

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра энергетики

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Методические указания

*к лабораторным работам и практическим занятиям
для студентов специальностей:*

*1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства,
1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов
и производств (сельское хозяйство)*

Минск
БГАТУ
2010

УДК 620.9
ББК 31.19
075

*Рекомендовано научно-методическим советом
агроэнергетического факультета БГАТУ.
Протокол № 10 от 15 июня 2010 года.*

Составители:

кандидат технических наук, доцент В. А. Коротинский,
кандидат технических наук, доцент К. Э. Гаркуша,
ассистент В. Ф. Клинцева

Рецензенты:

декан агроэнергетического факультета БГАТУ, кандидат технических наук,
доцент *И. В. Протосовицкий*;
заведующий кафедрой «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии»
БНТУ, профессор, доктор физико-математических наук *В. Г. Баитовой*

Основы энергосбережения : методические указания / сост. : В. А. Коротинский, К. Э. Гаркуша, В. Ф. Клинцева. – Минск : БГАТУ, 2010. – 64 с.

ISBN 978-985-519-328-0.

В методических указаниях для выполнения лабораторных работ и проведения практических занятий по дисциплине «Основы энергосбережения» содержатся основные разделы рабочей программы названного курса, необходимые для практического изучения принципов эффективного энергоиспользования, рассматриваются механизмы и способы энергосбережения в условиях рыночной экономики с учетом мирового опыта, а также представлены необходимые справочные данные.

Предназначены для студентов специальностей 1-74 06 05, 1-53 01 01-09.

УДК 620.9
ББК 31.19

РАЗДЕЛ 1. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Студент допускается к выполнению лабораторных работ после ознакомления с правилами техники безопасности в лабораториях кафедры и разрешения преподавателя (лаборанта).

Студент обязан знать и строго соблюдать правила пожарной и электрической безопасности.

В процессе подготовки к лабораторной работе необходимо изучить методические указания, привести на бланке отчета схему лабораторной установки и таблицу для записи результатов измерений.

При выполнении лабораторных работ студент должен действовать в строгом соответствии с методическими указаниями и не допускать самовольных действий с приборами, пускорегулирующей аппаратурой и другими элементами установок.

Запрещается:

- включать и выключать лабораторные установки без разрешения преподавателя;
- вносить изменения в схемы установок, отсоединять электрические провода, производить разборку и ремонт оборудования лабораторных установок, переставлять приборы и оборудование;
- прикасаться к элементам оборудования, которые могут находиться под напряжением;
- прикасаться к нагретым поверхностям и движущимся частям оборудования;
- перекрывать вход воздуха в вентиляторы, изменять положение заслонок в шибах;
- облакачиваться или ставить ноги на электродвигатели, вентиляторы и другое оборудование.

При обнаружении неисправностей или повреждения лабораторного оборудования студент обязан немедленно сообщить об этом преподавателю (лаборанту).

Студент должен знать, где находится аппаратура, с помощью которой включается оборудование, производится пуск (остановка) вентиляторов и насосов.

По окончании выполнения экспериментальной части лабораторной работы необходимо показать преподавателю заполненную таблицу результатов измерения.

При нарушении правил техники безопасности студент отстраняется от выполнения лабораторных работ и может быть допущен к дальнейшему их выполнению только после собеседования с преподавателем по правилам выполнения работ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

Цель работы – изучение устройства тепловой трубы, определение и сравнение коэффициента теплопроводности тепловой трубы и алюминиевого стержня.

1.1. Тепловые трубы

Тепловая труба представляет собой устройство, обладающее высокой теплопроводностью. Поэтому она часто называется сверхпроводником теплоты.

Конструктивно тепловая труба представляет собой герметичный сосуд, в большинстве случаев, трубу, частично заполненную легкокипящей жидкостью (ацетоном, аммиаком, хладоном). При подводе теплоты к одному концу тепловой трубы, который называется зоной испарения, жидкость нагревается закипает и превращается в пар. Образовавшийся пар перемещается к другому, более холодному концу тепловой трубы, который называется зоной конденсации. Там пар конденсируется, отдавая скрытую теплоту парообразования. Далее сконденсированная жидкость возвращается в зону испарения. Так как скрытая теплота парообразования велика, то даже при очень малой разности температур тепловая труба может передавать значительное количество теплоты (рис. 1.1).

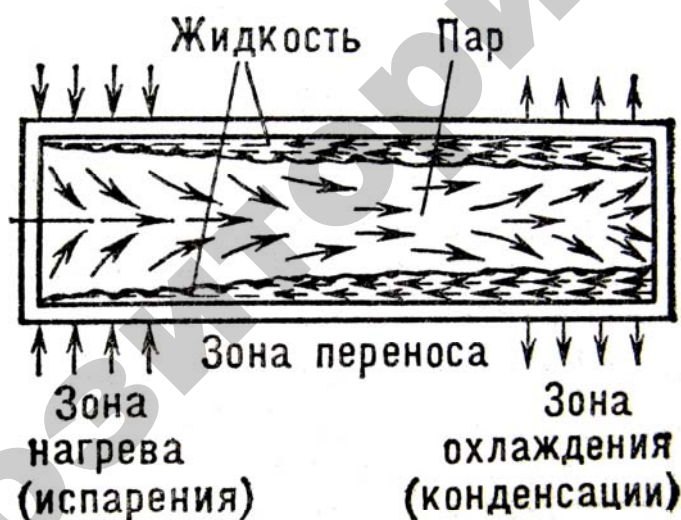


Рис.1.1. Схема действия тепловой трубы

В зависимости от способа возврата жидкости (теплоносителя) из зоны конденсации в зону испарения можно выделить три типа тепловых труб: гравитационные, капиллярные и центробежные.

В гравитационных тепловых трубах (термосифонах) возврат конденсата происходит за счет сил тяжести. Поэтому для нормальной работы такой тепловой трубы обязательно расположение зоны конденсации выше зоны испарения.

В наиболее распространенных капиллярных трубах по их внутренней поверхности уложен капиллярно-пористый материал (фитиль), пропитанный

жидким теплоносителем. Под действием капиллярных сил происходит движение жидкости из зоны конденсации в зону испарения.

Первоначальные капиллярные структуры, которые использовались в тепловых трубах, представляли собой такие материалы, как ткань, стекловолокно, пористый металл и пористая сетка. Эти структуры считаются гомогенными, в отличие от комбинаций различных материалов, которые называются композиционными капиллярными структурами. На рис. 1.2, *а* схематически показана гомогенная капиллярная структура. Фитиль прилегает к стенке тепловой трубы таким образом, чтобы обеспечить хороший контакт со стенкой в зоне передачи теплоты.

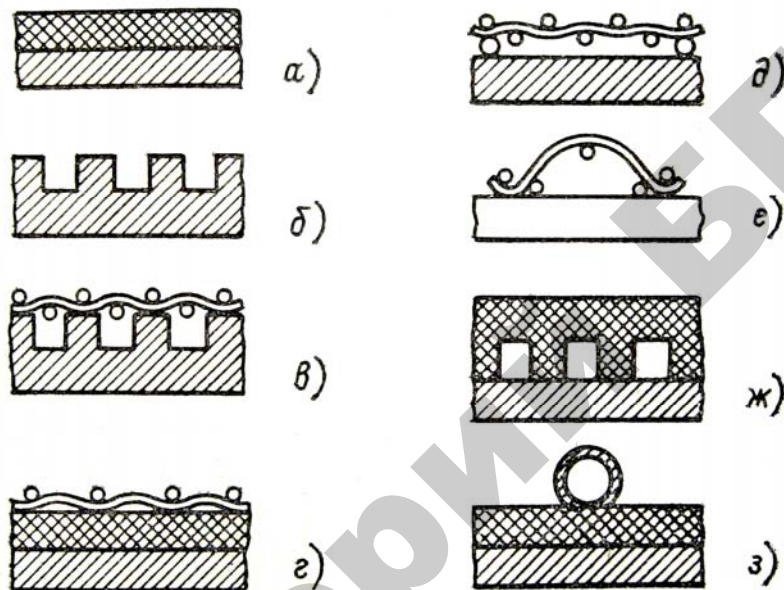


Рис. 1.2. Капиллярные структуры:

а – гомогенная капиллярная структура; *б* – каналы; *в* – каналы и экраны;
г – сетки и экраны; *д* – экран и кольцевой канал для круглых тепловых труб;
е – гофрированный экран; *ж* – капиллярная структура с каналами;
з – артерии

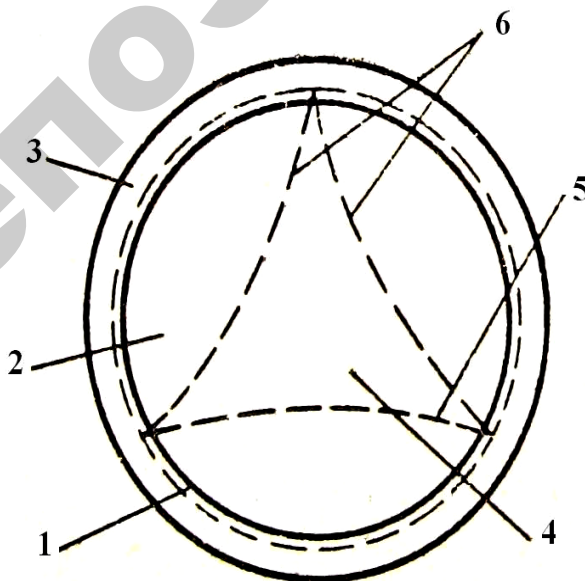


Рис. 1.3. Тепловая труба с артериями:
1 – внутренняя поверхность стенки;
2 – паровая зона; *3* – канавки; *4* – артерия для жидкости; *5, 6* – сетка

Используются также каналы на стенках (рис. 1.2, б). Более усовершенствованную структуру представляют собой тонкие экраны (рис. 1.2, в). Преимущество такой конструкции заключается в том, что уменьшается унос жидкости, текущей в фитиле, паром, который движется из испарителя тепловой трубы к конденсатору.

Несколько других конструкций показано на рис. 1.2, з – ж. Структура на рис. 1.2, з является примером использования артерий, которые позволяют получить низкие сопротивления и перепады давления в жидкости. Структуры на рис. 1.2, д – ж также имеют низкие сопротивления для течения жидкости. Их недостатком является то, что в них может возникнуть кипение.

На рис. 1.3 показана другая форма артерий, которые во всех точках изолированы от пара. В этом случае в артерии могут преобладать следующие механизмы: действие капиллярных сил, конденсация пара; подъем давления в паровой зоне нагрева, вызванный паром, который сжимается в артерии и замещается жидкостью, при этом остаток пара удаляется с обогреваемой поверхности.

В тепловой трубе (рис. 1.4) давление в артерии будет ниже давления в паровой зоне. Устройство отверстий в поверхности артерии позволяет пару проникнуть в трубу и образовать там двухфазную смесь. При работе против сил гравитации это добавляет движущие силы естественной циркуляции к капиллярным силам.

В центробежных тепловых трубах корпус трубы вращается вокруг некоторой оси. В таких трубах возврат конденсата осуществляется под действием центробежных сил. За счет этих же сил также происходит интенсификация теплообмена как на внутренней, так и на внешней поверхности тепловой трубы.

Основными преимуществами тепловых труб являются:

- высокая теплопроводность;
- возможность автономной работы;

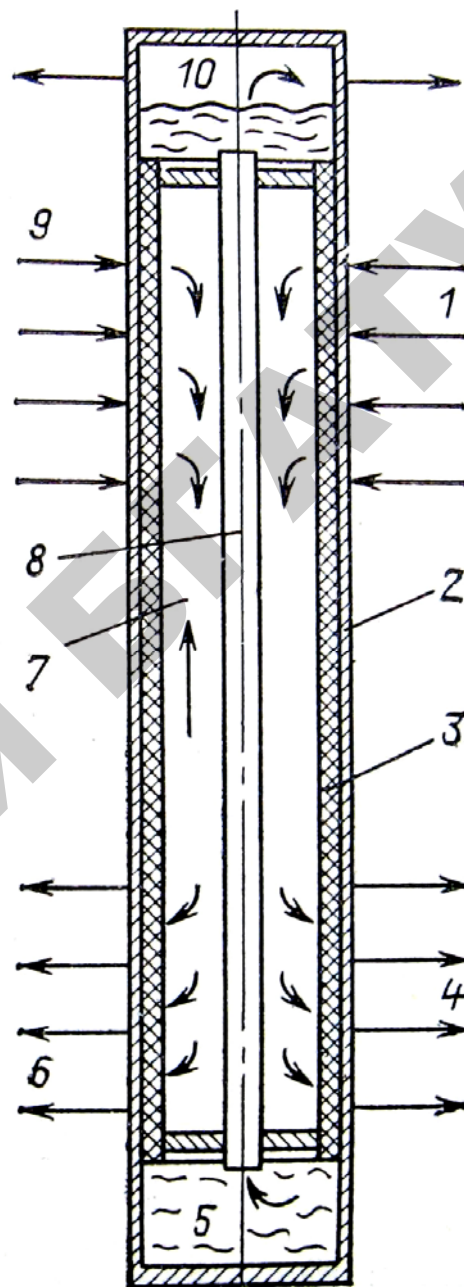


Рис. 1.4. Тепловая труба с коллектором и системой артерий:
 1 – испаритель; 2 – стенка трубы;
 3 – капиллярная структура;
 4 – конденсатор; 5, 10 – коллекторы;
 6, 9 – пластины коллектора;
 7 – паровая зона; 8 – артерии

- малый вес и габариты;
- высокая надежность;
- возможность реализации сложных теплопередающих функций;
- отсутствие шума при работе;
- герметичная конструкция позволяет использовать токсичные жидкости.

Недостатками тепловых труб являются:

- ограниченная длина (до 1,5 м);
- необходимость использования сверхчистых теплоносителей.

Наличие примесей в теплоносителе приводит к возникновению неконденсирующихся газов, которые в зоне конденсации могут образовывать газовые пробки. Газовые пробки уменьшают размер зоны конденсации и снижают эффективность всей тепловой трубы.

Наиболее характерными областями применения тепловых труб являются энергетика, машиностроение, электроника и химическая промышленность.

1.2. Лабораторная установка

Основными элементами лабораторной установки (рис. 1.5, 1.6) являются тепловая труба 5 и алюминиевый стержень 6, покрытые тепловой изоляцией 3.

