамп и срок годности. Пользоваться электрозщитными средствами с истекшими сроками службы запрещается.

Средства защиты в помещениях электроустановок должны находиться в качестве инвентарного имущества или входить в состав имущества оперативно-выездных бригад, высоковольтных лабораторий или выдаваться для индивидуального пользования. Ответственность за своевременное обеспечение, организацию учета и хранения, осмотры и испытания электрозщитных средств несут руководители структурных подразделений, а в целом по предприятию - главный инженер или лицо ответственное за электрохозяйство. Лица, получившие средства защиты в индивидуальное пользование, отвечают за правильную эксплуатацию их.

## **6.7. Технические требования к отдельным средствам защиты**

### **6.7.1. Общие положения**

Изолирующая часть средств электрозщиты должна быть выполнена из изоляционного материала. Она ограничивается кольцом или упором, наружный диаметр кольца в электроустановках напряжением выше 1000 В должен быть не менее чем на 10 мм больше диаметра рукоятки. У электрозщитных средств для электроустановок напряжением до 1000 В (кроме изолированного инструмента) высота кольца или упора должна быть не менее 3 мм.

Размеры рабочей части штанг и указателей напряжения не нормируются, однако они должны быть такими, чтобы при работе с ними исключалась возможность междуфазного короткого замыкания или замыкания на землю. В электроустановках напряжением выше 1000 В пользоваться штангами нужно в диэлектрических перчатках. При повреждении лакового покрова и других неисправностях электрозащитные средства подвергаются ремонту и испытаниям.

### **6.7.2. Штанги оперативные и штанги переносных заземлений**

Штанги предназначены для оперативной работы. Они могут быть универсальными, со сменными рабочими частями, а также составные. Конструкция штанги и их масса должны допускать возможность их использования одним человеком.

Изолирующие оперативные штанги на напряжение до 1000 В испытываются напряжением 2 кВ в течении 5 мин, штанги на напряжение свыше 1000 В испытываются трехкратным линейным напряжением в течении 5 мин.

Измерительные штанги при их использовании не заземляются, кроме их специальной конструкции, требующей заземления. Перед началом работ проверяется работоспособность резьбовых соединений рабочей и изолирующей части. Подниматься на конструкцию и телескопическую вышку следует без штанги.

### **6.7.3. Клещи изолирующие и электроизмерительные**

Клещи изолирующие предназначены для замены предохранителей в электроустановках напряжением до и выше 1000 В, а также для снятия ограждающих накладок и других работ в электроустановках напряжением до 35 кВ.

Клещи состоят из рабочей, изолирующей частей и рукоятки. Изолирующая часть клещей должна быть отделена от рукоятки ограничительным упором (кольцом). Масса клещей должна позволять работать с ними одному человеку.

Испытание клещей на напряжение до 1000 В на электрическую прочность проводится напряжением 2 кВ в течении 5 мин, а клещей на более высокое напряжение трехкратным линейным напряжением в течении 5 мин, но не менее 40 кВ.

Работа с клещами на напряжение менее 1000 В должна проводиться в сухую погоду. Работая с клещами при замене предохранителей, нужно кроме перчаток пользоваться очками. Используя клещи на напряжение до 1000 В, нужно держать их на вытянутой руке подальше от токоведущих частей. Клещи на напряжение выше 1000 В следует держать только за рукоятку, не касаясь изолирующей части.

Электроизмерительные клещи, предназначены для измерения тока, напряжения и мощности в электрических цепях до 10 кВ без нарушения их целости.

Принцип действия клещей состоит в том, что ток измеряется трансформатором, вторичная обмотка которого замыкается на измерительную схему. Первичной обмоткой является шина или провод с измеряемым током.

Клещи для работы в электроустановках до 10 кВ состоят из рабочей, изолирующей частей и рукоятки. Клещи для работы в низковольтных цепях - из рабочей части и корпуса, являющегося одновременно изолирующей частью, с упором и рукояткой. Испытания электроизмерительных клещей проводятся также как и изолирующих клещей.

При работах с электроизмерительными клещами в цепях напряжением выше 1000 В запрещается применять выносные приборы, изменять пределы измерений, не снимая клещи с токоведущих частей. Клещи при измерениях следует держать на весу. Работать с клещами до 10 кВ необходимо в диэлектрических перчатках. Запрещается работать с клещами на напряжение до 1000 В на опорах воздушных линий.

#### **6.7.4. Указатели напряжения**

В электроустановках напряжением до и выше 1000 В для определения наличия или отсутствия напряжения используются различные виды указателей напряжения контактного и бесконтактного типа. Принцип действия указателей основано на свечении газоразрядной индикаторной лампы при протекании через нее емкостного тока.

Для проверки наличия или отсутствия напряжения в электроустановках напряжением до 1000 В применяются указатели двух типов: двухполюсные, работа-

ющие при протекании активного тока, и однополюсные - работающие при емкостном токе. Двухполюсные указатели предназначены для электроустановок переменного и постоянного тока, однополюсные - для электроустановок переменного тока.

Применение контрольных ламп для проверки отсутствия напряжения запрещается в связи с опасностью их взрыва при ошибочном включении лампы, рассчитанной на напряжение 220 В, на линейное напряжение 380 В.

Двухполюсные указатели состоят из двух корпусов, содержащих элементы схемы, обеспечивающей визуальную индикацию напряжения, и гибкого проводника длиной не менее одного метра. Однополюсный указатель размещается в одном корпусе. Электрическая схема такого указателя напряжения должна содержать элементы индикации с добавочным резистором, контакт-наконечник и контакт на торцевой (боковой) части корпуса, с которым соприкасается рука оператора. Длина не изолированной части наконечника не должна превышать 5 мм, он должен быть жестко закреплен и не должен перемещаться вдоль оси.

Эксплуатационные испытания указателей напряжения до 1000 В включают: определение напряжения индикации (должно быть не выше 90 В); проверку схемы повышенного напряжения; измерение тока, протекающего через указатель при наибольшем рабочем напряжении; испытание изоляции повышенным напряжением. Изоляция указателей напряжения до 500 В должна выдерживать напряжение 1 кВ, а указателей напряжением более 500 В - 2 кВ. Продолжительность испытания 1 мин.

Однополюсные указатели рекомендуется применять при проверке схем вторичной коммутации, определении фазного провода да при подключении электросчетчиков, патронов, выключателей, предохранителей и т.п. При этом следует помнить, что во время проверки возможно свечение сигнальной лампы от наведенного напряжения. Перед применением исправность указателя проверяется на токоведущих частях, заведомо находящихся под напряжением. При пользовании однополюсным указателем напряжения во избежание неправильных показаний применение диэлектрических перчаток запрещается.

### **6.7.5. Указатель повреждения кабелей светосигнальный**

Указатель предназначен для отыскания поврежденного участка разветвленной кабельной или воздушно-кабельной сети 6 и 10 кВ, имеющей однофазное или многофазное короткое замыкание в линии и оборудовании.

Указатель состоит из двух изолированных трубчатых корпусов, каждый из которых содержит рабочую, изолирующую части и рукоятку. Рабочая часть указателя соединяется гибким изолированным проводом. Указатель представляет собой светосигнальное устройство, в рабочих частях которого размещаются элементы электрической схемы: газоразрядная индикаторная лампа, выпрямительные элементы, токоограничивающие резисторы.

По принципу действия указатель представляет собой высоковольтный выпрямитель переменного тока. Состояние испытываемой фазы определяется по изменению высоты светящегося газового столба в индикаторной лампе. При проверке электрической прочности каждой из рабочих частей напряжение 10 кВ в течении 1 мин прикладывается к контакту-наконечнику и резьбовому разъему. Сигнальная лампа при этом шунтируется для защиты от перегрузки.

Проверка изолирующих частей указателя повреждений проводится напряжением 40 кВ в течение 5 мин. Измерения должны проводиться двумя лицами, прошедшими специальное обучение, одно из которых является контролирующим. Работа с указателем проводится в ячейках, находящихся под напряжением, поэтому приближаться к токоведущим частям ближе 0,7 м запрещается. Работа с указателем должна проводиться в диэлектрических перчатках, на изолированной подставке (ковре) и в защитных очках.

### **6.7.6. Средства защиты из диэлектрической резины**

**Перчатки резиновые диэлектрические.** Перчатки предназначены для защиты рук от поражения электрическим током. При работах в электроустановках напряжением до 1000 В они используются в качестве основного электрозащитного средства, а в электроустановках напряжением выше 1000 В - в качестве дополнительного.

Разрешается использовать перчатки с маркировкой по защитным свойствам  $\mathcal{E}_H$ ,  $\mathcal{E}_B$  ( $\mathcal{E}_H$  до 1 кВ,  $\mathcal{E}_B$  выше 1 кВ). Длина перчаток должна быть не менее 350 мм. В процессе эксплуатации перчатки подвергаются электрическим испытаниям. Один раз в 6 месяцев перчатки испытывают напряжением 6 кВ в течение 1 мин, при этом ток через перчатки не должен превышать 6 мА.

При использовании перчаток необходимо обращать внимание, чтобы они были сухими и не имели повреждений. Перед употреблением наличие проколов следует проверять скручиванием перчаток в сторону пальцев. Нельзя подвертывать края перчаток. Эксплуатируемые перчатки необходимо периодически дезинфицировать содовым или мыльным раствором.

**Боты и галоши диэлектрические.** Обувь специальная диэлектрическая является дополнительным электрозащитным средством при работах в закрытых, а при отсутствии осадков и в открытых электроустановках. Кроме этого, боты и галоши защищают работающих лиц от шагового напряжения. Диэлектрическая обувь должна отличаться по цвету. Обувь применяют: галоши при напряжении до 1000 В, боты - при всех напряжениях. Электроустановки следует комплектовать диэлектрической обувью нескольких размеров. Перед применением галоши и боты должны быть осмотрены с целью обнаружения дефектов.

**Резиновые и диэлектрические ковры и изолирующие подставки.** Ковры диэлектрические резиновые и подставки изолирующие применяются в качестве дополнительных электрозащитных средств в электроустановках напряжением до и выше 1000 В. Ковры применяются в закрытых электроустановках всех напряжений, кроме особо сырых помещений, а в открытых элек

троустановках в сухую погоду. Ковры должны быть одноцветными и иметь рифленую поверхность.

Изолирующие подставки применяются в сырых и подверженных загрязнению помещениях. Изолирующие подставки состоят из настила, укрепленного на опорных изоляторах высотой не менее 70 мм. Рекомендуется применять изоляторы типа СН-6, выпускаемые специально для изготовления подставок. Настил изготавливают из деревянных окрашенных планок.

При эксплуатации ковры и подставки не испытывают. Их отбраковывают при осмотрах, проводимых для ковров 1 раз в 6 месяцев, а для подставок 1 раз в 3 года. Ковры и изолирующие подставки перед применением должны быть очищены от загрязнений, высушены и осмотрены на предмет отсутствия дефектов.

**Защитные ограждения** применяются для предотвращения случайного приближения и прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением и расположенным вблизи места работы. Защитные ограждения могут быть следующих видов: щиты, изолирующие накладки, изолирующие колпаки.

Щиты применяются для временного ограждения токоведущих частей, находящихся под напряжением в электроустановках напряжением до и выше 1000 В. Изготавливаются щиты из сухого дерева, пропитанного олифой и окрашенного бесцветным лаком, или из прочного электроизоляционного материала, без применения металлических крепежных деталей. Высота щита должна быть не менее 1,7 м, а расстояние от нижней кромки до пола - не более 10 см.