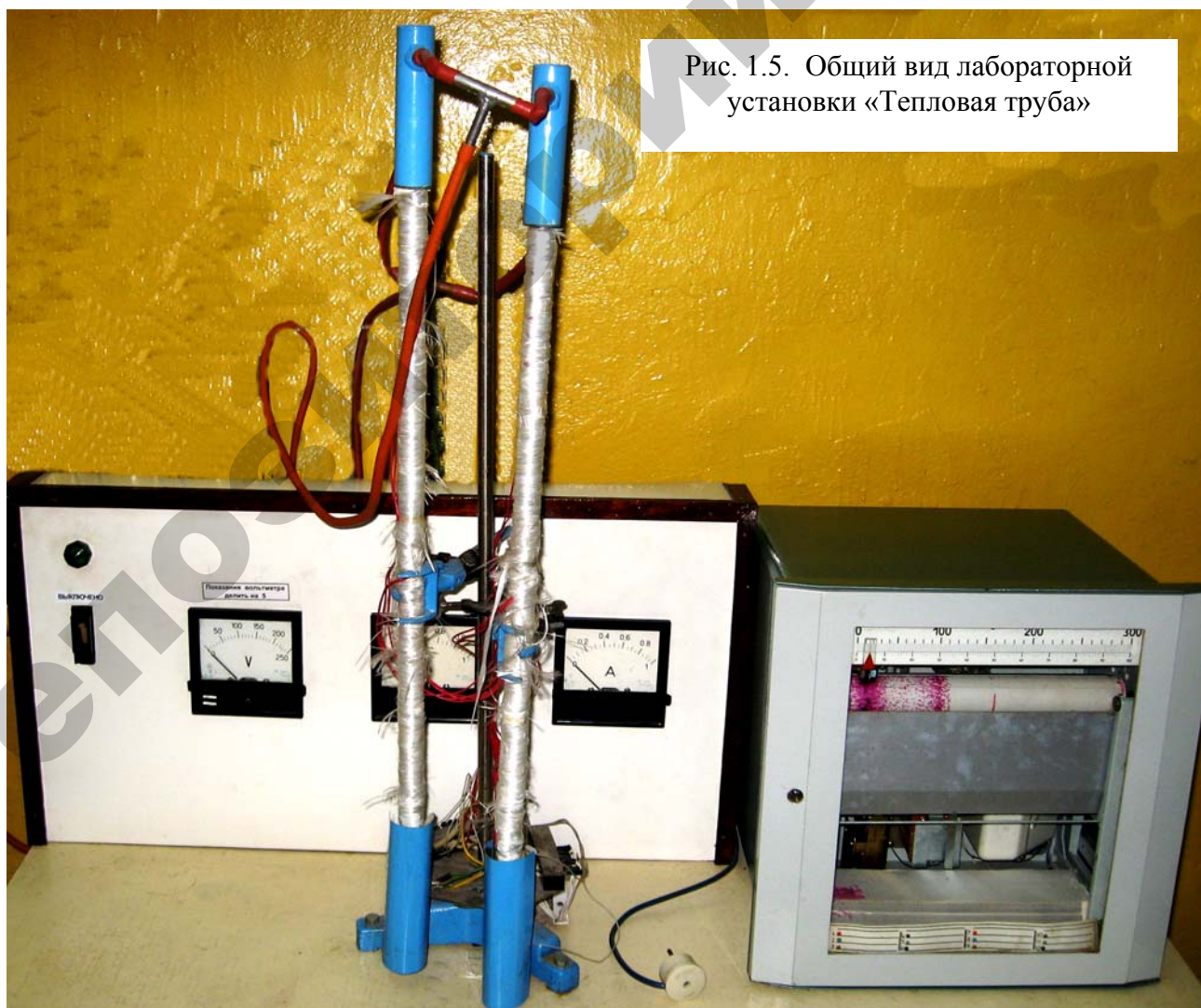
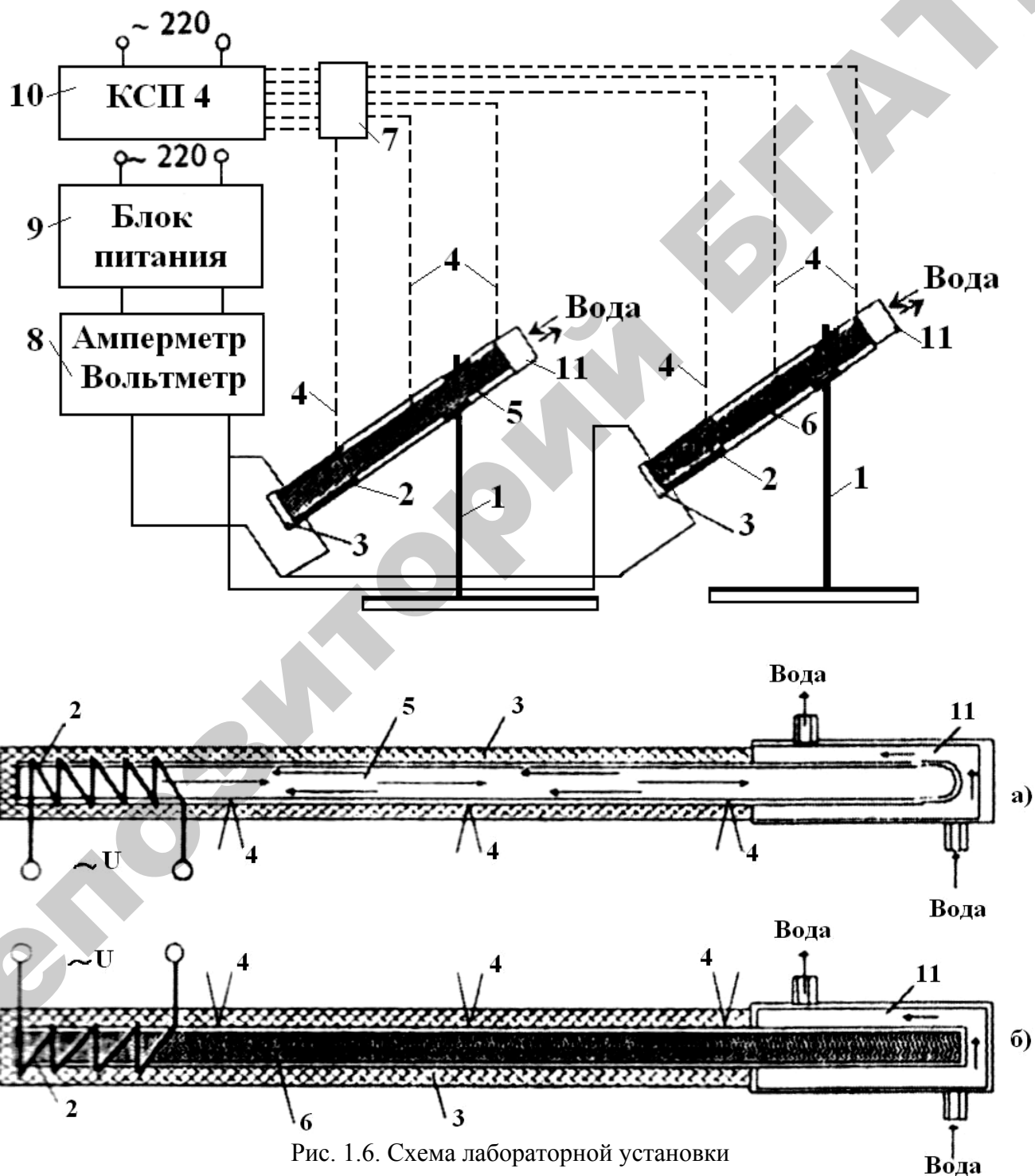


Рис. 1.5. Общий вид лабораторной установки «Тепловая труба»

Труба и стержень имеют одинаковые длину 810 мм и диаметр 14 мм. Теплоносителем тепловой трубы служит ацетон. На нижних концах трубы и стержня установлены электрические нагреватели 2, на которые подается напряжение от трансформатора 9. Для определения мощности нагревателей в лабораторной работе предусмотрены вольтметр и амперметры 8. Верхние концы образцов 11 охлаждаются водопроводной водой. По длине трубы и стержня установлены по три термопары 4 (две по концам и одна в центре), определяющие температуры в соответствующих точках.



1.3. Методика выполнения работы

Ознакомиться с лабораторной работой.

Включить электрические нагреватели.

Подготовить таблицу рекомендуемой формы для записи результатов измерений.

Время	$U, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	Температура, °С					
				t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6

Записывать через каждые 5 минут показания измерительных приборов в таблицу. После наступления стационарного теплового режима показать результаты измерений преподавателю и приступить к обработке данных.

1.4. Обработка результатов измерений

Определить электрические мощности, Вт, нагревателей:

$$P_1 = UI_1; \quad (1.1)$$

$$P_2 = UI_2. \quad (1.2)$$

Считая, что вся потребляемая нагревателями электрическая мощность превращается в тепловую, определить эффективный коэффициент теплопроводности, Вт/(мК), тепловой трубы и алюминиевого стержня

$$\lambda = \frac{Pl}{f\Delta t}, \quad (1.3)$$

где l – длина образца, м;

Δt – разность температур на концах образца, °С;

f – площадь поперечного сечения образца, м².

Построить график распределения температур по длине тепловой трубы и алюминиевого стержня в стационарном режиме. Убедиться в том, что распределение температур вдоль тепловой трубы более равномерно, чем вдоль алюминиевого стержня. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Опишите устройство и принцип действия тепловой трубы.
2. Назовите типы тепловых труб и особенности их конструкции.
3. Укажите достоинства и недостатки тепловых труб.
4. Укажите область применения тепловых труб.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Цель работы – изучить принцип преобразования солнечной энергии в электрическую. Исследовать основные технические характеристики фотоэлектрической батареи.

2.1. Общие сведения

Солнце является основным источником энергии, обеспечивающим существование жизни на Земле. Вследствие реакций ядерного синтеза в активном ядре Солнца достигаются температуры до 10^7 К. При этом поверхность Солнца имеет температуру около 6000 К. Электромагнитным излучением солнечная энергия передается в космическом пространстве и достигает поверхности Земли. Получаемая от Солнца мощность в размере около $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт эквивалентна тому, что менее одного часа получения этой энергии достаточно, чтобы удовлетворить энергетические нужды всего населения земного шара в течение года. Полный поток энергии, излучаемой Солнцем, составляет $3,9 \cdot 10^{26}$ Вт (рис. 2.1).

Максимальная плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, составляет примерно 1 кВт/м^2 . Для населенных районов в зависимости от места, времени суток и погоды потоки солнечной энергии меняются от 3 до 30 МДж/м² в день (рис. 2.2).

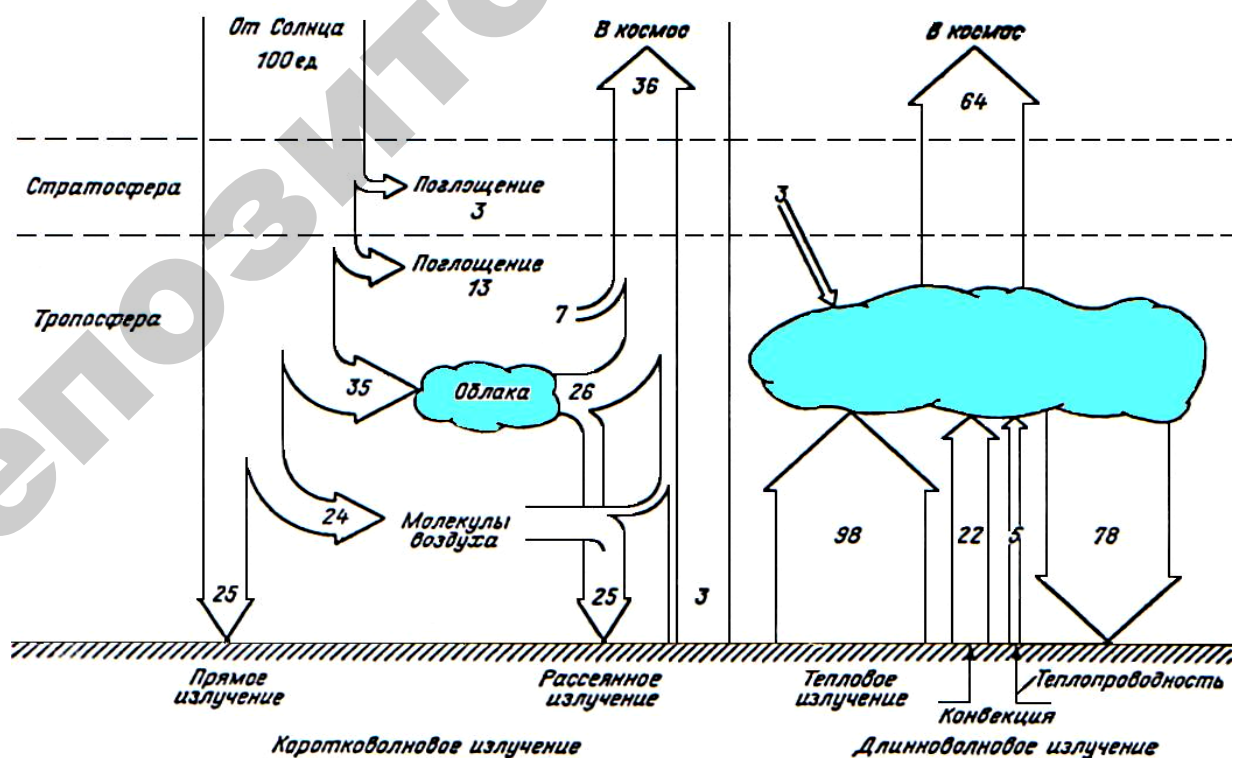


Рис. 2.1. Тепловой баланс системы «Земля–атмосфера–космос»