Механические и электрические испытания щитов не проводятся, пригодность их определяют при осмотрах. Соприкосновение щитов с токоведущими частями не допускается, в электроустановках 6-10 кВ расстояние до них должно быть более 0,35 м. На щитах должны быть укреплены предупредительные плакаты «Стой! Напряжение» или нанесены соответствующие надписи. Запрещается убирать или переставлять установленные при подготовке рабочего места ограждения до полного окончания работ.

**Изолирующие накладки** применяются в электроустановках до 20 кВ для предотвращения случайного прикосновения к токоведущим частям в том случае, если нет возможности оградить рабочее место щитами. В электроустановках напряжением до 1000 В накладки применяют также для предупреждения ошибочного включения рубильников.

В электроустановках напряжением до 20 кВ накладки должны изготавливаться из прочного электроизоляционного материала (стеклопластик, гетинакс

и др.) с размерами, позволяющими полностью закрыть токоведущие части. В электроустановках напряжением до 1000 В можно использовать гибкие накладки из диэлектрической резины.

Механические испытания изолирующих накладок не проводятся. Электрическая прочность в процессе эксплуатации проверяется двукратным напряжением в течении 5 мин в электроустановках напряжением выше 1000 В, в электроустановках до 500 В напряжением 1 кВ, от 500 до 1000 В - 2 кВ в течении 1 мин. Установка накладок на токоведущие части при напряжении более 1000 В должна проводиться двумя лицами с применением диэлектрических перчаток и изолирующих штанг или клещей.

**Изолирующие колпаки** предназначены для применения в электроустановках до 10 кВ, конструкция которых по условиям электробезопасности исключает возможность наложения переносных заземлений (жилы отключенных кабелей, ножи однополюсных и трехполюсных разъединителей). Колпаки изготавливаются из диэлектрической резины, пластмассы, стеклопластика и других изоляционных материалов. В эксплуатации колпаки для использования на кабелях испытывают один раз в год напряжением 20 кВ в течении 1 мин, а колпаки для разъединителей один раз в год подвергаются осмотру на отсутствие трещин, разрывов и других повреждений.

Перед установкой колпака необходимо проверить отсутствие напряжения на жилах кабеля и ножах разъединителя. Установка (снятие) колпаков производится двумя лицами с применением диэлектрических перчаток, оперативной штанги и диэлектрического ковра или изолирующей подставки. Последовательность установки колпаков снизу - вверх, снятие сверху - вниз.

**Изолированный инструмент.** К изолированному инструменту относятся слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками (ключи гаечные, плоскогубцы, пассатижи, кусачки боковые и торцевые,

отвертки, монтажные ножи и др.), применяемые для работы под напряжением в электроустановках напряжением до 1000 В в качестве основного электрозащитного средства.

Изолирующие рукоятки инструмента должны быть выполнены в виде диэлектрических чехлов, насаживаемых на ручки из неснимаемого однослойного или многослойного покрытия из изоляционного материала. Поверхность изоляционного покрытия не должна быть скользкой. Изоляция должна покрывать всю рукоятку и иметь длину не менее 100 мм. Упор должен иметь высоту не менее 10 мм, толщину - не менее 3 мм и не должен иметь острых кромок и граней. Толщина многослойной изоляции не должна быть более 2 мм, однослойной - 1 мм. Изоляция стержней отверток должна оканчиваться на расстоянии не более 10 мм от конца лезвия отвертки.

Инструмент с однослойной изоляцией в эксплуатации испытывается напряжением 2 кВ в течении 1 мин. Инструмент с многослойной изоляцией подвергается осмотру. При появлении нижнего слоя инструмент изымается из эксплуатации.

Перед каждым применением проводится осмотр инструмента на предмет наличия раковин, трещин, сколов, вздутий и других дефектов. При хранении инструмента его следует оберегать от увлажнения и загрязнения.

**Плакаты и знаки безопасности.** Плакаты и знаки безопасности следует применять для запрещающих действий с коммутационной аппаратурой, при ошибочном включении которой может быть подано напряжение на место работы. К этой категории относятся запрещающие плакаты. Для предупреждения об опасности приближения к токоведущим частям, находящимся под напряжением используются предупреждающие плакаты. Кроме этого для разрешения определенных действий применяются предписывающие плакаты, а для указания местоположения различных объектов - указательные плакаты.

По характеру применения плакаты могут быть постоянными и переносными. Постоянные плакаты и знаки рекомендуется изготавливать из изоляционного материала (стеклопластика, полистирола, гетинакса, текстолита и др.), а на бетонные и металлические поверхности (опоры воздушных линий электропередачи, двери камер и т.д.) наносить краской с помощью трафаретов. Переносные плакаты и знаки изготавливаются из электроизоляционных материалов.

Для электроустановок, имеющих открытые токопроводящие части, не допускается применять плакаты, изготовленные из токопроводящего материала. Установка постоянных и переносных плакатов и знаков из металла допускается только вдали от токоведущих частей.

## **6.8. Техника безопасности при эксплуатации различных видов электрооборудования**

### **6.8.1. Общие требования по охране труда при работах в электроустановках**

Руководитель структурного подразделения обязан создать на рабочем месте условия, отвечающие требованиям охраны труда, обеспечить работников необходимыми средствами защиты.

На каждом предприятии должны быть разработаны и доведены до сведения всего персонала безопасные маршруты следования по территории предприятия к месту работы, планы эвакуации на случай пожара и аварийных ситуаций, инструкции по охране труда на рабочих местах.

Каждый работник обязан:

- ▶ соблюдать требования разработанной для его рабочего места инструкции по технике безопасности;
- ▶ немедленно сообщать своему непосредственному руководителю, а при его отсутствии выше стоящему руководителю о происшедшем несчастном случае и обо всех замеченных им нарушениях, а также о неисправностях сооружений, оборудования и защитных устройств;
- ▶ содержать в чистоте и порядке рабочее место и оборудование;
- ▶ обеспечить на своем рабочем месте сохранность средств защиты, инструмента, приспособлений, средств пожаротушения и документации по охране труда. К работам в электроустановках допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие предварительный медицинский осмотр и не имеющие противопо-

казаний к выполнению работы.

Работники при приеме на работу проходят вводный инструктаж. Перед допуском к самостоятельной работе они должны пройти обучение по программе подготовки к профессии, первичный инструктаж на рабочем месте, проверку знаний следующих инструкций: по охране труда, по оказанию первой помощи пострадавшим при несчастных случаях на производстве, по применению средств защиты, необходимых для выполнения безопасных работ.

Допуск к самостоятельной работе оформляется соответствующим распоряжением по структурному подразделению предприятия.

Вновь принятому работнику выдается квалификационное удостоверение, в котором должна быть сделана соответствующая запись о проверке знаний инструкций и правил и о праве на выполнение специальных работ. Квалификационное удостоверение для дежурного персонала во время исполнения служебных обязанностей может храниться у начальника смены, цеха или при себе в соответствии с местными условиями. Работники, не прошедшие проверку знаний в установленные сроки, к самостоятельной работе не допускаются.

Работник в процессе работы обязан проходить:

- ▶ повторные инструктажи - не реже одного раза в квартал;
- ▶ проверку знаний инструкции по охране труда и действующей инструкции по оказанию первой помощи пострадавшим при несчастных случаях на производстве - 1 раз в год;
- ▶ медицинский осмотр - 1 раз в два года;
- ▶ проверку знаний МПОТ работник, имеющих право подготовки рабочего места, допуска, право быть производителем работ, наблюдающим или членом бригады, - 1 раз в год.

Работники, получившие неудовлетворительную оценку при квалификационной проверке, к самостоятельной работе не допускаются и не позднее одного месяца должны пройти повторную проверку. При нарушении правил охраны труда в зависимости от характера нарушения проводится внеплановый инструктаж или внеплановая проверка знаний.

О каждом несчастном случае или аварии пострадавший или очевидец обязан немедленно известить своего непосредственного руководителя.

Каждый работник должен знать место положения аптечки и уметь ею пользоваться.

При недостаточной освещенности рабочей зоны следует применять дополнительное местное освещение (фонари). При работе в темное время суток должно быть предусмотрено освещение рабочего места. Освещенность должна быть равномерной.

Электромонтер должен работать в спецодежде и применять средства защиты, выдаваемые в соответствии с действующими отраслевыми нормами.

Электромонтеру должны быть бесплатно выданы согласно отраслевым нормам следующие средства индивидуальной защиты:

- ▶ костюм хлопчатобумажный - на один год;
- ▶ рукавицы брезентовые - на два месяца;
- ▶ сапоги резиновые для работы в заболоченной местности - на один год;
- ▶ сапоги кирзовые;
- ▶ полуплащ прорезиненный - дежурный;
- ▶ боты диэлектрические - дежурные;
- ▶ пояс предохранительный - дежурный;
- ▶ куртка хлопчатобумажная на утепленной подкладке;
- ▶ брюки хлопчатобумажные на утепленной подкладке;
- ▶ валенки;
- ▶ рукавицы хлопчатобумажные теплые на - один месяц.

При работе на деревянных опорах, пропитанных антисептиками, выдается дополнительно костюм хлопчатобумажный со специальной пропиткой на один год. Кроме этого в зависимости от характера работ и условий их производства электромонтеру бесплатно выдается дополнительная спецодежда и защитные средства для этих условий.

## **6.8.2. Распределительные электрические сети**

Перед началом работ следует привести в порядок спецодежду, проверить укомплектованность и пригодность средств защиты и приспособлений, проверить наличие и исправность инструмента, приставных лестниц. Средства защиты, приборы, инструмент и приспособления с дефектами и с истекшим сроком испытаний необходимо изъять и заменить исправными. В монтерских когтях и лазах необходимо проверить целостность сварных швов, целостность твердосплавных вставок шипов, затяжку шипов, сохранность прошивки ремней и надежность пряжек. Не разрешается пользоваться когтями и лазами, у которых затуплены или поломаны шипы. Шипы должны быть должны быть завернуты до упора и правильно заточены. Необходимо убедиться, что блоки, полиспасты и приданные им канаты испытаны и имеют бирку.

Ответственность за укомплектованность исправными средствами защиты и приспособлениями, необходимыми для выполнения работ, возлагается на производителя работ.

Необходимо ознакомиться с нарядом, выданным на производство работы и убедиться в том, что меры безопасности определены правильно, а содержание работы понятно. Электромонтер всегда обязан помнить, что после аварийного исчезновения напряжения оно может быть подано вновь без предупреждения.

Доставка людей к месту работы должна осуществляться транспортом, оборудованным фургоном.

При прибытии на рабочее место необходимо убедиться в том, что место работы соответствует указанному в наряде или распоряжении, а также убедиться в выполнении технических мер безопасности, указанных в наряде, и получить инструктаж по безопасному выполнению работ. При выполнении работ не допускается приближаться к не огражденным токоведущим частям на регламентируемые ПУЭ расстояния (таблица 2.1). Не допускается приближаться к изолированному от опоры молниезащитному тросу ближе одного метра.

Подниматься на опору и работать на ней разрешается только при достаточной прочности опоры. Проверять прочность опоры и применять меры по ее

укреплению должен производитель или ответственный руководитель работ. Работы по укреплению опоры с помощью растяжек следует выполнять с телескопической вышки или другого механизма для подъема людей. При работах на опоре следует пользоваться предохранительным поясом и опираться на оба когтя в случае их применения. При производстве работ с телескопической вышки без изолирующего звена расстояние до проводов должно быть не менее 0,6 м. При невозможности выполнить это правило провода отключаются и заземляются.