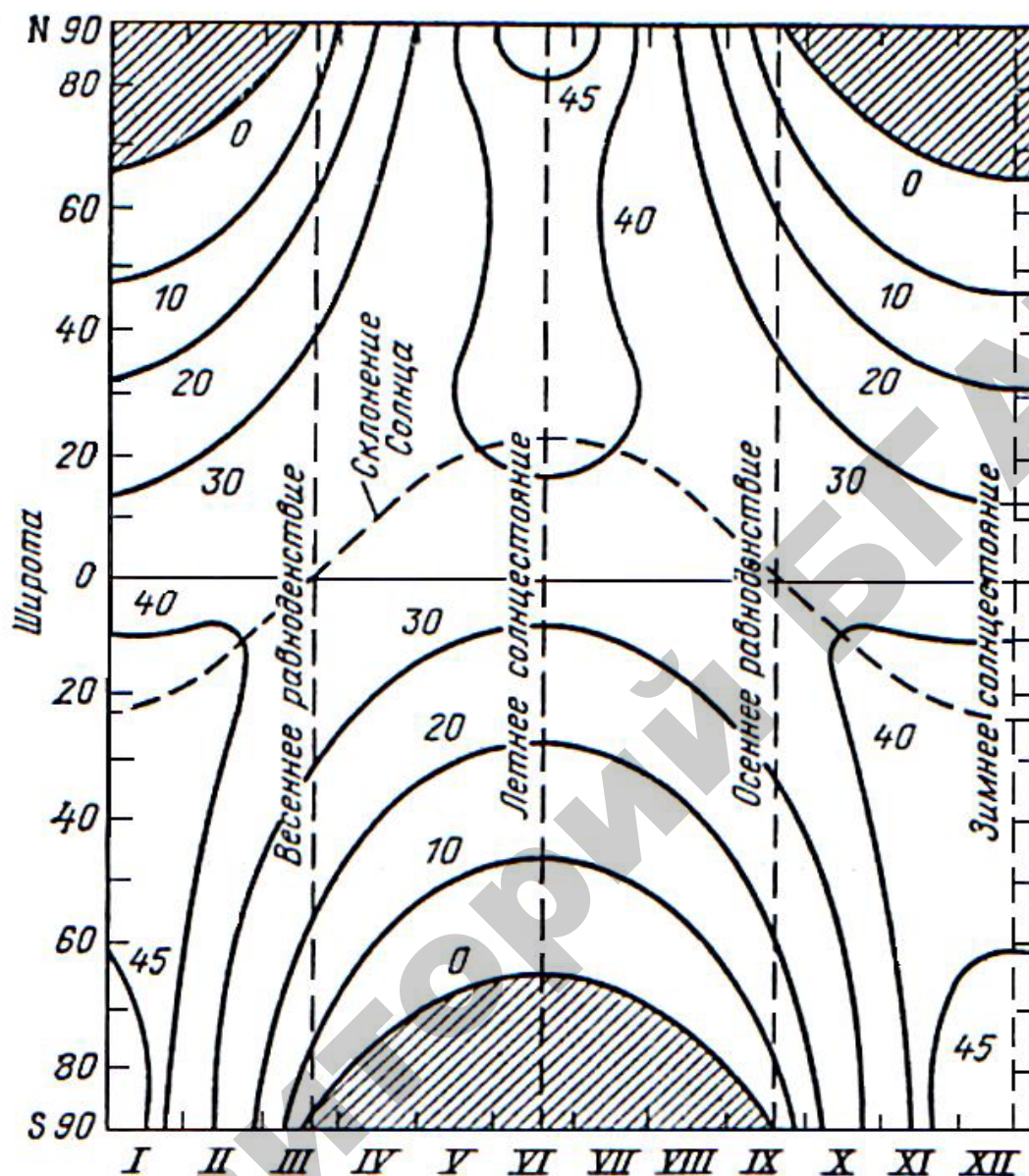


Рис. 2.2. Суточные суммарные значения энергетической экспозиции ($\text{МДж}/\text{м}^2$) при солнечном излучении, приходящем на верхнюю границу атмосферы

Количество солнечной энергии, поступающей на Землю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и других энергетических ресурсов.

Использование всего лишь 0,0125 % ее могло бы обеспечить все сегодняшние потребности мировой энергетики, а использование 0,5 % – полностью покрыть потребности в будущем.

Преимущества технологий, использующих энергию солнца, в том, что при работе солнечных установок практически не добавляется тепло в приземные слои атмосферы, не создается тепличный эффект и не происходит загрязнения воздуха.

Но у солнечной энергии есть существенный недостаток – зависимость от состояния атмосферы, времени суток и года.

В среднем для создания комфортных условий жизни требуется примерно 2 кВт энергетической мощности на человека или примерно 170 МДж энергии в день. Если принять эффективность преобразования солнечной энергии в удобную для потребления форму - 10 % и поток солнечной энергии - 17 МДж/м² в день, то требуемую для одного человека энергию можно получить со 100 м² площади земной поверхности. При средней плотности населения в городах 500 человек на 1 км² на одного человека приходится 2 000 м² земной поверхности. Таким образом, достаточно всего 5 % этой площади, чтобы за счет снимаемой с нее солнечной энергии удовлетворить энергетические потребности человека.

Плотность потока излучения от Солнца, падающего на перпендикулярную ему площадку вне земной атмосферы, называется солнечной константой S , которая равна 1 367 Вт/м².

В связи с большим потенциалом солнечной энергии чрезвычайно заманчивым является максимально возможное непосредственное использование ее для нужд людей.

Солнечная энергия используется для самых различных целей (для получения тепловой и электрической). За последнее время неоднократно предлагалось применять солнечную энергию в крупных централизованных системах выработки электроэнергии.

При этом самым оптимальным представляется прямое преобразование солнечной энергии в электрическую. Это становится возможным при использовании такого физического явления, как фотоэффект.

Фотоэффектом называются электрические явления, происходящие при освещении вещества светом, а именно: выход электронов из металлов (фотоэлектрическая эмиссия или внешний фотоэффект), перемещение зарядов через границу раздела полупроводников с различными типами проводимости ($p-n$) (вентильный фотоэффект), изменение электрической проводимости (фотопроводимость).

При освещении границы раздела полупроводников с различными типами проводимости ($p-n$) между ними устанавливается разность потенциалов (фото-ЭДС). Это явление называется вентильным фотоэффектом, на его использовании основано создание фотоэлектрических преобразователей энергии (солнечных элементов и батарей).

Наиболее распространенным полупроводником, используемым для создания солнечных элементов, является кремний.

Солнечные элементы характеризуются коэффициентом преобразования солнечной энергии в электрическую, который представляет собой отношение падающего на элемент потока излучения к максимальной мощности вырабатываемой им электрической энергии. Кремниевые солнечные элементы имеют коэффициент преобразования 10–15 % (т. е. при освещенности 1 кВт/м² вырабатывают электрическую мощность 1–1,5 Вт) при создаваемой разности потенциалов около 1 В (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Освещенность, создаваемая различными источниками

Источники	Освещенность,лк	Плотность потока излучения, Вт/м ²
Солнечный свет в полдень (средние широты)	100 000	460
Солнечный свет зимой	10 000	46
Облачное небо летом	5 000 – 20 000	23 – 92
Облачное небо зимой	1 000 – 2 000	4,6 – 9,2
Рассеянный свет в светлой комнате (вблизи окна)	100	0,46
Светильники, создающие необходимую для чтения освещенность	30 – 50	0,14 – 0,23
Полная Луна, облучающая поверхность Земли	0,2	$0,92 \cdot 10^{-3}$

Для преобразования энергии Солнца в электрическую энергию применяются фотоэлементы (фотоэлектрические преобразователи, рис. 2.3).

Кремниевый солнечный фотоэлемент высокой эффективности впервые был продемонстрирован в 1954 г. лабораторией «Белл телефон» (рис. 2.4).

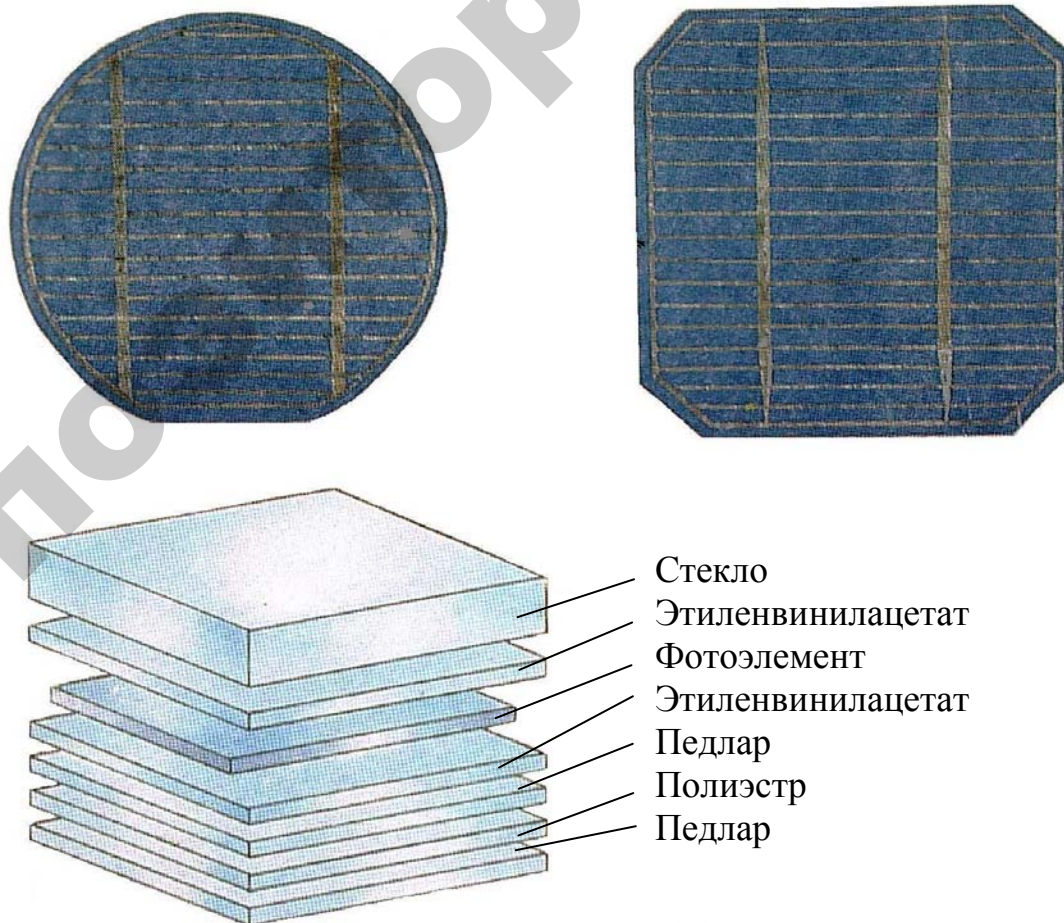


Рис. 2.3. Фотоэлектрические преобразователи

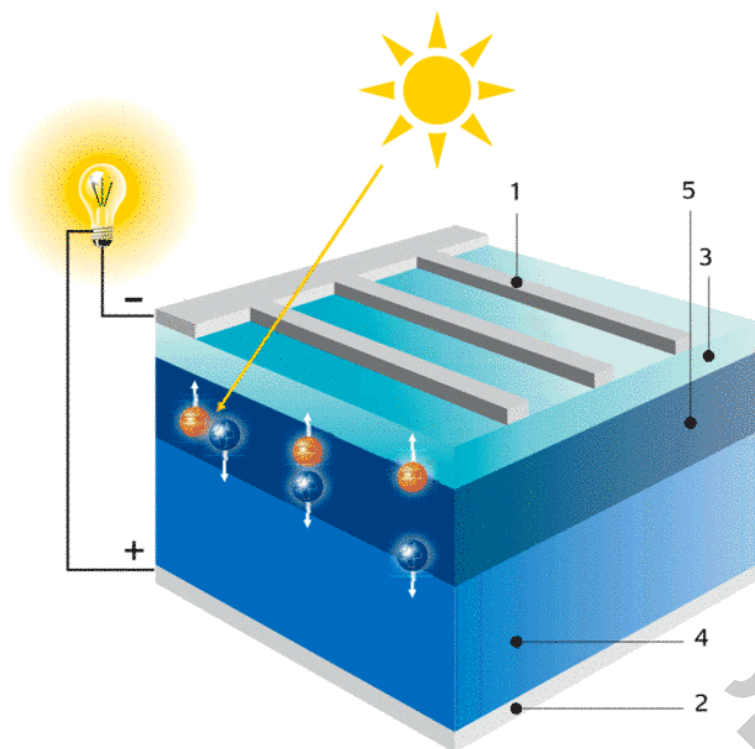


Рис. 2.4. Принципиальная конструкция фотоэлемента:
 1 – контактная пластина со штифтами; 2 – контакт;
 3 – прозрачный клей на силиконовой основе;
 4 – база (*p*-слой)
 5 – верхний слой (*n*-типа)

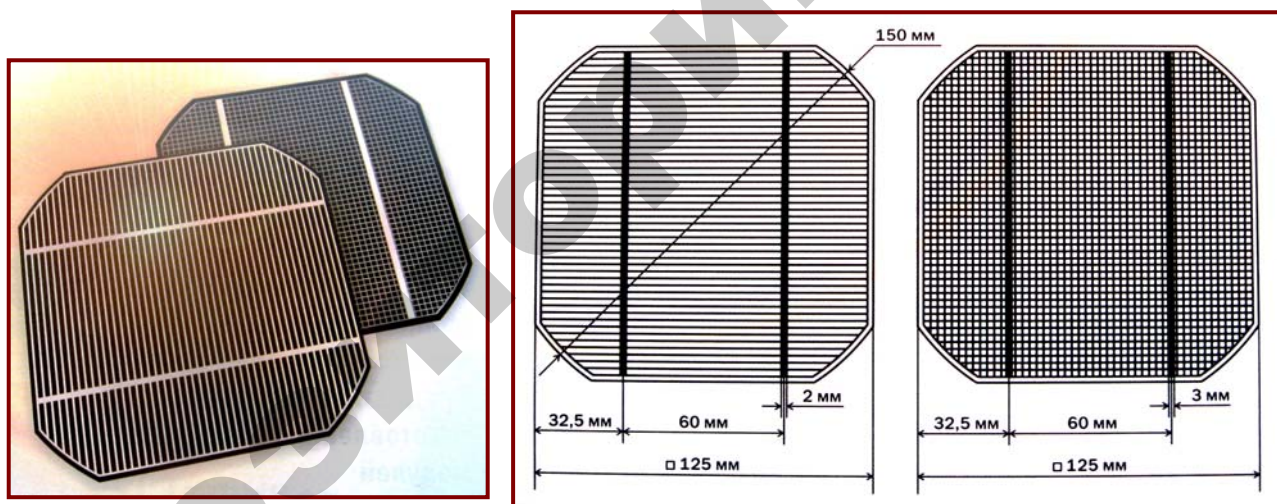


Рис. 2.5. Типовая конструкция и геометрические размеры современных кремниевых фотоэлементов

Фотоэлементы представляют собой светочувствительные пластины из полупроводникового материала: селена, кремния, арсенида галлия, диселенида кремния и т. д. Фотоэлектричество производится, когда частицы света (фотоны), поглощенные полупроводником, создают электрический ток. Конструкция современных фотоэлементов показана на рис. 2.5.

Общепризнанным фактом является целесообразность применения фотоэлектрических станций с солнечными элементами на основе кремния, имеющих КПД 10...15 % (лабораторные образцы имеют КПД до 30 %) на любых географических широтах.

Основные преимущества современных фотоэлементов:

- высокий общий КПД преобразования солнечного излучения в электрическую энергию, составляющий в настоящее время 14 %;
- неограниченный срок службы;
- простота конструкции и их изготовления (устройство не требует специальных концентраторов и для получения больших КПД не нуждается в высокой температуре);
- высокая удельная мощность (отнесенная к весу);
- КПД не зависит от мощности элемента.

Солнечные батареи могут быть различной мощности – от портативных установок в несколько ватт до мегаваттных электростанций, покрывающих миллионы квадратных метров площади.

Основные потребности в солнечных батареях включают: освещение, работу бытовой электротехники (радио, телевизор, холодильник), насосов для подъема воды в удаленных сельских районах; энергообеспечение экологически чистых зон массового отдыха и лечения; обеспечение радио- и телекоммуникационных систем, маяков, буев.



Рис. 2.6

Установки использования солнечной энергии не только могут быть экологически чистыми, но и иметь положительное влияние на другие сферы жизни. Например, использование солнечных батарей в жарких пустынных районах в качестве «солнечного зонтика» обеспечивает благоприятные условия для выращивания под ним бахчевых и цитрусовых культур, для которых

целесообразно использовать не слишком интенсивное солнечное излучение (рис. 2.6).

Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии является одним из наиболее быстро развивающихся в мире направлений использования возобновляемых источников энергии. В настоящее время общая мощность установленных солнечных фотоэлектрических систем составляет свыше 938 МВт. Годовые темпы роста за последние 5 лет составляют 30 %.

Лидируют страны: Япония – 80 МВт, США – 60 МВт, Германия – 50 МВт.

Масштабы использования фотоэлектрических солнечных батарей ограничиваются более высокой стоимостью вырабатываемой электроэнергии, по сравнению с энергией, получаемой за счет использования традиционных ис-

точников энергии. Удельная стоимость мощности плоских модулей солнечных батарей на мировом рынке составляет 4...5 \$/Вт, а стоимость фотоэлектрических установок 7...10 \$/Вт.

Стоимость электроэнергии, вырабатываемой модулями, колеблется в пределах 20...30 \$cent/(кВт•ч), что значительно превышает стоимость электроэнергии от традиционных источников.

Согласно прогнозу Европейской ассоциации фотовольтаики (EPIA), к 2030 г. солнечные батареи будут производить до 2646 ГВт электроэнергии, удовлетворяя от 8,9 до 13,8 % мировых потребностей. Годовой объем рынка фотовольтаики достигнет 454 млрд €.

Солнечные элементы последовательно соединяются в солнечные модули, которые, в свою очередь, параллельно соединяются в солнечные батареи, как изображено на рис. 2.7.

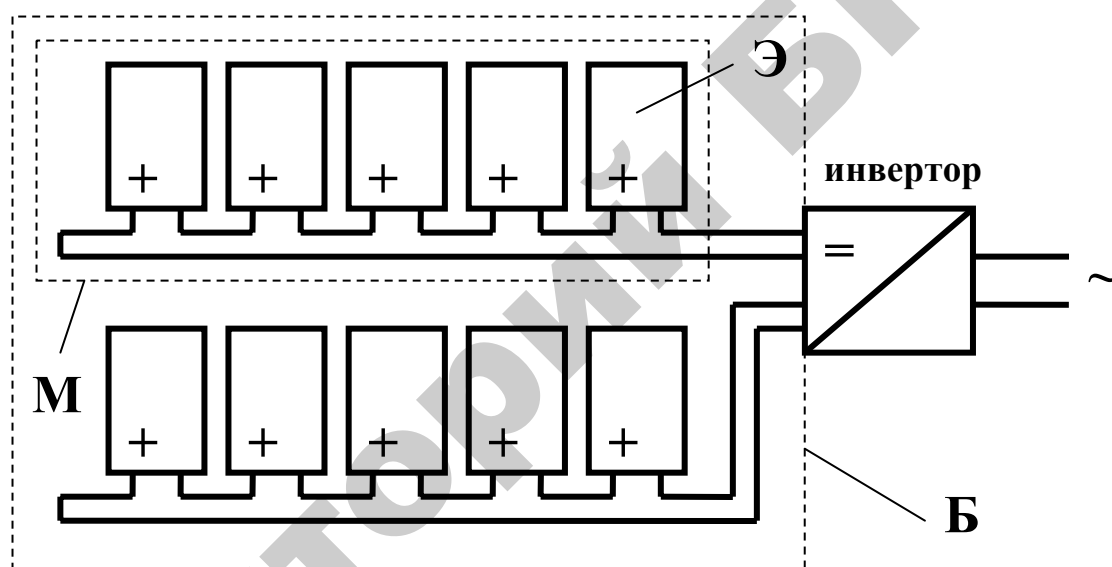


Рис. 2.7. Компоновка солнечных фотоэлементов:
Э – солнечный элемент; М – солнечный модуль; Б – солнечная батарея

В 1958 году впервые солнечные батареи были использованы в США для энергообеспечения искусственного спутника Земли Vanguard 1. В последующем они стали неотъемлемой частью космических аппаратов.

Основные компоненты солнечной энергетической установки изображены на рис. 2.8 и включают в себя: солнечную батарею с приборами контроля и управления; инвертор (обычно блок Sunny Boy, рис. 2.9) для преобразования постоянного тока солнечной батареи в переменный ток промышленных параметров, потребляемый большинством электрических устройств. При отсутствии инвертора используют аккумуляторную батарею для питания приборов постоянного тока (как правило, эти приборы имеют небольшую номинальную мощность). Широко известны микрокалькуляторы, часы, радиоприемники и многие другие электронные аппараты, работающие на солнечных батареях. Кроме того, например, в Нидерландах используются фотоэлектрические эле-

менты (110 Вт = 12 В) для функционирования рекламы, освещения гаражей, витрин магазинов, вывесок, работы светофоров и средств оповещения водителей автотранспорта, в отдаленных от электрических сетей местах.

Несмотря на неравномерность суточного потока солнечного излучения и его отсутствие в ночное время аккумуляторная батарея, накапливая вырабатываемое солнечной батареей электричество, позволяет обеспечить непрерывную работу солнечной энергетической установки.

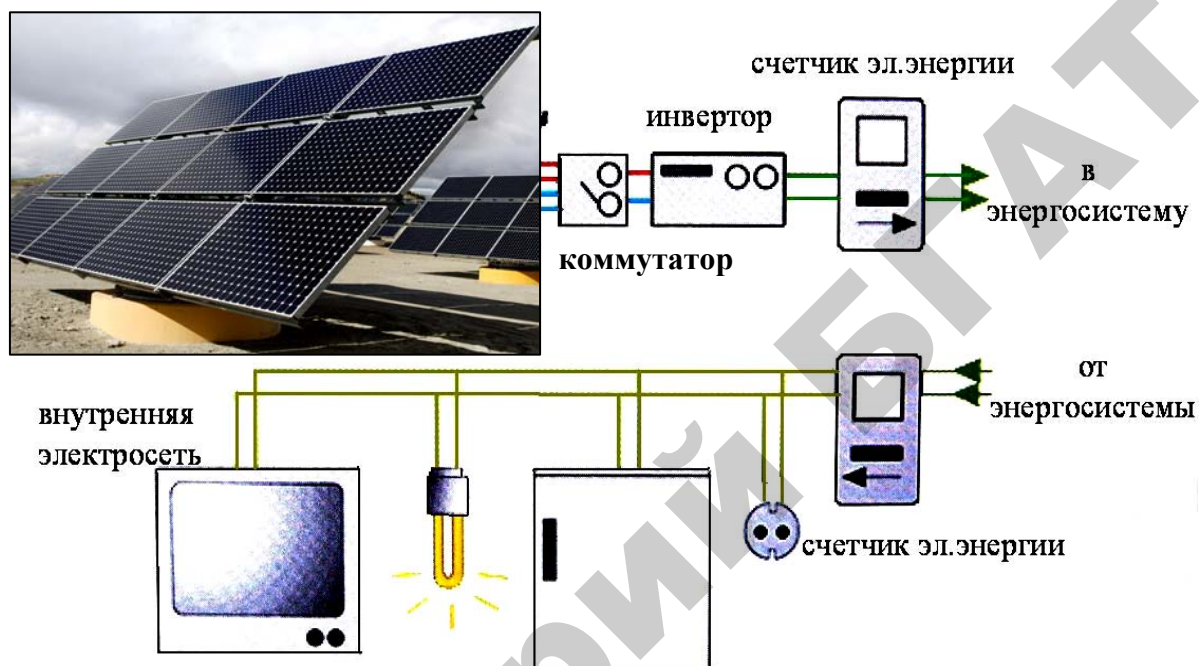


Рис. 2.8. Примерная схема устройства системы фотоэлектрического преобразователя



Рис. 2.9. Типовой инвертор для фотоэлектрических батарей

2.2. Лабораторная установка

Экспериментальная установка (рис. 2.12) включает в себя следующее оборудование: SM – солнечный модуль (рис. 2.10), состоящий из 108-ми (9×12) солнечных элементов; PA – амперметр; PV – вольтметр; EL – источник света, имитирующий солнечное излучение (6 прожекторов по 500 Вт, рис. 2.11); LUX – люксметр для определения освещенности поверхности солнечного модуля; RP – реостат, представляющий собой регулируемую нагрузку в электрической цепи; R – резистор, имитирующий постоянную составляющую нагрузки в электрической цепи.



Рис. 2.10. Солнечный модуль



Рис. 2.11. Искусственное солнце (блок прожекторов)

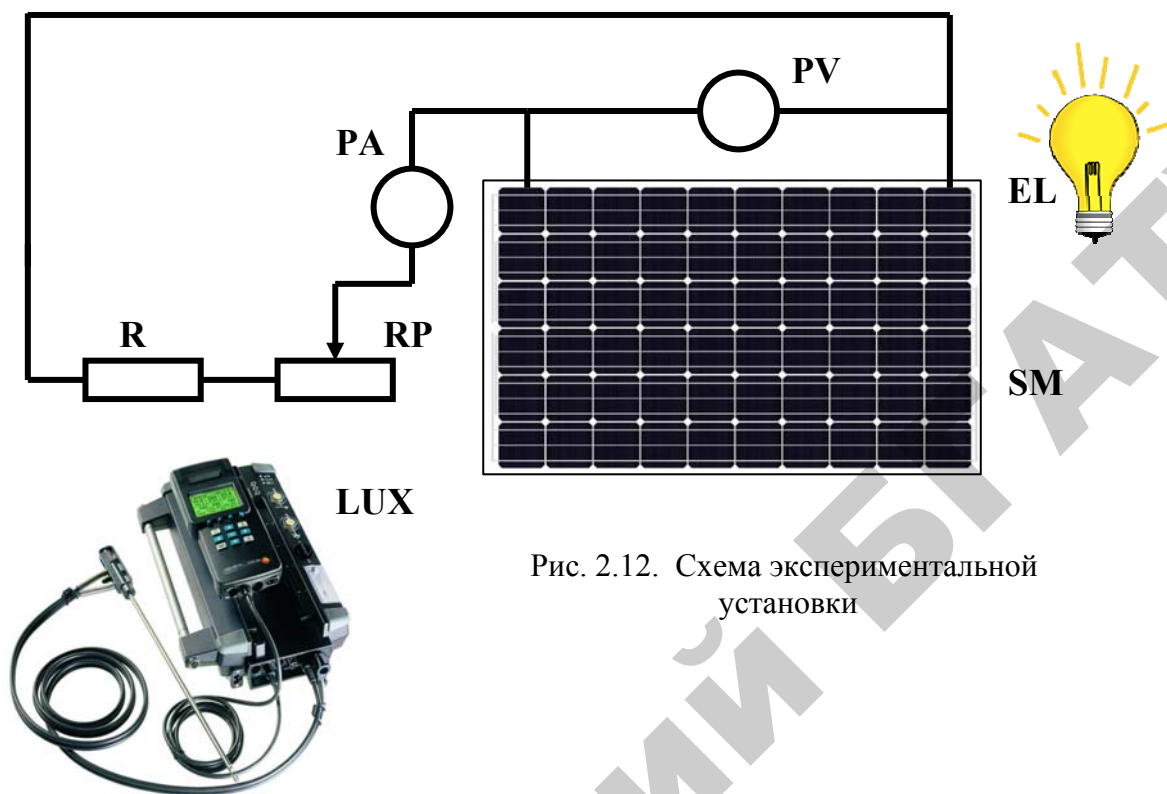


Рис. 2.12. Схема экспериментальной установки

Описание и правила работы с люксметром

Прибор предназначен для измерения освещенности в видимой области спектра (380...760 нм), создаваемой источниками, расположенными произвольно относительно приемника. Прибор работает от автономного источника питания 9 В (батарея «Крона» или «Корунд»).

Прибор комбинированный, выпускается в компактном портативном исполнении и конструктивно состоит из двух функциональных блоков: фотометрической головки и блока обработки сигнала, связанных между собой гибким многожильным кабелем. На лицевой стороне блока обработки сигнала расположен переключатель каналов измерения и жидкокристаллический индикатор (ЖКИ). В фотометрической головке расположены фотоприемные устройства для регистрации излучения.

Принцип работы прибора заключается в преобразовании фотоприемными устройствами оптического излучения в электрический сигнал с последующей цифровой индикацией числовых значений освещенности. Для этого достаточно расположить фотометрическую головку прибора в плоскости измеряемого объекта.

Основные технические характеристики прибора представлены в табл. 2.2.

Перед началом работы с прибором убедитесь в работоспособности элемента питания, включив прибор.

Появление на ЖКИ символа «1...» информирует о превышении значения измеряемого параметра установленного энергетического диапазона и о необходимости перехода на последующие пределы измерения.

Пределы измерения переключаются вручную в последовательности: «0...20 лк», «0...200 лк», «0...2000 лк», «0...20 000 лк», «0...200 000 лк».

Таблица 2.2

Технические характеристики ТКА-ПКМ (комплект 31)

Наименование характеристики	Ед.изм.	Значение
1. Диапазон измерения освещенности	лк	10...200 000
2. Допустимая основная погрешность	%	± 8
3. Погрешность градуировки по источнику	%	± 3
4. Погрешность коррекции спектральной чувствительности	%	± 5
5. Время непрерывной работы прибора	ч	8
6. Нормальная рабочая температура среды	°С	20±5
7. Рабочий диапазон температур среды	°С	0...40
8. Относительная влажность воздуха (макс.)	%	95
9. Масса прибора, не более	кг	0,4

ВНИМАНИЕ! При измерении величин, меньших 100 единиц младшего разряда, необходимо из измеренной величины вычитать отклонение показаний прибора от «0» при закрытых входных окнах фотоприемников.