Подниматься на опору разрешается членам бригады, допущенным к верхолазным работам и имеющим следующие группы:

III - при всех видах работ до верха опоры;

II - при работах, выполняемых с отключением воздушной линии, до верха опоры, а при работах на нетоковедущих частях не отключенной воздушной линии при расстоянии от головы работающего до нижнего провода не менее двух метров.

Не разрешается находиться в котловане при вытаскивании или опускании приставки.

Работы по перетяжки и замене проводов на воздушных линиях напряжением до 1000 В и на линиях уличного освещения, подвешенных на опорах линий напряжением выше 1000 В, должны выполняться с отключением всех линий напряжением до и выше 1000 В и заземлением их с двух сторон. Работы следует выполнять по наряду бригадой в составе не менее двух работников, производитель работ должен иметь группу IV по электробезопасности.

По распоряжению без отключения сети освещения допускается работать в следующих случаях:

- ▶ при использовании телескопической вышки с изолированным звеном;
- ▶ с опоры или приставной деревянной лестницы;
- ▶ с опоры или приставной деревянной лестницы при расположении светильников ниже проводов на расстоянии не менее 0,6 м на деревянных опорах без заземляющих спусков.

Работы на проводах воздушных линий 6-20 кВ с самонесущими изолированными проводами (СИП) должны проводиться с отключением линии. Работы

на воздушной линии 0,38 кВ с СИП могут выполняться с отключением и без него. Без снятия напряжения на таких линиях могут проводиться работы по:

- ▶ замене опор и их элементов, линейной арматуры;
- ▶ перетяжке проводов;
- ▶ замене соединительных, ответвительных и натяжных зажимов;
- ▶ подключению или отсоединению ответвлений к электроприемникам;
- ▶ замене участка или восстановлению отдельного фазного провода (при этом, если нулевой проводник не изолирован, меры безопасности обеспечиваются с помощью изолирующих накладок и колпаков, одеваемых на арматуру).

Работы на воздушных линиях 0,38 кВ с СИП без снятия напряжения должны выполняться по наряду. Бригада должна состоять не менее чем из двух человек - производитель работ, имеющий группу IV по электробезопасности, и члена бригады, имеющего группу III. Производитель работ и член бригады должны пройти специальную подготовку и получить «Свидетельство на право проведения специальных работ».

Работа на оборудовании комплектных трансформаторных подстанций (КТП), мачтовых и столбовых трансформаторных подстанций без отключения питающей линии напряжением выше 1000 В допускается при соблюдении расстояния до токоведущих частей, регламентируемых МПОТ (таблица 6.1) Если это расстояние меньше допустимого, то работа возможна после отключения и заземления токоведущих частей.

Работа на оборудовании комплектных трансформаторных подстанций (КТП), мачтовых и столбовых трансформаторных подстанций без отключения питающей линии напряжением выше 1000 В допускается при соблюдении расстояния до токоведущих частей, регламентируемых МПОТ (таблица 6.1) Если это расстояние меньше допустимого, то работа возможна после отключения и заземления токоведущих частей.

Допуск к работам на мачтовых трансформаторных подстанциях и КТП разрешается только после отключения сначала коммутационных аппаратов напряжением до 1000 В, затем линейного разъединителя напряжением выше 1000 В и наложения заземления на токоведущие части подстанции. Если возможна подача напряжения со стороны 380/220 В, то линия этого напряжения должна быть отключена, а на коммутационные аппараты наложено заземление. На мачтовых трансформаторных подстанциях, переключающих пунктах и других устройствах, не имеющих ограждения, приводы разъединителей, выключателей нагрузки, шкафы напряжением выше 1000 В и щиты напряжением до

1000 В должны быть заперты на замок. Стационарные лестницы на площадке обслуживания должны быть заблокированы с разъединителем и также заперты на замок.

При выполнении ремонтных работ на КТП необходимо пользоваться приставными деревянными лестницами, стоя на ступеньках, находиться на расстоянии не менее одного метра от верхнего ее конца. При работах на высоте более 1,3 м следует пользоваться предохранительным поясом, которых должен закрепляться на конструкции КТП. Не допускается поднимать и опускать груз по приставным лестницам, работать на приставной лестнице с использованием электрического и пневматического инструмента, выполнять газосварочные и электросварочные работы. Для выполнения таких работ следует применять леса.

При необходимости выполнять работы на токоведущих частях, находящихся под напряжением, в электроустановках напряжением до 1000 В необходимо: оградить рабочее место; применять инструмент с изолированными рукоятками, а при его отсутствии, пользоваться диэлектрическими перчатками. При этом нельзя работать в одежде с короткими и засученными рукавами, не допускается работать в наклонном положении.

Для исключения ошибок и обеспечения безопасности производства переключений проводится предварительный осмотр электроустановки. Отключение и включение разъединителей, отделителей и выключателей на напряжение более 1000 В с ручным приводом производится в диэлектрических перчатках.

При снятии и установке предохранителей под напряжением в электроустановках напряжением до 1000 В необходимо пользоваться изолирующими клещами или диэлектрическими перчатками и защитными очками, а в электроустановках выше 1000 В - изолирующими клещами (штангой) с применением диэлектрических перчаток и защитных очков.

Снятие и установку предохранителей должны выполнять работники, имеющие группу по электробезопасности III. Не допускается применение некалиброванных плавких вставок и предохранителей.

В электроустановках напряжением выше 1000 В замер нагрузки электро-

измерительными клещами должны проводить два работника, один с группой IV, другой с группой III. При этом необходимо пользоваться диэлектрическими перчатками. Нельзя наклоняться к прибору для снятия показаний. Работу с измерительной штангой должны проводить не менее двух работников. Подниматься на конструкцию или телескопическую вышку, а также спускаться с них следует без штанги. Работа выполняется только по наряду.

Замер нагрузки электроизмерительными клещами в электроустановках напряжением до 1000 В может выполнять один работник, имеющий III группу по электробезопасности. При этом пользоваться диэлектрическими перчатками не обязательно. Не разрешается работать с электроизмерительными клещами, находясь на опоре линии или лестнице.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром осуществляется на отключенных токоведущих частях, на которых снят заряд путем предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей можно снимать только после подключения мегаомметра.

В электроустановках напряжением выше 1000 В измерение сопротивления изоляции проводится по наряду, в электроустановках до 1000 В - по распоряжению. В тех случаях, когда измерение входит в содержание работ, оговаривать его в наряде или распоряжении не требуется.

Измерять сопротивление изоляции мегаомметром может работник, имеющий группу III по электробезопасности. При проведении измерений прикасаться к токоведущим частям, к которым присоединен мегаомметр, не допускается.

При обходах и осмотрах воздушных линий, трансформаторных подстанций, распределительных пунктов не разрешается проводить какие-либо ремонтные и восстановительные работы, подниматься на сооружения и опоры. В труднодоступных местах и неблагоприятных погодных условиях, а также в темное время суток осмотр воздушных линий должны выполнять два работника, имеющих II группу по электробезопасности, в остальных случаях один работник с группой II. Не разрешается идти под проводами в темное время суток. На воздушных линиях 6-35 кВ нельзя приближаться на расстояние менее 8 м к лежащему на земле проводу или

железобетонным опорам при наличии признаков протекания тока на землю. В таких ситуациях следует организовать охрану, установить предупредительные знаки и плакаты, сообщить о происшедшем в районные электрические сети.

Перед началом земляных работ в охранной зоне кабельных линий необходимо сделать контрольное вскрытие грунта для уточнения расположения и глубины прокладки кабелей, установить временные ограждения, определяющие зону работы землеройных машин. При обнаружении кабеля, не указанного в документах на проведение работ, работы прекращаются, и сообщается руководителю работ.

Не допускается применение машин и механизмов ударного действия на расстоянии менее 5 м от трассы кабеля, а землеройных машин в пределах охранной зоны кабельной линии. Рыхление грунта с использованием отбойных молотков следует производить на глубину не более 0,3 м над трассой кабеля.

В случае возникновения аварийных ситуации при выполнении работ в электроустановках (несчастный случай, пожар, стихийное бедствие) работы немедленно прекращаются, о ситуации сообщается выше стоящему оперативному персоналу. В случаях, не терпящих отлагательств, допускается выполнять необходимые переключения с последующим уведомлением выше стоящего оперативного персонала.

По окончании производства работ необходимо привести в порядок рабочее место. Инструмент, приспособления, средства защиты убрать в отведенное для них место. Сообщить допускающему, а в его отсутствии - работнику, выдавшему разрешение на подготовку рабочего места и на допуск к работе, о полном окончании работы.

### **6.8.3. Электродвигатели**

Электродвигатели и аппаратуру управления устанавливают таким образом, чтобы они были доступны для осмотра и ремонта. Вращающиеся части электродвигателей, и вращающиеся соединения с механизмами ограждают от случайных прикосновений. Ограждение вращающихся частей во время работы снимать запрещается.

На ограждениях кожухов следует нанести красной краской стрелку, ука-

зывающую направление вращения вала двигателя. На пусковых устройствах делают надписи «**Пуск**», «**Стоп**», «**Вперед**», «**Назад**». Рядом с выключателями (магнитными пускателями, автоматическими выключателями) и предохранителями делают надписи, указывающие, к каким установкам они относятся, а на корпусах аппаратов управления делают надписи, позволяющие легко распознать включена или отключена рукоятка.

Если электродвигатель установлен на расстоянии 5 м от приводимого им механизма или находится в разных помещениях с ним, должна быть предусмотрена возможность включения электродвигателя дистанционной кнопкой или выключателем, расположенным возле механизма. Перед включением электродвигателя, приводящего в движение машины и механизмы большой протяженности, например, навозоуборочный транспортер, делают предупредительный звуковой сигнал, затем сигнал о готовности к включению в работу, после чего производится пуск. Эта мера предосторожности необходима, чтобы рабочие, обслуживающие механизмы, или случайно оказавшиеся рядом с машиной животные не получили травму.

В помещениях, относящихся к категории опасных и особо опасных (в отношении поражения людей электрическим током) на вводных распределительных щитках делают общий закрытый рубильник или выключатель, дающий возможность обесточить все питающиеся от них электроприемники.

Перед пуском электродвигателей необходимо проверить: нет ли механических повреждений электрооборудования, изоляции проводов и кабелей, надежность присоединения РЕ-проводника. Пуск желательно производить на холостом ходу без нагрузки. Если не обнаружено каких-либо неисправностей, можно приступать к работе. Перед пуском электродвигателя, не работавшего длительное время, (30 суток и более) дополнительно измеряют сопротивление изоляции обмоток.

Перед допуском к работе на электродвигателях насосов, дымососов и вентиляторов, если возможно вращение электродвигателей от соединенных с ним механизмов, должны быть закрыты и заперты на замок задвижки и шиберы последних.

Все электродвигатели защищают от коротких замыканий автоматическими выключателями и предохранителями, а от перегрузок и других

аварийных режимов - тепловыми реле, УВТЗ, ФУЗ и другими видами защитных устройств. Выбор типа защиты определяется приводным механизмом, зависит от режимов работы электроприемника и проводится в соответствии с действующими руководящими указаниями по выбору защит.

Запрещается устанавливать плавкие вставки, если они не предусмотрены проектом, владельцам электроустановок запрещается самостоятельно изменять уставки защит, применять не калиброванные плавкие вставки предохранителей («жучки»). Запрещается эксплуатировать электродвигатели с проводом или кабелем, имеющим механические или электрические повреждения, а также с неисправными пускозащитными аппаратами.

Электродвигатель немедленно (аварийно) отключают от сети:

- ▶ при несчастных случаях и возможности возникновения их;
- ▶ при появлении дыма или огня из электродвигателя или аппаратуры;
- ▶ при вибрациях оборудования выше допустимой нормы, угрожающих целостности электродвигателя;
- ▶ при поломках приводного механизма или сочленения его с электродвигателем;
- ▶ при нагреве подшипников сверх допустимой температуры, указанной в инструкции завода-изготовителя;
- ▶ при значительном снижении частоты вращения, сопровождающимся быстрым нагревом электродвигателя. В местных инструкциях могут быть указаны и другие случаи, когда необходимо отключать электродвигатель.

К эксплуатации и ремонту электрических машин допускаются электромонтеры, имеющие группу по электробезопасности не ниже III, прошедшие инструктаж на рабочем месте. Ответственность за безопасность при обслуживании и ремонте электрических машин несет руководитель энергослужбы.

Владельцы электроустановок с электроприводами в индивидуальных, частных, кооперативных и других аналогичных хозяйствах для выполнения работ по обслуживанию и ремонту электрических машин должны приглашать электротехнический персонал, имеющий группу по электробезопасности не ни-

же III.

Электромонтеры при обслуживании электрических машин должны иметь основные защитные средства для электроустановок напряжением до 1000 В: диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными рукоятками, переносные заземления, указатели напряжения, а также дополнительные средства: диэлектрические галоши, резиновые коврики, изолирующие подставки и плакаты.

Перед применением защитных средств, следует внешним осмотром убедиться в их исправности, обращая внимание на дату их проверки.

Распоряжение на проведение работ по обслуживанию электрических машин (устное или оформленное нарядом) дает руководитель энергетической службы или лицо, его заменяющее, с квалификационной группой по электробезопасности не ниже IV.

При работах, связанных с прикосновением к токоведущим частям электродвигателей или вращающимся частям двигателя и механизма, необходимо остановить электродвигатель и на его пусковом устройстве или ключе управления повесить плакат «Не включать! Работают люди». Между ножами и губками отключающего рубильника необходимо положить лист изоляционного материала.

При работах с электродвигателями напряжением до 1000 В снятие напряжения и заземление токоведущих частей должно выполняться в соответствии с требованиями правил техники безопасности для электроустановок напряжением до 1000 В. Предохранители с открытыми вставками заменяют только при снятом напряжении. Если это условие невыполнимо, трубчатые и резьбовые (пробочные) предохранители меняют под напряжением, но обязательно сняв нагрузку и подготовив защитные средства (очки, диэлектрические перчатки и специальные клещи). К выполнению этих работ на высоте (с приставной лестницы) допускаются электромонтеры, имеющие группу допуска по электробезопасности не ниже III, с обязательным участием второго лица с квалификационной группой не ниже II.

Обслуживать щеточный аппарат на работающем электродвигателе допус-

кается единолично лицу из оперативного персонала или выделенному для этой цели обученному лицу с группой по электробезопасности не ниже III. При этом необходимо соблюдать определенные меры предосторожности - работать в головном уборе и застегнутой спецодежде, остерегаясь захвата ее вращающимися частями машины; пользоваться диэлектрическими галошами или резиновыми ковриками; не касаться руками одновременно токоведущих частей двух полюсов или токо ведущей и заземленной частей. Кольца ротора допускается шлифовать на вращающемся электродвигателе лишь с помощью колодок из изоляционного материала с применением защитных очков.

У работающего многоскоростного электродвигателя не используемая обмотка и питающий ее кабель должны рассматриваться как находящиеся под напряжением.

#### **6.8.4. Силовая и осветительная проводка, осветительные установки**

К эксплуатации электропроводок допускаются электромонтеры, окончившие специальные курсы, имеющие квалификационную группу по электробезопасности не ниже III и прошедшие инструктаж на рабочем месте. Отвечает за безопасность обслуживания электроустановок руководитель энергослужбы.

Распоряжение на производство работ в электроустановке (устное или оформленное нарядом) отдает руководитель энергослужбы или лицо его заменяющее с группой по электробезопасности не ниже IV.

При техническом обслуживании и ремонте электропроводок электроустановка отключается от сети. Между ножами и губками отключенного рубильника помещается лист изоляционного материала, на рукоятку привода рубильника или автомата вывешивается плакат «Не включать! Работают люди». Затем убеждаются в отсутствии напряжения и накладывают временное переносное заземление.

Открытую проводку изолированными проводами, проложенную в помещении без повышенной опасности на высоте 2 м от пола, а в животноводческих и других помещениях с повышенной опасностью и особо опасных -

на высоте не менее 2,5 м защищают от механических повреждений. Электропроводки, светильники и другое оборудование, установленное на высоте 2,5 м от пола и выше, обслуживают только с прочных переносных или стационарных лестниц.

Владелец электроустановки должен знать местонахождение электропроводки, скрытой под штукатуркой, чтобы не упустить повреждения проводов при устройстве отверстий в стенах, забивке гвоздей и т.п.

Не допускается прокладка проводов и кабелей по сгораемым конструкциям здания, а также касания трубопроводов различного назначения (отопления, канализации, газоснабжения и пр.). Запрещается подвязывать шнуры и другие предметы к электропроводкам, навешивать затенители света из горючих материалов. Электрические провода, силовое и осветительное электрооборудование следует оберегать от нагрева посторонними источниками тепла. На время проведения технического обслуживания осветительных приборов и побелки помещений необходимо отключать осветительную сеть.

Замену ламп накаливания следует проводить спустя 5... 10 мин после остывания колбы, нельзя при этом использовать мокрые тряпки.

Не пригодные люминесцентные лампы и лампы ДРЛ необходимо хранить в упакованном виде до их утилизации, т.к. повреждение их может привести к появлению паров ртути или фосфорицирующих элементов, что опасно для здоровья человека.

Переносные светильники переменного тока для выполнения ремонтных работ должны использоваться на напряжение не выше 50 В, а в помещениях с повышенной опасностью на напряжение 12 В. Использовать автотрансформаторы, резисторы, потенциометры для электроснабжения этих светильников не разрешается. Штепсельные розетки на сверхнизкое напряжение должны отличаться от розеток на 220 В. На всех розетках делается надпись номинального напряжения. На осветительных и силовых щитках должны быть выполнены надписи о присоединениях (указано помещение и подключаемое электрооборудование). На предохранителях указывается ток плавкой вставки, а на автомати-

ческих выключателях - ток уставки расцепителей.

Люминесцентные лампы не рекомендуется использовать для местного освещения вращающихся шпинделей станков, циркуляционных пил, строгальных станков, так как из-за стробоскопического эффекта вращающаяся часть машин может быть принята находящейся в нерабочем состоянии.

Облучающие установки с открытыми токоведущими частями использовать запрещено.

Светильники ультрафиолетового и инфракрасного излучения, применяемые в животноводческих помещениях, выключают через герметизированные штепсельные розетки со специальным гнездом для присоединения РЕ-проводника. Металлические корпуса светильников присоединяют к нулевому проводу сети 380/220 В отдельным проводником. При использовании ультрафиолетового облучения необходимо помнить, что воздействие его на человека может вызвать ожоги глаз и другие негативные последствия для здоровья, поэтому необходимо использовать очки со светофильтрами. Для уменьшения воздействия на персонал ультрафиолетовые установки включаются при отсутствии людей в помещении или используются экранированные лампы.

Облучающие и ионизирующие установки обслуживает электромонтер с группой по электробезопасности не ниже III. Включение и отключение установок осуществляет технологический персонал с группой по электробезопасности I.

Перед началом сезона работники энергослужбы обучают технологический персонал правильному и безопасному обращению с установками. В процессе эксплуатации персонал постоянно следит за уровнем облучения. При снижении его более чем на 30% лампы заменяют. Все работы в установках для облучения и ионизации электромонтер проводит при снятом напряжении. На каждом объекте, оборудованном облучающими установками, на видных местах вывешиваются инструкции по технике безопасности и правилам оказания первой помощи пострадавшему.

### **6.8.5. Электротермические установки. Элементные водонагреватели**

Основная мера защиты от поражения электрическим током при замыкании на корпус водонагревателя - защитное отключение. Уставка защитного аппарата должна соответствовать требованиям ПУЭ.

В трубопроводах горячей и холодной воды необходимы изолирующие вставки. Если водонагреватели снабжены аппаратами защитного отключения, такие вставки не нужны.

У водонагревателей, размещаемых в помещениях с устройствами выравнивания потенциалов, при разборе воды внутри помещения изолирующую вставку в трубопровод горячей воды делать не следует. При этом корпус водонагревателя должен быть болтовым соединением подключен к устройству выравнивания потенциалов, а последнее должно обеспечивать напряжение прикосновения не более 12 вольт.

Водонагреватели, снабжающие горячей водой несколько помещений, должны иметь изолирующие вставки, если хотя бы в одном из помещений нет устройства выравнивания потенциалов. Элементы водонагревателей, обеспечивающих горячей водой душевые, должны иметь изолирующие вставки на соответствующих трубопроводах. Кроме этого душевые кабины следует оборудовать устройством выравнивания потенциалов в виде металлической сетки с ячейками размером не более 30х30 см<sup>2</sup>, которую закладывают в слой бетона на глубину 2...3 см от поверхности пола. Сетка соединяется сваркой с трубопроводами холодной и горячей воды, а также канализационными трубами. Для предотвращения воздействия шагового напряжения у дверей душевой кабины необходимо положить деревянную решетку или резиновый коврик длиной не менее 75 см.

В случае разбора горячей воды непосредственно у водонагревателей, установленных в помещении без устройства выравнивания потенциалов, необходимо местное выравнивание потенциалов с помощью проводника, укладываемого в слое бетонного пола по периметру установки на расстоянии

50 см от ее фундамента. Проводник в двух местах болтовым соединением подключается к корпусу установки.

В помещениях с не токопроводящими полами местного выравнивания потенциалов не требуется. Корпус водонагревателя помимо подключения к РЕ-проводнику дополнительно следует соединить стальной шиной с повторным заземлением или выполнить автоматический контроль нулевого провода. Если водонагреватели снабжены аппаратами защитного отключения, местного выравнивания потенциалов и контроля состояния нулевого провода не требуется.

#### **6.8.6. Трехфазные электродные котлы и водонагреватели**

Электродные котлы должны иметь защиту от коротких замыканий и перегрузок трехполюсными автоматическими выключателями или другими аппаратами. В сетях 380/220 В с глухозаземленной нейтралью корпус котла, установленного в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью, должен быть присоединен к главной заземляющей шине. Следует использовать устройство выравнивания потенциалов обеспечивающее напряжение прикосновения не больше 12 вольт. При отсутствии устройства выравнивания потенциалов котел должен иметь защиту от неполнофазных режимов.