Измерение освещенности производится путем расположения фотометрической головки прибора на плоскости измеряемого объекта. При этом необходимо проследить, чтобы на окно фотоприемника не падала тень оператора, производящего измерения, а также тень от временно находящихся посторонних предметов.

Включив прибор, необходимо выбрать переключателем (обозначение на переключателе: клк = 1000 лк) один из указанных диапазонов измерения и считать с цифрового индикатора измеренное значение освещенности. После окончания измерения выключить прибор, переведя переключатель в положение «Выкл».

2.3. Порядок выполнения работы

а) Исследование характеристик холостого хода солнечного элемента

1. Удостовериться, что нагрузка на солнечный модуль отсоединена.
2. Установить источник света на прямое излучение на поверхность солнечного элемента.
3. Включить источник света.

4. Люксметром измерить освещенность E в центре (точка 1) и в четырех крайних точках поверхности (2, 3, 4, 5) (рис. 2.13) солнечного модуля и вычислить ее среднее значение (E_{cp}).

5. По показаниям вольтметра определить вырабатываемую солнечным элементом ЭДС.

6. Прodelать аналогичные измерения при разном количестве включенных прожекторов.

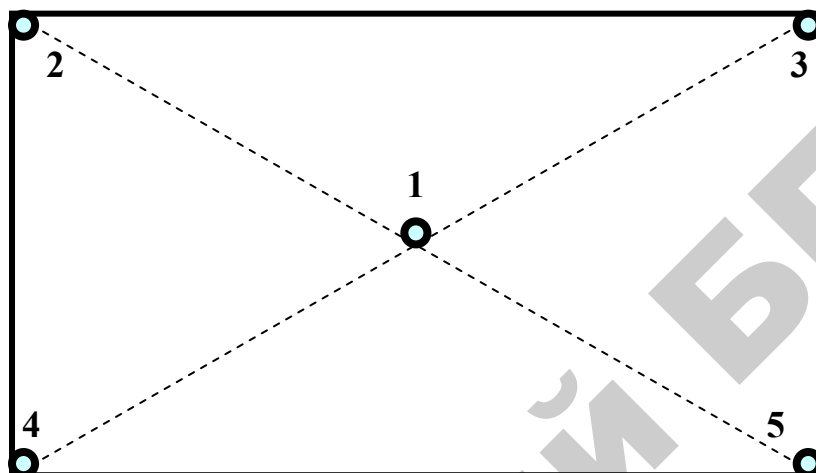


Рис. 2.13. Точки измерения освещенности модуля

7. Вычислить плотность потока излучения W (энергетическую освещенность), используя соотношения между лк и Вт/м² для белого света:

$$W = 4,6 \cdot 10^{-3} E_{cp}.$$

8. Вычислить ЭДС, вырабатываемую одним солнечным элементом ЭДС-1, разделив ЭДС на число элементов 108.

9. Все результаты занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты измерений и вычислений

Включ. прожекторы	$E_{ц}$ лк	E_1 , лк	E_2 , лк	E_3 , лк	E_4 , лк	E_{cp} , лк	ЭДС, В	W , Вт/м ²	ЭДС-1 В
1, 2, 3, 4, 5, 6									
1, 3, 4, 6									
1, 2, 3									
3, 4									
2									
Все отключены									

10. Построить график зависимости ЭДС солнечного модуля от плотности потока излучения, падающего на его поверхность W .

б) Определение вольт-амперной характеристики солнечного модуля

1. Подключить нагрузку (реостат) к цепи солнечного элемента.
2. Установить источник света на прямое излучение на поверхность солнечного модуля.
3. Включить источник света. По показаниям вольтметра определить напряжение в цепи U . По показаниям амперметра определить ток в цепи I .
4. Перемещая подвижный контакт реостата, изменить сопротивление нагрузки в цепи и выполнить измерения U и I . Провести измерения 11 раз в пределах от минимального до максимального значения сопротивления нагрузки.
5. Для каждого измерения вычислить электрическую мощность в цепи $W_3 = IU$ и сопротивление нагрузки $R_n = U/I$.
6. Все данные занести в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Вольт-амперная характеристика солнечного модуля

Плотность потока излучения, Вт/м ²	Номер измерения	Напряжение U , В	Ток I , А	R_n , Ом	Мощность W_3 , Вт
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				

7. Построить вольт-амперную характеристику ($I = f(U)$) солнечного модуля при данной плотности потока излучения, значение которой взять из предыдущей среды измерений.
8. Построить нагрузочную характеристику $W_3 = \varphi(R_n)$.
9. Отметить наибольшее значение мощности, вырабатываемой солнечным модулем.
10. Сделать выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите определение фотоэффекта, как физического явления.
2. Какова структура солнечного элемента?

3. Укажите назначение солнечных элементов.
4. Опишите устройство и принцип действия солнечной энергетической установки.
5. Объясните характер полученных графических зависимостей.
6. Для чего строится характеристика $W_3 = \varphi(R_n)$?

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКЛОТРУБНОЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы – определить тепловую мощность и коэффициент температурной эффективности теплоутилизатора.

3.1. Основные сведения

Энергетическая независимость – одна из важнейших задач настоящего времени для любого государства. Одно из первостепенных решений – это экономия топливно-энергетических ресурсов за счет снижения потребления энергии путем внедрения энергосберегающих технологий в системах вентиляции и технологических процессах. При этом основным направлением создания энергосберегающих отопительно-вентиляционных систем животноводческих помещений является утилизация теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного наружного воздуха.

С этой целью используют регенеративные и рекуперативные теплообменники-утилизаторы, которые предназначены для забора, очистки, нагрева, подачи и удаления воздуха из обслуживаемых помещений, утилизации тепловой энергии, содержащейся в удаляемом воздухе, и использовании ее для нагрева свежего приточного воздуха.

В животноводческих помещениях наибольшее применение получили рекуперативные теплоутилизаторы, которые характеризуются технологичностью изготовления, возможностью замены металла другими материалами, надежным разделением потоков воздуха и простотой эксплуатации.

Кроме того, следует выделить следующие преимущества современных теплоутилизационных установок:

- высокая эффективность утилизации тепловой энергии благодаря использованию тепловых труб;
- низкая температура приточного воздуха, при которой начинается обмерзание теплообменника;
- надежность работы при утилизации теплоты потоков воздуха с высокой влажностью и запыленностью;
- простота монтажа и обслуживания во время эксплуатации, возможность быстрой разборки и очистки теплообменной поверхности;
- небольшие потери давления при движении воздуха через теплообменник;

- полное автоматическое управление;
- низкий уровень шума.

К недостаткам следует отнести загрязнение теплообменной поверхности и ее обмерзание при очень низких температурах за счет сконденсировавшейся влаги вытяжного воздуха.

Вентиляционно-отопительные установки с утилизацией используют теплоту вытяжного воздуха помещений для нагрева свежего приточного воздуха и предназначены для вентиляции производственных, животноводческих и общественных помещений (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Технические данные утилизационных установок

Параметры и размеры	УТ-6/20	УТ-10	УТ- 15, УТ-15С	УТ-15В
Подача воздуха, тыс. м ³ /ч	6/20	10	15	15
Свободное давление на выходе из установки, Па	450/200	550	270	800
Экономия топлива, т/год	15...20	15...20	15...20	15...20
Снижение затрат на отопление, %	50	50	50	50

Области применения установок, приведенных в табл. 3.1:

- на энергоемких промышленных предприятиях, предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности;
- в зданиях административно-культурного, спортивного и коммунального назначения (библиотеки, концертные залы, школы);
- на предприятиях общественного питания.



Рис. 3.1. Теплоутилизационная установка УТ-Ф-12

На рис. 3.1 представлена современная теплоутилизационная установка УТ-Ф-12 (разработка бывшего Брестского ГСКБ по комплексу оборудования для микроклимата, ныне ООО «Внедренческое предприятие Альтернатива» по рекомендациям ИТМО АН РБ), которая предназначена для обогрева и вентиляции животноводческих и птицеводческих помещений с использованием теплоты удаляемого воздуха.

Конструктивно установка представляет собой приточно-вытяжной вентиляционный агрегат. Корпус установки состоит из алюминиевого каркаса, к которому

крепятся съемные или несъемные панели из оцинкованной стали с теплоизоляцией толщиной 25 мм. На корпус крепятся приточные и вытяжные клапаны, корпус и лопасти которых изготовлены из анодированного алюминиевого профиля. Уплотнение выполнено из профильной резины; все шестерни и опорные втулки из нейлона. Для очистки свежего воздуха в приточном канале устанавливаются воздушные фильтры класса очистки EU-3 или EU-4. Степень загрязненности фильтров отслеживается автоматически.

Теплообменник-теплоутилизатор представляет собой теплообменник, состоящий из оребренных алюминиевых тепловых трубок. Тепловые трубки собраны в кассеты, в которых предусмотрено их специальное герметично-разъемное соединение. Передача теплоты от теплого воздушного потока к холодному происходит за счет фазового перехода рабочей жидкости в тепловых трубках.

При работе установки в холодное время для сбора и отведения образующегося конденсата каждая тепловая трубка снабжена конденсатоотводчиком, по которому конденсат стекает в поддон. Подключение поддона к дренажной системе осуществляется через сифон.

К основным узлам установки относятся:

- теплообменник на тепловых трубах (200 штук);
- вытяжной и приточный осевые вентиляторы;
- воздушные фильтры;
- обводной канал с заслонками и приводом.

Технические характеристики этой установки представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Технические данные УТ-Ф-12

Наименование характеристик	Значение
Подача приточного воздуха, м ³ /ч	12000
Тепловая мощность ($\Delta t = 40$ °С), кВт	64
Коэффициент эффективности утилизатора	0,5
Масса, кг	2150
Габаритные размеры, мм	3000×2500×1400
Годовая экономия топлива для условий РБ, т у.т.	30

В Республике Беларусь применяются также импортные теплоутилизационные установки «Агровент», «Элмо», «Энергент» (производство Финляндии), которые предназначены для вентиляции животноводческих помещений со значительными выделениями влаги в осенне-зимне-весенний период. Система «Агровент» разработана совместно с ВИЭСХ (г. Москва) и обеспечивает постоянную подачу воздуха в помещение, подогрев приточного воздуха за счет утилизации теплоты, выбрасываемой из помещения, осушение внутреннего воздуха помещения. Для коровника на 200 голов рекомендуется установка 6 таких систем, которые позволяют сэкономить около 75...90 % годового расхода теп-

ловой энергии по сравнению с существующими системами вентиляции и отопления.

Кроме того, в мире широко применяются утилизаторы теплоты различных фирм на базе тепловых труб:

- фирма «Q-Dot» (США) – утилизатор теплоты для системы кондиционирования воздуха;

- фирма «Flekt» (Швеция) – выпускает тепловые трубы «Даутерм» и комплектует ими кондиционеры серии КДА;

- фирма «Azotermic» (США) – изготавливает 8 типоразмеров вентиляционных установок с утилизаторами на тепловых трубах «Айзовент», используемых в бассейнах, прачечных, операционных (больницы), где нет пыли в воздухе (при $\Delta t = 42$ °С тепловая мощность составляет 132...1700 кВт).



В БГАТУ создана стеклотрубная теплоутилизационная установка УТС-25/5000, в которой теплообменная поверхность набрана из стеклянных труб небольшого диаметра, которые ранее использовались в качестве корпусов ламп дневного света. Трубки расположены в шахматном порядке. Применение стекла в качестве материала теплообменной поверхности позволяет снизить стоимость и расход металла. Стекло обладает высокой антикоррозийной стойкостью и незначительной шероховатостью.

В установке предусмотрена перекрестная схема движения теплоносителей. Вытяжной воздух движется внутри вертикально расположенных трубок, а приточный – в межтрубном пространстве. В теплоутилизаторе вытяжной воздух отдает часть теплоты приточному, при этом на внутренней поверхности трубок происходит конденсация водяных паров, содержащихся в вытяжном воздухе. При низких температурах происходит замерзание конденсата и образования слоя снега-льда.

Наиболее охлаждаются первые ряды трубок по ходу приточного воздуха, что приводит к более интенсивному образованию слоя снега-льда с последующим полным обмерзанием трубок в первых рядах и снижением эффективности работы теплоутилизатора.

В данной установке предложена конструкция с переменной длиной трубок по ходу приточного воздуха. В первых рядах устанавливаются наиболее короткие трубки. Увеличение длины трубок в последующих рядах способствует охлаждению вытяжного воздуха во всех трубках до одной и той же температуры, что приводит к равномерному распределению слоя снега-льда и повышает надежность работы утилизатора.

Наиболее простым и дешевым способом борьбы с обмерзанием трубок является периодическое отключение подачи приточного воздуха на 3–5 мин через 1 час работы теплоутилизатора в условиях образования слоя снега-льда без остановки вытяжного вентилятора.

Движение вытяжного воздуха внутри трубок сверху-вниз способствует очистке внутренней поверхности трубок от загрязнений за счет стекания конденсата.

Совершенство работы теплоутилизатора оценивается коэффициентом температурной эффективности, который показывает долю тепловой мощности от максимально возможной. При его расчете используют разности температур потоков воздуха. Основные технические характеристики представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Техническая характеристика УТС-25/5000

Параметр (характеристика)	Размерность	Значение
Воздухопроизводительность	м ³ /ч	5000
Тепловая мощность при $dt = 40$ °С	кВт	25
Коэффициент эффективности	-	0,35
Мощность двигателей вентиляторов	кВт	4
Мощность электрокалорифера	кВт	25
Количество трубок (при общей длине 1,27 м)	шт	470
Длина трубок в первом ряду	м	0,75
Длина трубок в последнем ряду	м	1,22
Габаритные размеры теплоутилизатора	мм	980×980×1350
Габаритные размеры установки	мм	3000×2500×2500
Длина раздаточных воздуховодов	м	12

3.2. Лабораторная установка

В состав лабораторной установки (рис. 3.2) входят вентилятор 1 для подачи наружного воздуха в теплоутилизатор 3 и вентилятор 2 для подачи внутреннего воздуха, используемого в качестве горячего теплоносителя. Расходы воздуха регулируются с помощью шиберов 4 и измеряются по перепаду давления на диафрагмах 5.

Воздуховоды выполнены диаметром 500 мм, диаметры отверстий диафрагм составляют 290 мм.

Для измерения температур воздуха до и после теплоутилизатора предусмотрены жидкостные термометры. Измерение перепада давления осуществляется с помощью микроанометров ММН-240. Нумерация термометров и микроанометров приведена на схеме лабораторной установки.