Если невозможно выполнить перечисленные выше требования, котел изолируется от земли, а в трубах холодной и горячей воды делаются изолирующие вставки. Электродные котлы с изолированным корпусом закрываются кожухом (расстояние от корпуса не менее 1 м, высота 1,7 м и более). Кожух должен быть присоединен к РЕ-проводнику и снабжен блокировкой, воздействующей на отключение котла от сети при открывании двери. Кожух электродного котла напряжением до 1000 В с изолированным корпусом должен быть закрыт на замок. Открывать кожух допускается только после снятия напряжения с котла.

На трубопроводах включенных электродных котлов выполнять работы, связанные с нарушением защитных заземлений трубопроводов или их разъединением не допускается. При разъединении трубопроводов предварительно

обеспечивается электрической сваркой надежный металлический контакт между разъединяемыми частями.

Трубопроводы тепловой сети следует присоединять к РЕ-проводнику не менее чем в двух точках, одна из которых должна находиться в электродотельной.

В зданиях, теплоснабжение которых осуществляется от электродных котлов все металлические трубопроводы разного назначения необходимо электрически соединить между собой и присоединить к РЕ-проводнику. При выполнении ремонтных работ на тепловых сетях и в котлах последние необходимо отключить от электросети.

Провода, подводимые к водонагревателю, термодатчикам, щиту управления прокладывают в трубах, а кабели в каналах под полом.

Для электродных котлов и водонагревателей необходима блокировка, исключающая открытие водоразборного крана до отключения электронагревателя от сети.

Самодельные электронагреватели использовать категорически запрещено. Эксплуатация и ремонт их должна проводиться по инструкции завода-изготовителя. Кроме этого, водонагреватели должны быть только трехфазными. Исключение составляют электродные водонагреватели, надеваемые непосредственно на водоразборный кран и предназначенные для мытья рук, посуды или автопоения. Автопоилку с электрическим подогревом необходимо присоединить к РЕ-проводнику. Корпус соединить с устройством выравнивания потенциалов. Если автопоилка установлена на открытой площадке, необходимо выполнить устройство выравнивания потенциалов в виде кольцевых заземлителей радиусом 1,5... 2 м, закладываемых на глубину 0,7... 0,9 м. Автопоилка соединяется с устройством выравнивания потенциалов не менее чем в двух точках.

К обслуживанию электроустановок с электродными водонагревателями напряжением до 1000 В допускаются лица с группой по электробезопасности не ниже III, знающие устройство водонагревателя, специфику его работы, правила техники безопасности, умеющие определить

неполадки. Категорически запрещается включать в работу неисправные водонагреватели.

Вновь устанавливаемые водонагреватели включают только после приемки их специальной комиссией. В зоне обслуживания котла вывешивают плакаты или таблички «Стой! Опасно для жизни», «Без заземления не работать» и др. Ремонт электроводонагревателей и оборудования проводят по специальному наряду или распоряжению, полностью сняв напряжение и выполняя все организационно-технические мероприятия по технике безопасности.

#### **6.8.7. Однофазные отопительные электродные нагреватели**

Такие нагреватели разрешается устанавливать в сухих помещениях. В ванных комнатах, санузлах и других особо опасных помещениях установка нагревателей запрещена.

Нагреватель включается в сеть Т1С-С 8, корпус его заземляется путем присоединения к повторному заземлению на вводе в здание. Сечение защитного и рабочего нулевых проводов должны быть равны сечению фазного. Для защиты следует использовать автоматические выключатели, применение штепсельных розеток запрещено. Применение однофазных электродных отопительных нагревателей для других целей, кроме отопления, запрещается.

#### **6.8.8. Электрические калориферные установки**

Калориферные установки необходимо размещать в отдельном помещении, в котором должен находиться только обслуживающий персонал. Корпус калорифера должен быть присоединен к РЕ-проводнику. Осмотр калорифера разрешается только после отключения его от питающей сети. Металлические воздухопроводы, если возможно соприкосновение с ними человека или животных, соединяют с металлической конструкцией, РЕ-проводником или с устройством выравнивания потенциалов.

У передвижных электрокалориферных установок должен быть обеспечен контроль целостности РЕ-проводника и применены аппараты защитного отключения.

### **6.8.9. Электрообогреваемые полы**

Провода, соединяющие нагревательные элементы с питающей сетью, следует прокладывать в трубах. Нагревательные элементы электрообогреваемых полов должны иметь защиту от коротких замыканий.

Во всех помещениях с электрообогреваемыми полами необходимо выполнить устройство выравнивания электрических потенциалов в виде металлической сетки с ячейками  $80 \times 20 \text{ см}^2$  или  $40 \times 40 \text{ см}^2$ , расположенной над нагревательными элементами на расстоянии 2... 3 см от поверхности пола, а также металлических проводников, проложенных вдоль технологических проходов в бетонном покрытии. Проводники соединяются между собой, с сеткой и металлическими частями. В качестве материала для сетки используется сталь диаметром не менее 3 мм, продольные проводники выполняются из стальной проволоки диаметром не менее 6 мм.

Активное сопротивление постоянному току петли, образуемой двумя продольными проводниками или проводником и сеткой, не должно превышать 1 Ом. Проверку величины сопротивления необходимо проводить не реже 1 раза в год.

Если питание нагревательных элементов осуществляется от источника пониженного напряжения (не выше 50 В переменного тока) или применяется система защитного отключения, выравнивание потенциалов не требуется.

### **6.8.10. Парники и теплицы с электрическим обогревом**

Парники и теплицы с электрообогревом по степени опасности поражения электрическим током делятся на 2 категории: категория А, если обогрев осуществляется при напряжении выше 65 В электродами, заложенными в землю или неизолированными сопротивлениями, проложенными в земле или по воздуху; категория Б - напряжение питания менее 65 В при обогреве электродами, проложенными в земле, а также напряжением более 65 В, но с прокладкой нагревательных элементов в асбоцементных трубах или применения специальных нагревательных кабелей.

Культивационные сооружения обогревают стальной неизолированной проволокой, проложенной в трубах или почве, специальными проводами ПОСХВ и электрокалориферами.

Участок под парники и теплицы категории А обносят забором высотой 2 м, отстоящим на расстоянии не менее 1 м от ближайших сооружений. Обслуживает их специально подготовленный персонал - электромонтеры, имеющие группу по электробезопасности не ниже III. Перед включением парниковых теплиц категории А электромонтер проверяет, нет ли на участке людей, закрывает вход на территорию и вывешивает плакаты «Под напряжением! Опасно для жизни», «Вход на территорию воспрещен». Работают в парниках и теплицах категории А, полностью сняв напряжение, исключением является электрическое освещение, которое может оставаться включенным.

Перед включением парника и теплицы категории Б электромонтер извещает об этом всех работающих в них и вывешивает предупредительный плакат «Под напряжением! Опасно для жизни».

Устройство для автоматического регулирования температуры и влажности внутри сооружения выполняют напряжением не выше 25 В, рукоятки регуляторов изготавливают из изоляционных материалов. Регулирует режим в теплицах и парниках проинструктированный персонал. Инструктаж оформляют в специальном журнале под роспись.

В электрифицированном парниково-тепличном хозяйстве должна быть в наличии электрическая схема всего участка закрытого грунта, инструкции по эксплуатации и безопасному обслуживанию электроустановок, а также комплект защитных средств, чтобы исключить поражение шаговым напряжением. Какие-либо изменения в схемах коммутации парниково-тепличного хозяйства не производят без согласования с вышестоящей организацией, имеющей права изменять схему.

### **6.8.11. Электрическая сварка**

Во избежание поражения электрическим током необходимо соблюдать сле-

дующие условия. Корпуса источников питания дуги, сварочного вспомогательного оборудования и свариваемого изделия должны быть надежно заземлены. Заземление осуществляется медным проводом, присоединяемым к болту на корпусе источника питания с надписью «Земля», второй конец присоединяется к металлической шине заземления или металлическому штырю, вбиваемому в землю.

Для подключения источников сварочного тока к сети используются специальные щиты с рубильником, предохранителями и зажимами. Длина сетевого провода питания должна быть не более 10 м. Для соединения проводов используется соединительная муфта. Провод подвешивают на высоте 2,5... 3,5 м. Спуски заключают в заземленные металлические трубы. Вводы и выходы должны иметь втулки или воронки, предохраняющие провода от перегибов, а изоляцию от порчи. Кабель к электродержателю берут не более 2... 3 м.

При наружных работах сварочное оборудование должно находиться под навесом, в палатке или будке. При невозможности соблюдения таких условий сварочные работы не производят, а сварочную аппаратуру укрывают от воздействия влаги.

Все сварочные провода должны иметь исправную изоляцию и соответствовать применяемым токам. Применение проводов с ветхой и растрепанной изоляцией во избежание несчастных случаев категорически запрещается.

Присоединять и отсоединять от сети электросварочное оборудование, а также наблюдать за его исправным состоянием в процессе эксплуатации обязан электротехнический персонал. Сварщикам запрещается выполнять эти работы. Сварщик подключает лишь сварочные провода к генератору или трансформатору. Электросварщики относятся к электротехнологическому

персоналу и обязаны иметь квалификационную группу по электробезопасности не ниже II.

При выполнении сварочных работ место сварки ограждают, но лучше для сварки использовать специальное помещение. В местах проведения сварочных работ вывешиваются плакаты об опасности облучения глаз и кожных покровов. При сварке швов резервуаров, котлов, труб и других закрытых сложных конструкций необхо-

димо пользоваться резиновым ковриком, шлемом и галошами. Для освещения следует применять переносную лампу напряжением 12 В. Все сварочные электроустановки при работе в условиях, требующих особой электробезопасности, должны иметь устройство для автоматического отключения сварочной цепи или снижения напряжения холостого хода при обрыве дуги с выдержкой времени не более 5 с.

При работах внутри резервуара или при сварке сложных металлических конструкций, а также при сварке емкостей для горючих и легковоспламеняющихся жидкостей к сварщику назначается дежурный наблюдатель, который обязан обеспечить безопасность работ и при необходимости оказать первую помощь.

Для защиты зрения и кожи лица от световых и невидимых лучей дуги электросварщики и их подручные должны закрывать лицо щитком, маской или шлемом, в смотровые отверстия, которых вставлено специальное стекло. Светофильтр выбирают в зависимости от сварочного тока и вида сварочных работ. Для защиты окружающих лиц от воздействия излучений в стационарных цехах устанавливают закрытые сварочные кабины, а при строительных и монтажных работах применяются переносные щиты или ширмы.

Во избежание ожогов сварщик должен работать в спецодежде из брезента или плотного сукна, в рукавицах и головном уборе. Куртку не следует заправлять в брюки. Карманы должны быть плотно закрыты клапанами. Брюки надо носить поверх обуви. Зачищать швы от шлака и флюса следует лишь после их полного остывания и обязательно в очках с простыми стеклами.

#### **6.8.12. Работа с паяльной лампой**

При работах с паяльной лампой нужно руководствоваться следующими положениями: наливать в резервуар паяльной лампы керосин или бензин не более чем на 3/4 его вместимости; закрывать наливную пробку не менее чем на 4 нитки. А также: не разбирать лампу, не отвертывать головку вблизи огня; не разжигать паяльную лампу путём подачи горючего на горелку; не накачивать чрезмерно паяльную лампу во избежание ее взрыва; не снимать горелку до спуска давления; спускать давление воздуха из резервуара лампы через налив-

ную пробку, только после того как лампа погашена и ее горелка полностью остыла; заполнять лампу только той горючей жидкостью, для которой она предназначена. При обнаружении неисправности (протекание резервуара, утечка газа через резьбу горелки и др.) необходимо сдать лампу в ремонт.

### **6.8.13. Переносные электроприемники**

К переносным относятся электроприемники, которые могут находиться в руках человека в процессе эксплуатации (ручной электроинструмент, переносные светильники, переносные бытовые приборы, радиоэлектронная аппаратура и др.).

Питание переносных электроприемников переменного тока следует выполнять от сети напряжением не выше 380/220 В. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных переносные электрические светильники должны использоваться на напряжение не выше 50 В. При выполнении работ в особо неблагоприятных условиях (колодцы, металлические резервуары, котлы) необходимо применять светильники на напряжение не выше 12 В.

В цепях, питающих переносные электроприемники, в зависимости от категории помещений по уровню опасности поражения электрическим током, могут быть применены следующие меры защиты от косвенного прикосновения: автоматическое отключение питания, защитное электрическое разделение цепей, сверхнизкое напряжение, двойная изоляция.

При применении автоматического отключения питания металлические корпуса переносных электроприемников, за исключением электроприемников с двойной изоляцией, должны быть присоединены к нулевому защитному проводу в системе ТИ или заземлены в системе ТТ, для чего должен быть предусмотрен специальный защитный РЕ-проводник, расположенный в одной оболочке с фазным и рабочим нулевым проводниками. РЕ-проводник должен быть медным, гибким, его сечение должно быть таким, как у фазного проводника. Использование для этой цели нулевого рабочего (К) проводника, в том числе расположенного в общей оболочке с фазным проводом, не допускается.

Для дополнительной защиты от прямого и косвенного прикосновения

штепсельные розетки с током не более 20 А наружной установки, а также внутренней установки, к которым могут быть подключены переносные электроприемники, используемые вне здания или в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, должны быть защищены УЗО с номинальным отключающим током не более 30 мА. Допускается применением ручного электроинструмента, оборудованного УЗО-вилками.

При применении сверх низкого напряжения до 50 В для питания переносных электроприемников необходимо использовать разделительный трансформатор.

УЗО защиты розеточных цепей рекомендуется размещать в распределительных (групповых, квартирных) щитках. Защитные проводники проводов и кабелей переносного электроинструмента должны быть обозначены желто-зелеными полосами.

Работы с переносным электроинструментом в помещениях с повышенной опасностью должны выполняться персоналом, имеющим группу II по электробезопасности. Подключение вспомогательного электрооборудования (трансформаторов, преобразователей частоты, защитно-отключающих устройств и др.) выполняет персонал, эксплуатирующий эту электрическую сеть с группой допуска по электробезопасности III.

Перед началом работы с переносным электроинструментом проводится его внешний осмотр, проверяется комплектность и исправность элементов, проверяется четкость работы выключателя, тестируется УЗО, проводится опробование электроинструмента на холостом ходу. Имеющее дефекты оборудование к эксплуатации не допускается. При использовании электроинструмента необходимо следить за состоянием кабеля или проводов. Они не должны соприкасаться с горячими, влажными или маслянистыми поверхностями, кабель не должен перекручиваться и подвергаться механическому повреждению. При обнаружении неисправности работы на электроинструменте немедленно прекращаются.

В процессе эксплуатации электроинструмент должен проходить периодические проверки и испытания в сроки, определяемые нормами. [Для поддержания его в исправном состоянии распоряжением руководителя организации дол-

жен быть назначен ответственный работник, имеющий III группу по электробезопасности.

Работнику, применяющему электроинструмент, не разрешается: передавать его другому работнику; разбирать и ремонтировать его; держаться за провод электрической машины; устанавливать рабочую часть в патрон инструмента, не выключив его из сети; работать с приставных лестниц; вносить внутрь котлов и металлических резервуаров переносные трансформаторы и преобразователи частоты.

При использовании разделительного трансформатора к нему должен подключаться только один электроприемник, заземление вторичной обмотки трансформатора не допускается, корпус устройства присоединяется к РЕ-проводнику или заземляется.

#### **6.8.14. Наладка и испытания электрооборудования**

К наладке и испытаниям электрооборудования допускается специально подготовленный персонал, прошедший дополнительную проверку при сдаче на группу допуска по электробезопасности и имеющий соответствующую отметку в удостоверении. В связи с повышенной опасностью к наладочным работам допускается не только обученный персонал, но и обладающий высокой производственной дисциплиной.

Все наладочные работы в действующих электроустановках выполняются только по наряду не менее чем двумя лицами, одно из которых имеет IV или V группу по электробезопасности, второе - не ниже III.

Помещение, в котором будут проводиться пусконаладочные работы, освобождается от посторонних предметов. Вращающиеся и токоведущие части машин ограждают и защищают от случайного прикосновения. Во время работы включают общее и местное освещение, для осмотра используют переносные лампы и фонари.

Перед агрегатами и движущимися механизмами, на панелях управления, над столом с измерительными приборами вывешиваются предупредительные

плакаты «Стоять! Опасно для жизни», «Работать здесь» и другие.

Пуск электрических машин производится после предварительного согласования с электромонтажным персоналом и механиками. В обязательном порядке проверяется присоединение корпуса к РЕ-проводнику. Во время работы с приборами, получающими питание от сети напряжением более 50 В для изоляции наладчика используется изоляционная решетка или коврик.

Обувь, одежда и руки наладчика должны быть сухими. Одежду одевают с длинными рукавами, женщины носят брюки и чулки.

Измерительную аппаратуру располагают на деревянном столе, покрытом гетинаксом или электрокартоном, реостаты и другие регулирующие устройства закрепляют, а в необходимых случаях ограждают. Высоковольтные установки ограждают, оснащают блокировкой, вывешивают плакат. В помещении устанавливается общий коммутационный аппарат, перед электроприемниками укладываются резиновые коврики, не токоведущие части электроустановок присоединяют к РЕ-проводнику.

Испытания электрооборудования обычно проводят бригады в составе не менее двух человек, из которых один имеет квалификационную группу по электробезопасности не ниже IV, а второй не ниже III. Массовые испытания изоляционных материалов и изделий (средств защиты, отдельных деталей), проводимых на специально оборудованных установках с ограждением и блокировкой, может выполнять лицо с группой по электробезопасности не ниже III в порядке текущей эксплуатации.

Профилактические испытания электрооборудования промышленных и сельскохозяйственных предприятий могут проводить работники энергослужбы; специальных лабораторий, состоящих в штатах пусконаладочных организаций; районных и городских электрических сетей. Если испытания проходят на нескольких производственных объектах или их длительность превышает 1 ч, необходим наряд. Испытания в электроустановках напряжением выше 1000 В проводятся только по наряду. Кратковременные испытания, измерение сопротивления заземляющих проводников и испытания снятых с объектов аппаратов

осуществляются по распоряжению. По распоряжению могут проводиться испытания отсоединенных от питающих кабелей электродвигателей. Испытания электрооборудования, проводимые без наряда, вносятся в перечень работ, выполняемых в хозяйстве по распоряжению или в порядке текущей эксплуатации.

Проводить испытания и оформлять их результаты в виде протоколов энергослужба предприятия или хозяйства может только с разрешения инспекции госэнергонадзора. Во всех случаях во время испытаний выполняются все организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ.

Сборку испытательной цепи проводит персонал бригады, проводящей испытания. Место испытания ограждается, вывешивается плакат «**Испытания! Опасно для жизни**» или задействуется световое табло. Присоединение к РЕ-проводнику должно быть выполнено медным проводом сечением не менее 4 мм<sup>2</sup> и проверено. Испытательную установку подключают к сети 380/220 В через коммутационный аппарат с видимым разрывом. Если соединительные провода испытательной установки расположены вне помещения, то выставляется охрана.

Перед подачей напряжения производитель работ проверяет, все ли члены бригады находятся на указанных местах, а посторонние лица выведены из помещения, предупреждает бригаду о подаче напряжения, а затем подается испытательное напряжение. С момента подачи напряжения, производить какие-либо пересоединения в испытательной схеме и на оборудовании запрещается. После окончания испытаний напряжение снижается до нуля, установка отключается, заземляется, об этом сообщается бригаде. Только после этого можно отключить провода и снять ограждение.

#### **6.8.15. Электроустановки общественных зданий, жилых домов, приусадебных и садовых участков**

Электрическая сеть указанных потребителей выполняется на напряжение 220 В. В плане поражения электрическим током жилые дома, и общественные здания относятся к категории относительно безопасных. Бани, прачечные, кухни считаются помещениями с повышенной опасностью, а душе-

вые - особо опасными.

В жилых помещениях с электрической сетью напряжением 220 В рекомендуется применять систему ТИ-С-8. Выключатели устанавливают в фазном проводе, чтобы быстро обесточить сеть при коротком замыкании.

Для проводок в зданиях следует применять провода и кабели с медными жилами. Питающие и распределительные сети могут выполняться кабелями и проводами с алюминиевыми жилами, если их расчетное сечение равно или более 16 мм<sup>2</sup>. Кроме этого, питание отдельных электроприемников инженерного оборудования зданий (насосы, вентиляторы и т.п.) также может выполняться проводами и кабелями с алюминиевыми жилами сечением не менее 2,5 мм<sup>2</sup>. Наименьшие допустимые значения проводов и кабелей в сетях жилых зданий приведены в таблице 2.

Таблица 6. 2 - Наименьшие допустимые сечения проводов и жил кабелей электрических сетей в жилых зданиях

Линии	Наименьшее сечение медных проводов и жил кабелей, мм <sup>2</sup>
групповых сетей	1,5
от этажных щитков до квартирного счетчика	2,5
распределительные сети (стояки) питания квартир	4

Запрещается прокладка проводов и кабелей, питающих разные квартиры, от этажного щитка в общей трубе, коробке или канале.

Линии групповой сети, прокладываемые от щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприемников, должны быть трехпроводными с проводами: Ь - фазный, N - нулевой рабочий, РЕ - нулевой защитный. Не допускается объединять N и РЕ проводники различных групповых линий, а также подключать их к общему контактному зажиму на щитках.

Заменяемую электропроводку в помещениях следует выполнять двумя

способами: скрыто - в каналах строительных конструкций или замоноличенных трубах; открыто - в электрических плинтусах, коробах и т.п.

Рекомендуется выполнять открыто проводку в технических этажах, подпольях, не отапливаемых подвалах, чердаках, сырых и особо сырых помещениях. В зданиях со строительными конструкциями из негорючих материалов допускается несменяемая замоноличенная групповых сетей кабелем или изолированным проводом в защитной оболочке в бороздах стен, перегородок, перекрытий, под штукатуркой, в слое подготовке пола или в пустотах строительных конструкций. Не допускается применение несменяемой замоноличенной проводки в панелях, выполненных на заводах стройиндустрии или в монтажных стыках панелей при монтаже здания.

Проводки, выполненные за непроходными подвесными потолками и в перегородках, должны рассматриваться как скрытые проводки. Такие проводки следует выполнять следующим образом: за потолками и в пустотах перегородок из горючих материалов - в металлических трубах, обладающей способностью против горения, и в закрытых коробах; за потолками и в перегородках из горючих материалов - в трубах и коробах из негорючих материалов и кабелями, не распространяющими горение. Должна быть обеспечена возможность замены проводов и кабелей.

В помещениях для приготовления и приема пищи допускается открытая прокладка кабелей, за исключением кухонь квартир. Не допускается открытая прокладка проводов в этих помещениях. В кухнях квартир рекомендуются те же виды проводки, что и в жилых комнатах.