Атмосферное давление измеряется с помощью барометра.

Для возможности регулирования тепловлажностного состояния внутреннего воздуха предусмотрена дополнительная установка для подогрева и увлажнения воздуха. В ее состав входят: вентилятор, калорифер и увлажнитель воздуха.

3.3. Методика выполнения работы

Ознакомиться с лабораторной установкой.

Подготовить микроманометр ММН-240 к работе; для этого необходимо:

- отрегулировать ножками прибора его расположение в горизонтальной плоскости, добиваясь положения пузырька в центре каждого уровня;
- повернуть пробку трехходового крана против часовой стрелки до упора и регулятором уровня (он расположен на крышке прибора) установить уровень жидкости в приборе на ноль по шкале на стеклянной трубке;
- повернуть пробку трехходового крана по часовой стрелке до упора.

Заготовить таблицу рекомендуемой формы для записи результатов измерения (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Результаты измерений

Время, мин	Температура, °С				Перепад давления, Па		В, кПа
	t_1^I	t_1^{II}	t_2^I	t_2^{II}	ΔP_1	ΔP_2	
0							
5							
10							
15							
...							

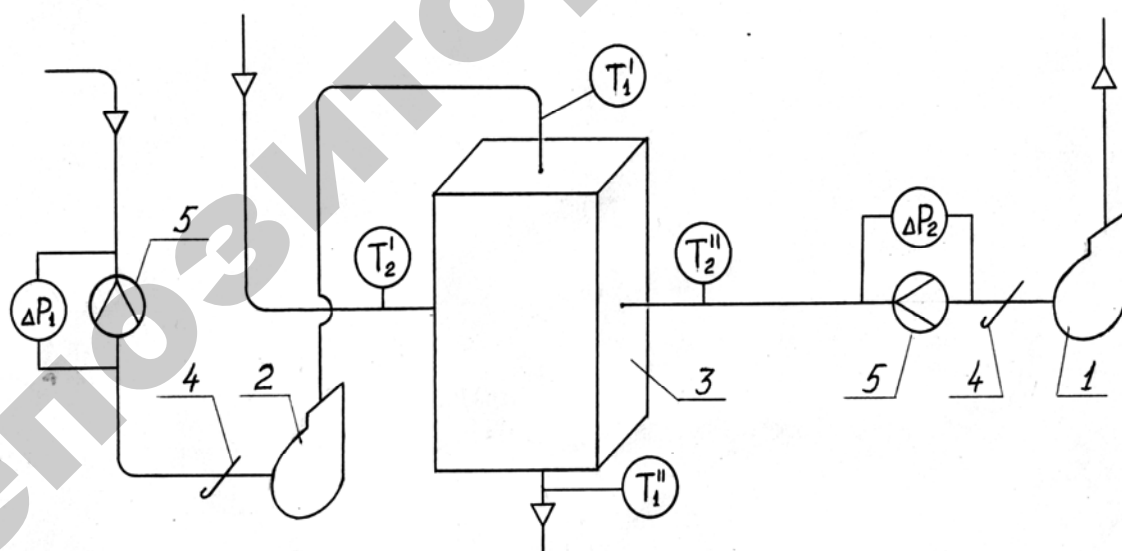


Рис. 3.2. Схема лабораторной установки

При измерении прибором ММН-240 необходимо:

- произвести отсчет по шкале;
- определить истинное значение измеряемого перепада давления, Па:

$$\Delta P = 9,8 \text{ кН}, \quad (3.1)$$

где κ – постоянная прибора, при которой произведено измерение (зависит от угла наклона стеклянной трубки и указывается на дуге прибора); H – отсчет по шкале, мм.

Измерение всех величин, входящих в таблицу, выполняют через 5 минут. После наступления стационарного теплового режима показать результаты измерений преподавателю и приступить к обработке данных.

Обработка результатов измерений

Определить плотности, кг/м^3 , внутреннего и наружного воздуха перед диафрагмой

$$\rho = \frac{B}{R_0 T}, \quad (3.2)$$

где B – атмосферное давление, кПа; R_0 – удельная газовая постоянная воздуха (принять $R_0 = 0,287 \text{ кДж/(кг·К)}$); T – термодинамическая температура, К.

При расчете плотности внутреннего воздуха принять $T = t_1^I + 273$, а плотности наружного воздуха – $T = t_2^II + 273$.

Рассчитать расходы теплоносителей, $\text{м}^3/\text{с}$

$$L = \alpha \varepsilon S_o \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (3.3)$$

где α – коэффициент расхода; ε – поправочный множитель на расширение измеряемой среды (допустимо принять $\varepsilon = 1$); S_o – площадь отверстия диафрагмы, м^2 .

Коэффициент расхода α принять по табл. 3.4 в зависимости от относительной площади (модуля) диафрагмы

$$m = \left(\frac{d_o}{d} \right)^2, \quad (3.4)$$

где d_o и d – диаметры отверстия диафрагмы и воздуховода, м.

Таблица 3.5

Коэффициент расхода α

m	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65
α	0,598	0,608	0,624	0,646	0,677	0,716	0,768

Определить тепловые потоки, кВт, внутреннего и наружного воздуха:

$$\Phi_1 = c_p \rho_1 L_1 (t_1^I - t_1^{II}); \quad (3.5)$$

$$\Phi_2 = c_p \rho_2 L_2 (t_2^{\parallel} - t_2^{\perp}), \quad (3.6)$$

где c_p – удельная изобарная теплоемкость воздуха (принять $c_p = 1$ кДж/(кг·К)).

Рассчитать коэффициент температурной эффективности

$$\varepsilon = \frac{\Phi_2}{c_p \rho L_{\min} (t_1^{\perp} - t_2^{\perp})}, \quad (3.7)$$

где L_{\min} – меньший расход теплоносителя из двух рассчитанных по формуле (3.3), м³/с; ρ – плотность теплоносителя с расходом L_{\min} , кг/м³.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте назначение элементов лабораторной установки.
2. Укажите достоинства и недостатки рекуперативных теплоутилизаторов.
3. Охарактеризуйте конструкцию стеклотрубного теплоутилизатора и ее особенности.
4. Приведите методы борьбы с обмерзанием теплообменной поверхности утилизатора.
5. Что называется коэффициентом температурной эффективности?

Лабораторная работа 4

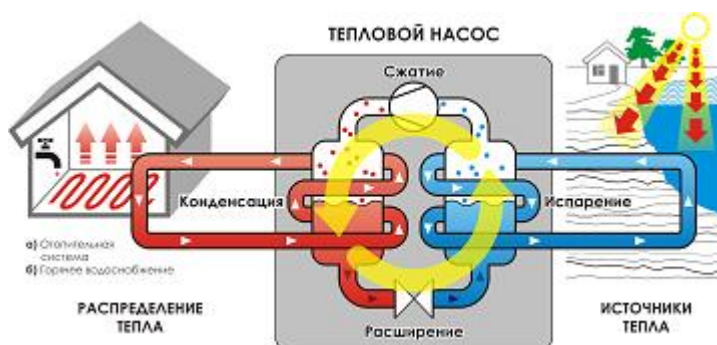
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Цель работы – определить показатели эффективности работы теплового насоса.

4.1. Основные сведения

Использование теплоты низкотемпературных источников может быть осуществлено с помощью тепловых насосов.

ТЕПЛОВОЙ НАСОС (ТН) – это компактная (размером с бытовой холодильник) отопительная установка, предназначенная для автономного обогрева и горячего водоснабжения жилых и производственных помещений. Простейшая принципиальная схема теплового насоса представлена на рис. 4.1.



Тепловой насос очень экономичен, поскольку при потреблении в 1 кВт электроэнергии может производить до 4–6 кВт тепловой энергии!

Данные установки экологически чисты, так как работают без сжигания топлива и не производят вредных выбросов в окружающую среду. Работает тепловой насос по принципу холодильника, только наоборот: забирает тепло из окружающей среды и отдает (переносит) его в дом. Причем так же, как и холодильники, тепловые насосы не требуют обслуживания до 30 лет.

Тепловые насосы можно использовать не только для системы отопления в доме, но также и для передачи тепла в систему бытового горячего водоснабжения высокой эффективности в соответствии с возникающими потребностями.

Электронагреватели установлены практически во всех моделях тепловых насосов. Это связано с тем, что расчёт номинальной мощности при выборе отопительной техники делается с учётом покрытия тепловой нагрузки в самые холодные дни (для Беларуси минимальная расчётная температура считается – 24 °С). Но такая температура держится только несколько дней в году, а значит, потенциальные возможности теплового насоса практически не будут использоваться.

Экономически выгоднее приобрести тепловой насос меньшей мощности, а в самые холодные дни пользоваться электрообогревом. Комбинация двух источников тепла – вырабатывающего дешёвую энергию, но дорогостоящего (тепловой насос), и дешевого, но вырабатывающего дорогую энергию (электронагреватель) – позволяет снизить стоимость капитальных затрат и увеличить срок окупаемости тепловой насосной установки.

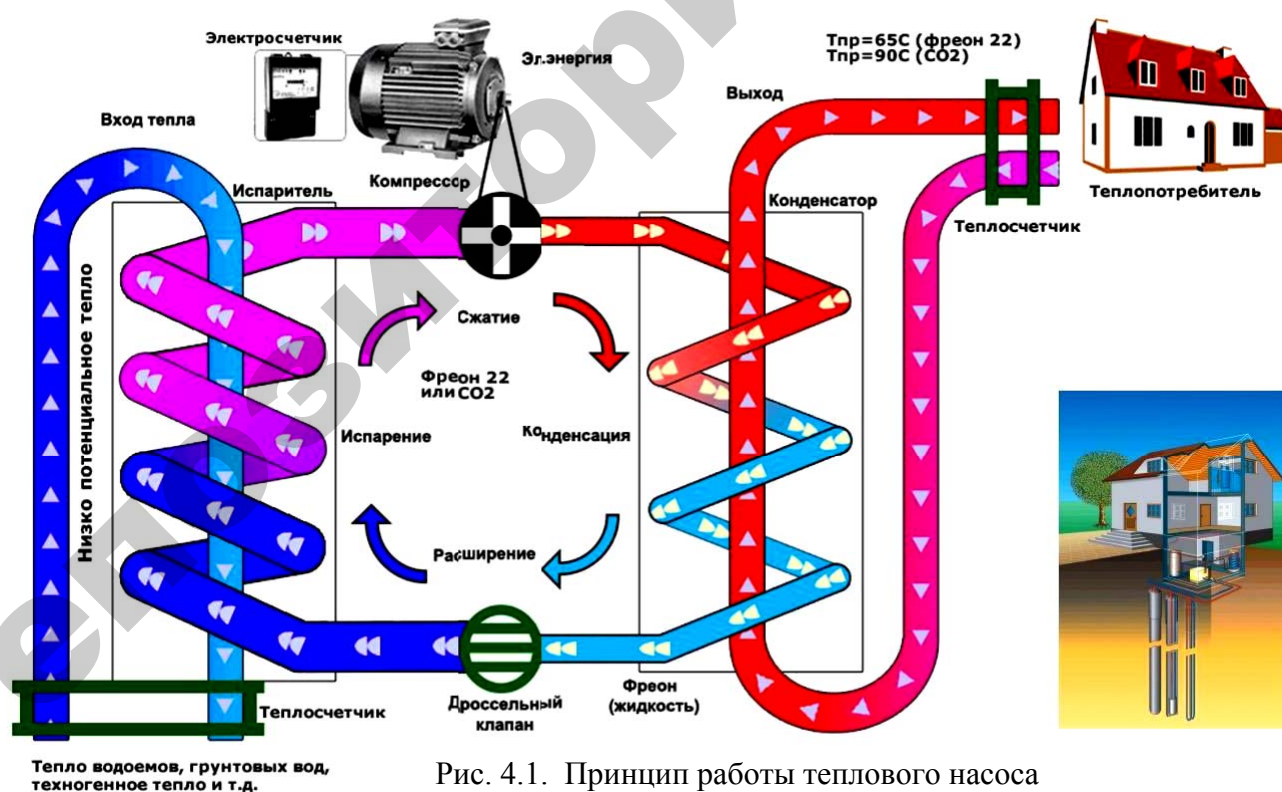


Рис. 4.1. Принцип работы теплового насоса

Наибольшее распространение получили компрессионные тепловые насосы. Принцип их действия основан на использовании обратного термодинамического цикла, в котором теплота переносится от низкотемпературного источника

на более высокий температурный уровень за счет затраты механической энергии (работы на сжатие рабочего вещества в компрессоре).

Современные тепловые насосы (рис. 4.2) могут работать в двух режимах:

- в режиме подогрева воздуха (холодный период года, рис. 4.3, а).

Низкотемпературной стороной (испарителем) является теплообменник 4. Тепло воды в нем по трубопроводу 6 передается рабочему телу теплового насоса (хладагенту), после сжатия которого в компрессоре 5 тепло передается воздуху в конденсаторе 1. Подвод тепла производится водой с температурой от 4 °С до +32 °С, максимальная эффективность обеспечивается при температурах в диапазоне 15–30 °С. При таком температурном режиме современные ТНУ требуют электроэнергии в 3–6 раз меньше величины передаваемого тепла;

- в режиме охлаждения воздуха (теплый период года, рис. 4.3, б).

Управляющий клапан 3 изменяет направление движения хладагента в тепловом насосе, тепловой режим и функции теплообменников 1 и 4, тепло отводится по трубопроводу водой. В режиме подогрева воздуха низкотемпературной стороной (испарителем) является теплообменник, в нем тепло воды 6 передается хладагенту, после сжатия, которого в компрессоре тепло на более высоком уровне передается воздуху в конденсаторе. В режиме охлаждения за счет переключения реверсивного клапана 3, теплообменники меняются функциями.



Рис. 4.2. Современные тепловые насосы

В настоящее время масштабы использования тепловых насосов в мире ошеломляют:

- в Швеции 50 % всего отопления обеспечивают геотермальные тепловые насосы. В Стокгольме 12 % всего отопления обеспечивается геотермаль-

ными насосами с общей мощностью 320 МВт, источник тепла – Балтийское море;

- в Швейцарии эксплуатируется свыше 60 тысяч тепловых насосов, что экономит 150 тыс. л жидкого топлива; 390 тысяч тонн CO₂ и 325 тонн СО не выбрасываются в окружающую среду;

- в США ежегодно производится более 1 млн геотермальных тепловых насосов. Федеральное законодательство США, при строительстве новых общественных зданий требует использовать геотермальные тепловые насосы для отопления;

- в Германии предусмотрена дотация государства на установку тепловых насосов, цена теплового насоса стала доступна большинству населения.