В санузлах, душевых, ванных комнатах, саунах должна применяться скрытая проводка. Допускается открытая прокладка кабеля в этих помещениях, но не допускается прокладка проводов с металлическими оболочками, в металлических трубах и металлических рукавах.

В помещениях для приготовления пищи, кроме кухонь квартир, светильники с лампами накаливания, устанавливаемые над рабочими местами (плиты, столы), должны иметь снизу защитное стекло. Светильники с люминесцентными

ми лампами, устанавливаемые в таких местах, должны иметь решетки, сетки или ламподержатели, исключающие выпадение ламп.

Рекомендуется предусматривать автоматическое управление электрическим освещением в зависимости от освещенности, создаваемой естественным светом на лестничных клетках, в коридорах и других помещениях, имеющих естественное освещение.

В санузлах, душевых, ваннных комнатах должно применяться только то оборудование, которое специально предназначено для установки в соответствующих зонах этих помещений. Не допускается установка штепсельных розеток, распределительных устройств и устройств управления (выключателей) в ваннных комнатах, душевых, мыльных помещениях бань, в помещениях с нагревателями для саун, в стиральных помещениях в прачечных, за исключением ваннных комнат квартир и номеров гостиниц. В ваннных комнатах квартир и номеров гостиниц допускается установка штепсельных розеток с УЗО, реагирующими на ток утечки не более 30 мА.

В зданиях при наличии трехпроводной сети штепсельные розетки должны устанавливаться на ток не менее 10 А с защитным контактом. Розетки должны иметь защитное устройство, автоматически закрывающее гнезда розетки при вынутой вилке, при размещении розеток в квартирах, жилых комнатах общежитий, детских учреждений.

Минимальное расстояние до газопроводов от выключателей, штепсельных розеток и элементов электроустановок должно быть не менее 0,5 м.

Выключатели рекомендуется устанавливать на стене со стороны дверной ручки, на высоте от пола до одного метра, допускается их установка под потолком с управлением при помощи шнура.

Выключатели следует устанавливать на высоте 1,8 м от пола в помещениях для пребывания детей в детских учреждениях.

Выключатели сети освещения чердаков, имеющих строительные конструкции из горючих материалов, должны устанавливаться вне чердаков. Устанавливаемое на чердаке электрооборудование должно иметь степень защиты не менее 1РХ4.

В бытовых помещениях необходимо присоединять к нулевому защитному проводнику металлические части светильников общего освещения и стационарных электроприемников (электроплит, кипятильников, бытовых кондиционеров и т.п.), а также металлические корпуса однофазных переносных электроприборов и настольных средств оргтехники.

Допускается в помещениях без повышенной опасности применение подвесных светильников без зажимов для присоединения защитных проводников, если крюк для их подвески изолирован.

Рекомендуется предусматривать устройства защитного отключения (УЗО) для защиты групповых линий, питающих штепсельные розетки для переносных электрических приборов.

Установка УЗО является обязательной, если устройство защиты от сверхтока (автоматический выключатель, предохранитель), не обеспечивает время автоматического отключения 0,4 с при номинальном напряжении 220 В из-за низших значений величины тока короткого замыкания и квартира (установка) не охвачена системой уравнивания потенциалов.

Нулевой рабочий проводник в зоне действия УЗО не должен иметь соединений с заземленными элементами и нулевым защитным проводником. Рекомендуется использовать УЗО представляющее единый аппарат с автоматическим выключателем, обеспечивающим защиту от сверхтока.

Обязательна установка УЗО с номинальным током срабатывания не более 30 мА для групповых линий, питающих розетки вне помещений и в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью, например, в зоне ванных и душевых помещений квартир и гостиниц.

Рекомендуется установка УЗО на квартирных щитках, допускается их установка на этажных щитках. УЗО с током срабатывания до 300 мА целесообразно устанавливать на вводе в квартиру, индивидуальный дом и т.п. для повышения уровня защиты от возгорания при замыканиях на заземленной части, когда величина тока замыкания недостаточна для срабатывания максимальной токовой защиты.

Должна быть выполнена система уравнивания потенциалов на вводе в здание путем соединения основного заземляющего и защитного проводников, стальных труб коммуникаций, металлических частей строительных конструкций, молниезащиты, системы центрального отопления, вентиляции и кондиционирования.

Обязательно дополнительная система уравнивания потенциалов для ванных и душевых помещений, которая должна предусматривать дополнительное присоединение сторонних проводящих частей, выходящих за пределы помещения.

Нагревательные элементы, замоноличенные в пол должны быть покрыты заземленной металлической сеткой или заземленной металлической оболочкой, присоединенной к системе уравнивания потенциалов.

Рекомендуется использовать УЗО на ток до 30 мА в качестве дополнительной защиты для нагревательных элементов.

Основное условие электробезопасности в жилых помещениях - исправное состояние изоляции электропроводки и электроприборов. Распределительные и вводные щиты не размещают вблизи радиаторов и труб центрального отопления, газовых труб, водопровода и канализации. Осветительная арматура должна подвешиваться на высоте не менее 2 м.

При эксплуатации электроприборов следует применять только стандартные предохранители, запрещается одновременно прикасаться к бытовым электроприборам и заземленным металлическим частям. Запрещается эксплуатировать бытовые электроприборы без присоединения к РЕ-проводнику, если оно предусмотрено инструкцией по эксплуатации. Запрещается проверять нагрев электроконфорок и термоэлектронагревателей прикосновением к ним. Устранять любые неисправности нужно при отключенной электроплите и остывших нагревателях.

Холодильники нельзя эксплуатировать в помещениях с повышенной опасностью. В особо сырых помещениях, при наличии токопроводящих полов (земляные, металлические) или токопроводящей пыли.

Телевизор нельзя устанавливать в непосредственной близости от легко воспламеняемых предметов, приборов отопления, в мебельной стенке,

где он плохо охлаждается. Розетка для подключения телевизора должна находиться в доступном месте, чтобы его можно было быстро отключить. Не следует оставлять телевизор работающим без присмотра. Если в телевизоре произошло возгорание необходимо немедленно вынуть вилку из розетки, и, находясь сбоку от телевизора, накрыть его плотной тканью, одеялом, одеждой, чтобы прекратить доступ воздуха внутрь корпуса.

Ванные комнаты в отношении поражения электрическим током относятся к особо опасным (токопроводящий пол, соединенные с землей сантехнические приборы, сырость). В таких помещениях запрещается вносить и использовать любые электроприборы, светильники, магнитофоны и пр., а также устраивать в них фотолаборатории. Разрешается пользоваться только стационарным освещением с выключателем в коридоре.

При выполнении скрытой электропроводки в помещении сверление отверстий необходимо производить с особой осторожностью. Должна использоваться бытовая электродрель с двойной изоляцией. Перед выполнением работ нужно определить места, где может проходить электропроводка. В домах с железобетонными плитами обычно проводка от ответвительной коробки до выключателей и розеток проходит по кратчайшему расстоянию, т.е. по прямой, в кирпичных домах проводка обычно идет по вертикали или горизонтали, но такие правила не всегда соблюдаются.

Нельзя красить арматуру, шнуры, провода, а также подвешивать какие-либо изделия к проводам. Перекрученные провода и шнуры следует распрямить. Перегоревшие лампы можно заменять только в отключенном состоянии, при этом нельзя смотреть на лампу, так как колба может лопнуть, и осколки попадут в лицо. Вывертывать лампу лучше рукой, обернутой тряпкой. Лампа должна остыть. Цоколь в случае повреждения лампы необходимо вывернуть пассатижами с изолирующими ручками. Нельзя вытирать мокрыми тряпками горящие лампы. Прикасаться к цоколю лампы, находясь на мокром и сыром полу опасно, так как он может быть под напряжением.

Электрические чайники и кастрюли следует включать только после их наполнения. Категорически запрещается прикасаться к корпусу работающего

электронасоса.

Запрещается эксплуатировать электрифицированный инструмент при возникновении хотя бы одной неисправности: повреждении штепсельной вилки, шнура; не четкой работы выключателя; искрении щеток на коллекторе, сопровождающемся появлением кругового огня на его поверхности; вытекании смазки; появлении дыма и огня из электроприбора; возникновении шума, стука или усиленной вибрации; появлении трещин или поломок в корпусе. Шнуры электрифицированного инструмента должны быть защищены от случайного повреждения.

При исчезновении напряжения в сети электроинструмент отключается от сети штепсельной вилкой

Выполнять работы следует только исправным инструментом. При работах, связанных с образованием пыли, следует использовать защитные предохранительные очки с небьющимися стеклами и брезентовые рукавицы. Нельзя использовать стационарные светильники вместо переносных устройств. Наиболее безопасно применять фонари промышленного изготовления, питающиеся от аккумуляторов.

Электропроводки для временного электроснабжения следует выполнять так же, как они выполняются для стационарного питания. Временные электроустановки рекомендуется сооружать на напряжение не выше 50 В.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите типы электростанций по производству электрической и тепловой энергии.
2. Опишите принципиальную тепловую схему ТЭС и основной принцип ее работы.
3. Перечислите основные способы увеличения КПД тепловой паротурбинной станции.
4. Укажите основной термодинамический принцип теплофикации на ТЭЦ.
5. Что такое коэффициент использования теплоты ТЭЦ?
6. Опишите принцип действия газотурбинной установки.
7. В чем заключается принцип работы парогазовой установки?
8. Опишите принципиальную тепловую схему АЭС.
9. Перечислите типы реакторов и схемы АЭС.
10. Чем оценивается максимальная теоретическая мощность АЭС?
11. Перечислите основные паротурбинные циклы АЭС.
12. Что такое фибрилляция и асистола?
13. От чего зависит сопротивление тела человека?
14. Как классифицируют электроустановки и помещения по степени опасности поражения в них током в зависимости от номинального напряжения: окружающей среды?
15. Как часто должны проходить медицинский осмотр электрики, работающие

на высоте?

16. Каков минимальный возраст электриков с группой II?
17. Как часто должен проходить проверку знания правил электробезопасности персонал, обслуживающий действующие электроустановки?
18. Какие технические способы защиты применяют против поражения током из-за прикосновения к токоведущим частям под напряжением?
19. Почему в шахтах и на торфоразработках используют электрические сети с изолированной нейтралью, а в сельском хозяйстве и на заводах – с заземленной?
20. Каким должно быть сопротивление изоляции электропроводки? Что делать, если оно оказалось меньше нормы?
21. Что такое габарит воздушной линии? Каким он должен быть на магистрали линии напряжением до 1000 В, на вводе в дом?
22. Что представляют собой электрозщитные средства? Какие из них называют основными и какие — дополнительными?
23. Как часто испытывают повышенным напряжением диэлектрические перчатки?
24. Какое значение испытательного напряжения при этом применяют и сколько времени его выдерживают?
25. Что такое защитное отключение?
26. Где применяют уравнивание потенциалов?
27. Каким требованиям должен удовлетворять разделяющий трансформатор и в чем состоит его защитное действие?
28. Как осуществляется защитное отключение по напряжению на корпусе, по току утечки?
29. Как классифицируют электротехнические изделия по способу обеспечения электробезопасности?
30. В чем состоит защита от перехода в сеть 380/220 В более высокого напряжения?
31. Какую наименьшую группу может иметь оперативный персонал при единичном обслуживании электроустановки напряжением выше 1000 В, до 1000 В?

32. Назовите категории работ в электроустановках по мерам безопасности.
33. Какие организационные мероприятия обеспечивают безопасность работ в электроустановках?
34. После чего бригада может быть допущена к работе и в чем заключается допуск?
35. Какие технические мероприятия выполняют для подготовки рабочего места в действующей электроустановке при работах со снятием напряжения?
36. В каких местах и для чего устанавливают временные заземления токоведущих частей в распредустройствах и на ЛЭП?
37. Кто и каким образом может менять щетки у вращающихся генераторов и электродвигателей?
38. Как безопасно опробуют новую электроустановку при первом включении под напряжение?
39. Как обеспечивается безопасность электрооборудования в кухнях жилых домов и общежитий, в душевых и ваннных комнатах?
40. Какие защитные мероприятия применяют при питании передвижных электроустановок от автономного передвижного источника с изолированной нейтралью?

## Литература

1. Александров В.В. Электробезопасность сельскохозяйственного производства. - М.: «Нива России», 1992.
2. Афанасьев Н.А., Юсипов М.А. Система технического обслуживания и ремонта оборудования энергохозяйств промышленных предприятий. - М.: ВО Атомиздат, 1989.
3. Абрамов Д.М. Тепловая модернизация зданий //Энергоэффективность. 1999 г. № 10. – С. 21 - 23.
4. Акулич А.В. Классификация систем утепления для новых и существующих конструкций //Энергоэффективность. 2000 г. № 6. С. 22—23.
5. Анисимова Л.В. Экспертный совет разрабатывает стратегию энергосбережения. // Энергоэффективность. 1998 г. №7. С. 6—7.
6. Барабаш В. И., Шкрабак В.С. Психология безопасности труда, —СПб.: СПбГАУ, 1996.-288 с.
7. Барабаш В. И., Шкрабак В. С., Шкрабак В В. Профессиональный отбор и профессиональная ориентация в целях безопасности жизнедеятельности. — СПб.: СПбГАУ, 1999.-91 с.
8. Байнев В.Ф. Научно-технический прогресс и энергосбережение: потребительский анализ эффективности производства электроэнергии. — Саранск: Из Мордов. ун-та, 1998 г. — 92 с.
9. Безопасность жизнедеятельности. /Пол ред. С.IV Белова. М.: Высшая школа, 1999. 448 с.

10. Вайнштейн Л.И. Памятка населению по электробезопасности М.: Энергоатомиздат, 1987. 64 с.
11. Володин В.И. Энергосбережение. Учебное пособие по курсу "Энергосбережение и энергетический менеджмент" для студентов неэнергетических технических, технологических и инженерно-экономических специальностей. — Мн: БГТУ, 2001 г., 182 с.
12. Вовк А. Н., Шкрабак В.С. Охрана труда в растениеводстве// Охрана труда и социальное страхование. — 1996. — 176 с.
13. Ганжа В.Л. Об энергоэффективном строительстве //Энергоэффективность. 1998 г. № 7, С. 8—11.
14. Галактионов В.А. Осторожно, электричество ! М.: Колос, 1981, 95 с.
15. Гордон С. В. Монтаж заземляющих устройств. — М.: Энергоатомиздат, 1987. - 124 с.
16. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. - М.: Госстандарт, 2002.
17. Еремин А.И., Королева Т.И. Тепловой режим зданий: Учебное пособие. — М.: Издательство АСВ, 2000 г. — 368 с.
18. Жарина Л.В. Основы энергосбережения: Материалы к спецкурсу. Уч. мед. пособие. Могилев, 2000 г. 47 с.
19. Зотов Б. И., Курдюмов В. И. Безопасность жизнедеятельности на производстве. — М.: Колос, 2000. — 423 с.
20. Змушко В.С., Портянко Н.Я. Системы теплозащиты зданий с позиций экономии энергии //Энергоэффективность. 2001 г. № 8, С. 12—14.
21. Законодательство России для служб главного энергетика, т.5. - Екатеринбург: НПО «Радикал», 2002.
22. Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве РД 153-34.0.702-09. - М.: Минтопэнерго, 1999.
23. Карякин Р.Н. Нормы устройства безопасных электроустановок. М.; Энергосервис, 2000. - 216 с.
24. Карякин Р.Н. Нормативные основы устройства электроустановок. -

М.: ЗАО «Энергосервис», 1998.

25. Кисаримов Р.А. Наладка электрооборудования. Справочник. - М.: Издательское предприятие РадиоСофт, 2003.

26. Константинович Л.М. Энергоэффективное заполнение световых проемов. //Энергоэффективность. 1998 г. № 8, С. 8—11.

27. Кравченя Э.М., Козел Р.Н., Свирид И.П. Охрана труда и основы энергосбережения. – Минск.: ТетраСистемс, 2005. – 288 с.

28. Лепин Г.Ф. Энергоэффективный, экологически чистый автономный жилой-комплекс "Эко—21" //Энергоэффективность. 2001 г. № 3. – С. 20-21.

29. Луковников А. В., Григорьев Н.Д., Вергазов В. Г. Практикум по охране труда. — М.: Агропромиздат, 1988. — 160 с.

30. Луковников А. В., Шкрабак В.С. Охрана труда. — М.: Агропромиздат, 1991.- 320 с.

31. Манойлов В. Е. Основы электробезопасности. — Л.: Энергоатомиздат, 1991.- 480 с.

32. Монастырев П.П. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий: Учебное пособие. — М.: Издательство АСВ, г. - 160 с.

33. Минтруда РФ, Минэнергетики РФ. Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ РМ-016—2001; РД 153-34.0-03.150-00,- М.: Талант, 2001.- 146 с.

34. Методические рекомендации для преподавателей средних технических учебных заведений по энергосбережению под ред. В. В. Кузьмича. Мн.: БелВИЭЦ, 1996 г. - 100 с.

35. Методические рекомендации по регулированию отношений между энергоснабжающей организацией и потребителями. - М.: Министерство энергетики РФ, 2002.

36. Межотраслевые типовые инструкции по охране труда при эксплуатации электроустановок, проведении электрических измерений и испытаний. - М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2003.

37. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок по состоянию на 1 января 2006г. - Новосибирск: Сибирское университетское издание, 2005.
38. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок ПОТ РМ 016 - 2001, РД 153-34.0-03. 150-00. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. - 210 с.
39. Нестеров Л.В., Крутилин А.Б. Теплотехнические показатели современных окон: их достоинства и недостатки // Энергоэффективность. г. № 8, С. 16-17.
40. Охрана труда в электроустановках. / Под ред. Б. А. Князевского М.: Энергоатомиздат. 1983. - 320 с.
41. Основы энергосбережения. Курс лекций / В. С. Северянин. — Брест., 1998.
42. Основы энергосбережения: Курс лекций / Под ред. Н. Г. Хутской. Мн., 1999.
43. Об эффективности использования стеклопакетов / Мартыненко О. Г., Герман М. Л., Некрасов В. П., Ноготов Е. Ф., Лемеш Н. И. // Энергоэффективность. 1999 г. № 10 . - С. 6-7.
44. Правила устройства электроустановок (с изменениями и дополнениями) по состоянию на 1 января 2006г. - Новосибирск: Сибирское университетское издание, 2006.
45. Пояснения и комментарии к требованиям главы 1.7 «Заземление и защитные меры электробезопасности» ПУЭ седьмого издания. - М.: УИЦ НИИ Проектэлектромонтаж (АНО), 2004.
46. Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках, технические требования к ним. РД 34.03.603. - М.: Госэнергонадзор, 1993.
47. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: Энергосервис, 2003.
48. Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках, технические требования к ним. — Изд. 9-е. — М.: Главгос-

энергонадзор. — 1993. — 72 с.

49. Правила устройства и безопасной эксплуатации электродных котлов и электрокотельных. — М.: Госгортехнадзор РФ, 1993.— 109 с.

50. Правила устройства электроустановок. — 6-е изд. с исправлениями, изменениями и дополнениями. — СПб.: Деан, 2001. — 925 с.

51. Правила устройства электроустановок. — 7-е изд. Разделы 6, 7, гл. 7.1, 7.2.-М.: Изд-во «НЦ ЭНАС», 1999.- 79 с.

52. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. — М.: Госэнергонадзор, 1999.— 267 с.

53. Памятка по организации проектирования и безопасной эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии. - Пятигорск: «Южэнерго», 1993.

54. Правила пользования электрической и тепловой энергией. -М.: Энергия, 1982.

55. Правила устройства электроустановок, 6- е изд., перераб. и доп. с измен. М.: 1 лавгосэнергонадзор РФ, 1998. - 606 с.

56. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7-е изд. Раздел 6 "Электрическое освещение" , раздел 7 " Электрооборудование специальных установок". М.: изд-во НЦ ЭНАС, 1999. - 80 с.

57. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. СПб.: Из-во "Диана", 2000. - 318 с.

58. Силенко В.Н. Безопасность жизнедеятельности, - СПб.: Политехника, 2001. – 178 с.

59. Силенко В Н. Электротехнические материалы и их применение на водном транспорте: Учебник. СПб.: Политехника, 1995. - 335 с.

60. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. Изд. 4-е, испр. и доп. М: АСАДЕМА, 2001. - 248 с.

61. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий. - М.: ВО

Агропромиздат, 1987.

62. Таранов М.А., Хорольский В.Я. Организация обслуживания и техника безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - Ростов-на-Дону.: «Гефест», 1999.

63. Таранов М.А., Ходольский В.Я, Привалов Е.Е. Электробезопасность сельских электроустановок. – Ростов-на Дону.: «Терра Принт», 2006. – 145 с.

64. Тургиев А. К. Расчеты в области охраны труда: Учеб. пособие для высших учебных заведений. — М.: Изд. МГАУ, 1991. — 79 с.

65. Типовая инструкция по расследованию и учету нарушений в работе объектов энергетического хозяйства потребителей электрической и тепловой энергии. - М.: Министерство энергетики РФ, 2000.

66. Черник Г. В. Контрольно-измерительные приборы и автоматика в животноводстве. — М.: Агропромиздат, 1986. — 280 с.

67. Шкрабак В.С., Казлаускас Г. К. Охрана труда. —М.: Агропромиздат, 1989.- 480 с.

68. Шкрабак В.С, Луковников А.В., Тургиев А.К. Безопасности жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве. – М.: КолоС, 2002. – 512 с.

69. Шуцкий В.И., Житков В.О., Ильин Ю.Н. Защитное шунтирование однофазных повреждений электроустановок М.: Энергоатомиздат, 1986.

70. Электроустановки зданий. Основные положения. Требования по обеспечению безопасности. Сборник стандартов. — М.: ИПК Издательство стандартов, 1998,- 180 с.

72. Электробезопасность. Задачник / под ред. В.Т. Медведева. - М.: Гардарики, 2003.

73. Экология и безопасность жизнедеятельности. / Под ред. Л.А. Муравья. М.: ЮНИТИ, 2000. - 447 с.

**Евгений Николаевич Христофоров  
Наталья Евгеньевна Сакович  
Владимир Иванович Лавров**

**ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИКИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ  
И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

Редактор: Павлютина И.П.

---

Подписано к печати 17.04.2012 г.  
Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага печатная. Усл. печ. л. 18,53.  
Тираж 1000 экз. Изд. № 2161.

---

Издательство Брянской государственной сельскохозяйственной академии  
243365 Брянская обл. Выгоничский район, с. Кокино