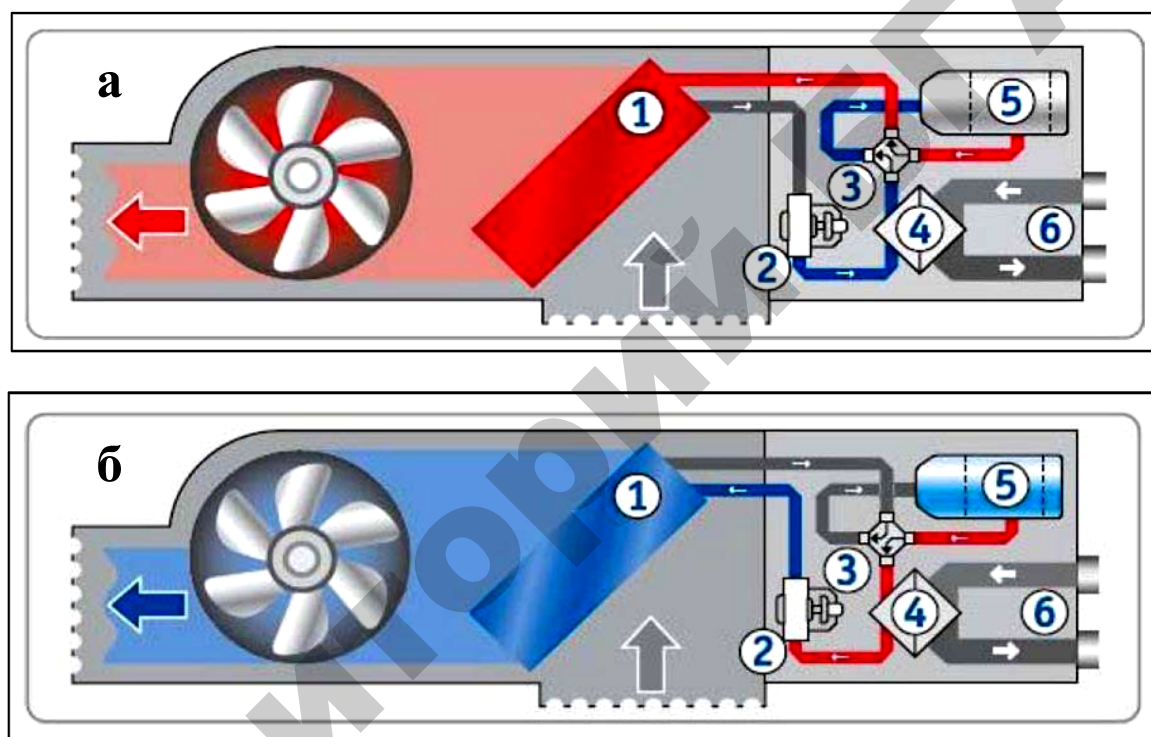


Рис. 4.3. Режимы работы теплового насоса

Наибольший экономический эффект тепловые насосы дают при комбинированном производстве теплоты и холода. Например, на МТФ тепловые насосы применяются в режиме теплохолодильных установок для охлаждения молока и одновременного получения воды на нужды горячего водоснабжения.

Преимущества использования тепловых насосов для систем отопления и горячего водоснабжения:

- тепловой насос долговечен и не требует особого внимания к себе. Срок эксплуатации заводских грунтовых зондов достигает 100 лет (фабрично изготовленных). Срок работы основного узла теплового насоса – компрессора – 30 лет;

- возможностью обеспечения отопления и охлаждения одним и тем же оборудованием;

- высвобождение территории, необходимой для размещения котельной, дымохода, хранилища топлива. Топочной для теплового насоса может быть любое помещение;

- относительно небольшая потребность в электроэнергии. 17 кВт геотермальный тепловой насос для отопления дома площадью около 350 м² будет потреблять до 5 кВт в час, с условием работы не более 12 часов в сутки, обеспечивая этим низкие эксплуатационные затраты;

- система отопления на тепловом насосе абсолютно взрыво- и пожаробезопасна, не требует специального обслуживания, проста в управлении;

- экологически чистый метод отопления и кондиционирования, отсутствуют выбросы CO₂, NO_x и других продуктов горения;

- максимальная независимость и автономность – необходимо только электричество. Независимость от поставок и цен на газообразное и жидкое топливо, отсутствует необходимость в газопроводе и газоснабжении.

Рассмотрим устройство и принцип работы современного теплового насоса, использующего геотермальную теплоту. Общий вид теплового насоса показан на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Состав теплового насоса:

1 – теплообменник передачи тепла земли внутреннему контуру;

2 – компрессор;

3 – теплообменник передачи тепла внутреннего контура системе отопления;

4 – дроссельное устройство для понижения давления;

5 – рассольный контур и земляной зонд;

6 – контур отопления и ГВС

Первичный контур – полиэтиленовая труба U-образной формы, погруженная в скважину. По трубе циркулирует незамерзающая жидкость. В результате циркуляции ко второму контуру теплового насоса поступает жидкость с температурой +8 °С (температура земли).

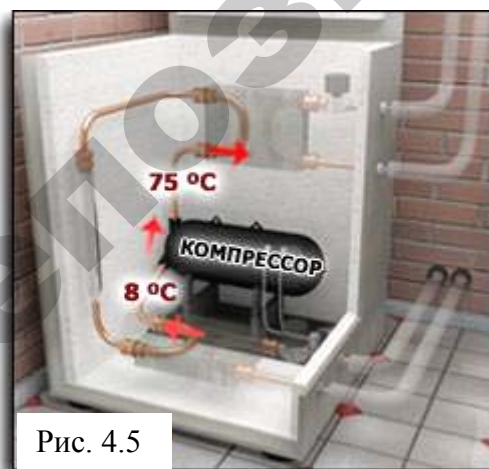
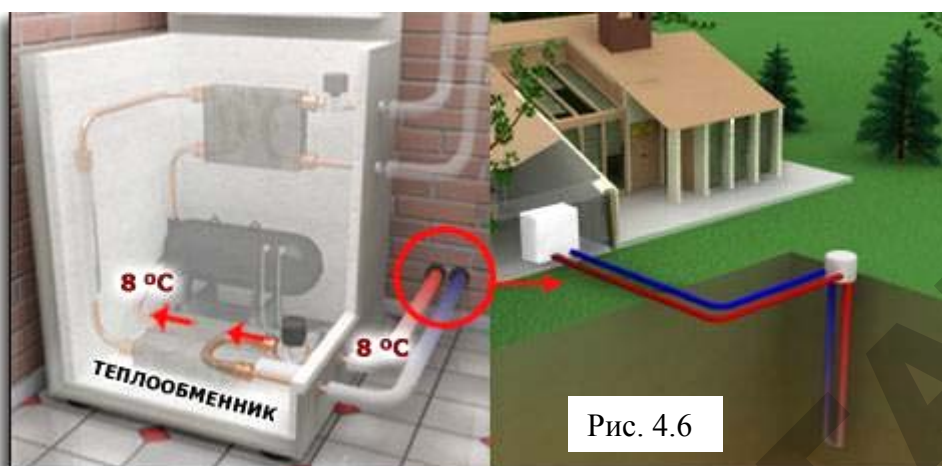


Рис. 4.5

Жидкость передает свою температуру (+8 °С) второму контуру. Во втором контуре циркулирует фреон, который, получая от первичного контура температуру +8 °С переходит в газообразное состояние. Далее, газообразный фреон поступает в компрессор, где газ сжимается с 4 до 26 атмосфер. При таком сжатии он нагревается с +8 °С до +75 °С (рис.4.5, 4.6).

Это самый важный этап работы теплового насоса. Именно на этом этапе происходит преобразование энергии большого объема газа с температурой +8 °С в малый объем газа с температурой +75 °С. При этом общая энергия газа до и после компрессора остается неизменной. Просто он сконцентрировал-

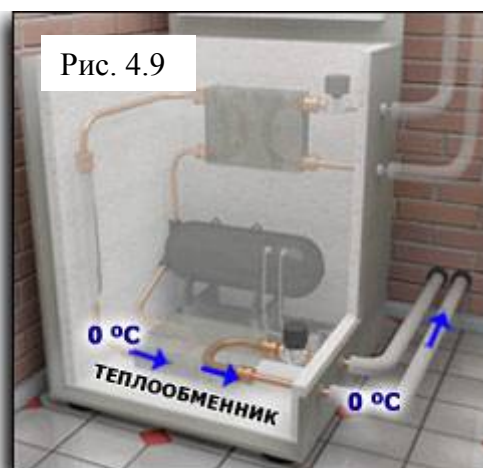
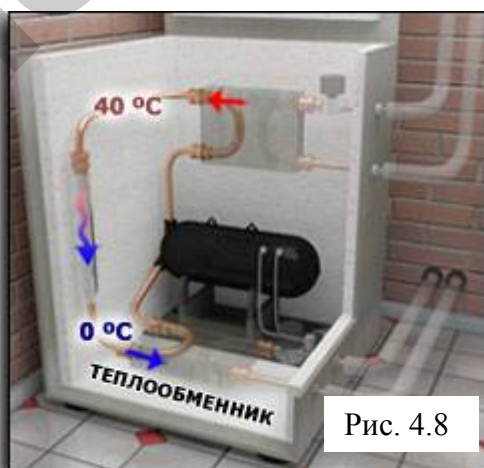
ся в сгусток энергии, которой некуда деваться. Поэтому и происходит нагревание газа до $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Энергия газа (фреон), разогретого до $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$, передается в третий контур – систему отопления и горячего водоснабжения дома. В процессе передачи энергии газа третьему контуру после потерь ($10\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$) отопительный контур нагревается до температуры $60\text{--}65\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4.7).



Газ (фреон), отдав свою энергию отопительному контуру, остывает до $30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом он по-прежнему находится под давлением в 26 атмосфер (рис. 4.8).



Затем происходит снижение давления до 4 атмосфер (так называемый эффект дросселирования). В результате падения давления происходит значительное охлаждение газа (эффект, обратный повышению температуры при увеличении давления). Он охлаждается до 0–3 °С и становится жидкостью. Температура фреона 0–3 °С передается теплоносителю первичного контура, который уносит ее вглубь земли (рис. 4.9). Проходя по скважине, теплоноситель нагревается и выходит на поверхность земли с температурой +8 °С, которая опять подается на второй контур.

А в это время происходит процесс завершения цикла во втором контуре. Жидкий фреон с температурой 0–3 °С опять соприкасается с первичным контуром, приносящим из земли +8 °С. Процесс повторяется.

4.2. Лабораторная установка

На рис. 4.10 показана лабораторная установка (в общем виде), а на рис. 4.11 представлена принципиальная схема теплового насоса.



Рис. 4.10. Общий вид лабораторной установки

В испарителе 3 за счет теплоты Q_2 , воспринятой от низкотемпературного теплоисточника, происходит парообразование теплоносителя (хладона); образовавшийся пар сжимается в компрессоре 4 с повышением температуры и давления; затем пар поступает в конденсатор 1, в котором он, конденсируясь, отдает теплоту Q_1 высокотемпературному теплоприемнику.

Образовавшийся при этом конденсат направляется в дроссельный вентиль 2, в котором происходит понижение давления и температуры теплоносителя, после чего он вновь поступает в испаритель 3.

Несмотря на внешнее сходство, между работой холодильной установки и теплового насоса имеется принципиальное различие. В первом случае окру-

жающая среда является теплоприемником, во втором – источником теплоты, которая передается на более высокий температурный уровень с дальнейшим использованием для тепловых нужд.

Совершенство работы теплового насоса определяется коэффициентом преобразования энергии, т. е. количеством теплоты, передаваемым в систему теплоснабжения за счет единицы затрачиваемой энергии:

$$\mu = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{Q_1}{L}, \quad (4.1)$$

где L – работа на привод компрессора, кДж.

В современных тепловых насосах коэффициент преобразования находится в пределах от 2 до 4.

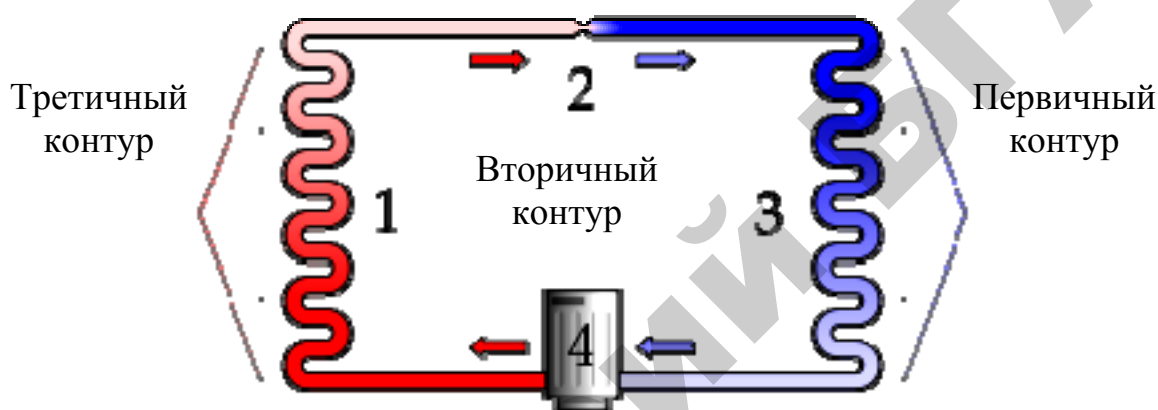


Рис. 4.11. Принципиальная схема теплового насоса:
1 – конденсатор; 2 – дроссельный вентиль; 3 – испаритель;
4 – компрессор

В качестве низкотемпературного теплового источника используется водопроводная вода, а высокотемпературным теплоприемником является внутренний воздух.

В лабораторной установке предусмотрено измерение температур хладона t_1 , t_2 , t_3 и t_4 в характерных точках, воды t'_x и t''_x , и воздуха t'_r и t''_r . Для определения этих температур служат термопары, которые поочередно с помощью переключателя подключаются к измерительному прибору.

Для определения расхода воды установлен счетчик. Измерение мощности электродвигателя компрессора производится ваттметром. Атмосферное давление измеряется с помощью барометра.

4.3. Методика выполнения работы

Ознакомиться с лабораторной установкой.

Заготовить таблицу рекомендуемой формы для записи результатов измерения (табл. 4.1).

Результаты измерения

Время, мин	Температура, °С								P, кВт	V _{сч} , м ³	B, кПа
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t' _X	t'' _X	t' _Г	t'' _Г			
0											
5											
...											

Измерение всех величин, входящих в таблицу, выполняют через 5 минут. После наступления стационарного теплового режима показать результаты измерений преподавателю и приступить к обработке данных.

4.4. Обработка результатов измерений

Определить массовый расход воды, кг/с, проходящей через испаритель по показаниям счетчика:

$$m_{t2} = \rho_2 \frac{\Delta V_{\text{сч}}}{\tau}, \quad (4.2)$$

где ρ_2 – плотность воды (принять $\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$); $\Delta V_{\text{сч}}$ – разность показаний счетчика, м³, за время измерения τ , с.

Рассчитать тепловой поток, кВт, отдаваемый водой в испарителе

$$\Phi_2 = c_{p2} m_{t2} (t'_X - t''_X), \quad (4.3)$$

где c_{p2} – удельная изобарная теплоемкость воды (принять $c_{p2} = 4,19 \text{ кДж/(кг·К)}$); t'_X и t''_X – температуры воды на входе и выходе из испарителя, °С.

Найти плотность воздуха ρ_1 , кг/м³, после конденсатора по формуле (3.2). При расчете принять $T = t''_Г + 273$.

Вычислить массовый расход воздуха, кг/с, проходящего через конденсатор:

$$m_{t1} = \rho_1 \cdot \vartheta \cdot S, \quad (4.4)$$

где ϑ – скорость воздуха в измерительном патрубке (значение приведено на щите лабораторной установки), м/с; S – площадь поперечного сечения измерительного патрубка, м².

Измерительный патрубок выполнен диаметром 0,138 м.

Определить тепловой поток, кВт, передаваемый воздуху в конденсаторе,

$$\Phi_1 = c_{p1} m_{t1} (t''_Г - t'_Г), \quad (4.5)$$

где c_{p1} – удельная изобарная теплоемкость воздуха (принять $c_{p1} = 1,01 \text{ кДж/(кг·К)}$); $t'_Г$ и $t''_Г$ – температуры воздуха на входе и выходе из конденсатора, °С.

Рассчитать коэффициент преобразования энергии:

$$\mu = \frac{\Phi_1}{P}. \quad (4.6)$$

Проверить выполнение закона сохранения энергии:

$$\Phi_1 = \Phi_2 + P. \quad (4.7)$$

В случае неравенства частей формулы (4.7) объяснить возможные причины этого.

Рассчитать теоретическое значение коэффициента преобразования энергии при работе теплового насоса по обратному циклу Карно.

$$\mu_T = \frac{T_1}{T_1 - T_2}, \quad (4.8)$$

где T_1 и T_2 – термодинамические температуры рабочего вещества в процессах отвода и подвода теплоты, К.

При этом

$$T_1 = \frac{t_3 + t_4}{2} + 273; \quad (4.8a)$$

$$T_2 = \frac{t_1 + t_2}{2} + 273. \quad (4.8b)$$

Сравнить значения коэффициента преобразования по уравнениям (4.6) и (4.8).

Контрольные вопросы

1. Расскажите принцип действия теплового насоса.
2. Приведите примеры использования тепловых насосов как энергосберегающего оборудования.
3. Охарактеризуйте назначение основных конструктивных элементов теплового насоса.
4. Что такое коэффициент преобразования энергии в тепловом насосе? В чем состоят причины затруднений в широком использовании тепловых насосов?

РАЗДЕЛ 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАСЧЕТОВ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ:

- **топливно-энергетические ресурсы (ТЭР)** – совокупность всех природных и преобразованных видов топлива и энергии, используемых в республике;
- **эффективное использование топливно-энергетических ресурсов** – использование всех видов энергии экономически оправданными, прогрессивными способами при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдения законодательства;
- **программа энергосбережения** – документ, содержащий комплекс организационных, технических, экономических и иных мероприятий, взаимосвязанных по ресурсам, исполнителям, срокам реализации и направленных на решение задач энергосбережения в республике, отрасли, регионе. Программы определяют приоритетные направления реализации государственной политики в области энергосбережения, а также пути максимального использования имеющихся резервов экономии топливно-энергетических ресурсов в республике, отрасли, регионе;
- **условное топливо** – условно принятое топливо с теплотворной способностью 7000 ккал/кг (для жидких и твердых видов топлива) и 7000 ккал/м³ (для газообразных видов топлива). Применяется для сравнения различных видов топлива по их теплотворной способности;
- **калорийный эквивалент** – переводной коэффициент (величина безразмерная), определяющий равноценное количество натурального топлива для пересчета по его теплотворной способности в условное топливо;
- **коэффициент полезного действия (КПД)** энергоустановки – отношение величины полезной энергии, получаемой на выходе, к величине подведенной энергии;
- **простой срок окупаемости энергосберегающего проекта** – время, за которое сумма затрат на разработку и реализацию проекта окупится за счет полученного экономического эффекта от внедрения энергоэффективного мероприятия;
- **вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)** – 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;
- **местные виды топлива** – местные природные топливные ресурсы, добытые на территории Республики Беларусь и использованные в качестве котельно-печного топлива (КПТ): топливный торф, попутный газ, дрова, используемые для отопления, отходы лесозаготовки и деревообработки, отходы сельскохозяйственной деятельности и прочие виды природного топлива;
- **состав затрат (укрупненные капиталовложения)** – включает затраты на выполнение предпроектных работ (ТЭО, обоснование инвестиций, бизнес-план), проектных работ, приобретение оборудования, производство строительного-монтажных и пуско-наладочных работ.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ: ЗАМЕНА КОТЛОВ

1. Перевод парового котла в водогрейный режим

При переводе паровых котлов в водогрейный режим экономический эффект достигается за счет:

- снижения расхода теплоты на собственные нужды:
потери теплоты с продувкой котлов;
потери теплоты в паропроводах и пароводяных теплообменниках;
потери теплоты с потерей конденсата;
- снижения расхода электроэнергии на производственные нужды:
на питательные насосы;
на конденсатные насосы;
- снижения затрат на химводоподготовку.

Методика проведения расчетов

Снижение удельного расхода топлива на отпуск тепловой энергии вызвано снижением расхода теплоты на собственные нужды на 1,5 %:

$$b_{\text{тэ}}^{\text{в}} = \frac{b_{\text{тэ}}^{\text{ф}} \cdot \eta_{\text{нетто}}^{\text{ф}}}{\eta_{\text{нетто}}^{\text{в}}},$$

где $b_{\text{тэ}}^{\text{ф}}$ – удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии от парового котла фактический, кг у.т./Гкал;

$\eta_{\text{нетто}}^{\text{ф}}$ – КПД парового котла нетто фактический, %;

$\eta_{\text{нетто}}^{\text{в}}$ – КПД котла в водогрейном режиме, %:

$$\eta_{\text{нетто}}^{\text{в}} = \eta_{\text{нетто}}^{\text{ф}} \cdot (1 - \alpha_{\text{сн}} / 100) / (1 - \alpha_{\text{сн}} / 100 + 0,015),$$

где $\alpha_{\text{сн}}$ – коэффициент расхода теплоты на собственные нужды для паровой котельной: природный газ – 3,5...5,5 %, мазут – 4,5...6,5 %.

Определение экономии условного топлива от изменения КПД котла нетто, т у.т.:

$$\Delta B_{\text{т}} = Q_{\text{ч}} \cdot T_{\text{г}} \cdot (b_{\text{тэ}}^{\text{ф}} - b_{\text{тэ}}^{\text{в}}) \cdot 10^{-3},$$

где $Q_{\text{ч}}$ – среднечасовая тепловая нагрузка котельной, Гкал/ч;

$T_{\text{г}}$ – число часов работы котельной в году, ч.

Среднее удельное потребление электроэнергии на отпуск тепловой энергии на паровой котельной, кВт·ч, составляет $\varepsilon_{\text{сн}}^{\text{п}} = 30 \dots 45$ кВт·ч/Гкал, для котельной, работающей в водогрейном режиме, $\varepsilon_{\text{сн}}^{\text{в}} = 20 \dots 25$ кВт·ч/Гкал.

$$\Delta \mathcal{E} = (\varepsilon_{\text{сн}}^{\text{п}} - \varepsilon_{\text{сн}}^{\text{в}}) \cdot Q_{\text{ч}} \cdot T_{\text{г}}$$

Определение экономии топлива от снижения потребления электроэнергии с учетом потерь в электросетях на транспорт электроэнергии, т у.т.:

$$\Delta B_{\text{э}} = \Delta \mathcal{E} \cdot b_{\text{э}} \cdot (1 + k_{\text{пот}}/100) \cdot 10^{-3},$$

где $b_{\text{э}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, кг у.т./кВт·ч;

$k_{\text{пот}}$ – потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) в системе РУП «Белэнерго».

Определение экономии топлива от перевода парового котла водогрейный режим, т у.т.:

$$\Delta B = \Delta B_{\text{т}} + \Delta B_{\text{э}}.$$

Определение укрупненных капиталовложений

Стоимость выбранного на основании тендера проекта перевода парового котла в водогрейный режим $C_{\text{вк}}$ – согласно договорным ценам фирмы-проектанта.

Стоимость оборудования (трубопроводов, арматуры и т. п.) $C_{\text{об}}$ определяется согласно договорным ценам на основании тендера;

Стоимость строительно-монтажных работ $C_{\text{смп}}$ – 5...10 % от стоимости оборудования.

Стоимость пуско-наладочных работ $C_{\text{пнр}}$ – 3...5 % от стоимости оборудования.

Капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.:

$$K_{\text{вк}} = C_{\text{вк}} + C_{\text{об}} + C_{\text{смп}} + C_{\text{пнр}}.$$

Определение срока окупаемости мероприятия, лет:

$$Cp_{\text{ок}} = K_{\text{вк}} / (\Delta B \cdot C_{\text{топл}}),$$

где $K_{\text{вк}}$ – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{\text{топл}}$ – стоимость 1 т у.т. уточняется на момент составления расчета (приложение 1).

Исходные данные для расчетов выбираются по последним двум цифрам зачетной книжки студента (или выдаются преподавателем) по приложению 2.

2. Замена котлов с низким КПД на высокоэкономичные котлы

При замене котлов с низким КПД на высокоэкономичные котлы экономический эффект достигается за счет снижения потребления топлива при более эффективном процессе его сжигания для получения тепловой энергии.

Методика проведения расчетов

Снижение удельного расхода топлива на отпуск тепловой энергии вызвано увеличением КПД котельной установки, кг у.т./Гкал:

$$b_{т3}^н = (142,76 / \eta_{нетто}^н) \cdot 100,$$

где $\eta_{нетто}^н$ – КПД нового котла, % :

Определение экономии условного топлива от изменения КПД котла нетто, т у.т.:

$$\Delta B_t = Q_{ч} \cdot T_{г} \cdot (b_{т3}^ф - b_{т3}^н) \cdot 10^{-3},$$

где $b_{т3}^ф$ – удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии фактический, кг у.т./Гкал;

$Q_{ч}$ – среднечасовая тепловая нагрузка котельной, Гкал/ч;

$T_{г}$ – число часов работы котельной в году, ч.

Определение укрупненных капиталовложений

Стоимость оборудования $C_{об}$ определяется согласно договорным ценам (на основании тендера).

Стоимость проектных работ $C_{прр}$ – до 10 % от стоимости строительно-монтажных работ.

Стоимость строительно-монтажных работ $C_{смр}$ – 25...30 % от стоимости оборудования.

Стоимость пуско-наладочных работ $C_{пнр}$ – 3...5 % от стоимости оборудования.

Капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.:

$$K_3 = C_{об} + C_{прр} + C_{смр} + C_{пнр}.$$

Определение срока окупаемости мероприятия, лет:

$$Cp_{ок} = K_3 / (\Delta B \cdot C_{топл}),$$

где K_3 – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{топл}$ – стоимость 1 т у.т. (тыс. руб.) уточняется на момент составления расчета (приложение 1).

Исходные данные для расчетов выбираются по последним двум цифрам зачетной книжки студента (или выдаются преподавателем) по приложению 3.

3. Внедрение котлов малой мощности вместо незагруженных котлов большой мощности

Экономический эффект от внедрения котлов малой мощности вместо незагруженных котлов большой мощности достигается за счет:

- повышения коэффициента полезного действия малого котла при работе на номинальной нагрузке;
- снижения потребления электроэнергии;
- для паровых котлов дополнительный эффект достигается за счет снижения собственных нужд на производство теплоты (уменьшение объема продувки и потерь через теплоизоляцию).

Методика проведения расчетов

По режимным картам определяем коэффициент полезного действия котла большой мощности при фактической нагрузке.

Определяем удельный расход топлива на данном котле при фактической нагрузке, кг у.т./Гкал:

$$b_{тз}^6 = 142,76 / (\eta_k^6 \cdot 10^{-2}).$$

Определяем расход топлива, необходимый для производства тепловой энергии на котле большой мощности, т у.т.:

$$B_{6к} = Q_{ф} \cdot b_{тз}^6 \cdot 10^{-3},$$

где $Q_{ф}$ – фактический отпуск тепловой энергии с малой нагрузкой, Гкал.

Определяем удельный расход топлива на данном котле при фактической нагрузке, кг у.т./Гкал:

$$b_{тз}^м = 142,76 / (\eta_k^м \cdot 10^{-2}),$$

где $\eta_k^м$ – коэффициент полезного действия котла малой мощности.

Определяем расход топлива, необходимый для производства тепловой энергии на котле малой мощности, т у.т.:

$$B_{мк} = Q_{ф} \cdot b_{тз}^м \cdot 10^{-3}$$

Определение экономии топлива от внедряемого мероприятия, т у.т.:

$$\Delta B = B_{6к} - B_{мк}.$$

Определение укрупненных капиталовложений

Стоимость оборудования $C_{об}$ определяется согласно договорным ценам (на основании тендера).

Стоимость проектных работ $C_{прр}$ – до 10 от стоимости строительно-монтажных работ.

Стоимость строительно-монтажных работ $C_{смр}$ – 25...30 % от стоимости оборудования.

Стоимость пуско-наладочных работ $C_{пнр}$ – 3...5 % от стоимости оборудования.

Капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.:

$$K_{мк} = C_{об} + C_{пнр} + C_{смр} + C_{пнр}.$$

Определение срока окупаемости мероприятия за счет экономии топлива, лет:

$$C_{рок} = K_{мк} / (\Delta B \cdot C_{топл}),$$

где $K_{мк}$ – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{топл}$ – стоимость 1 т у.т. (тыс. руб.), уточняется на момент составления расчета (приложение 1).

Исходные данные для расчетов выбираются по последним двум цифрам зачетной книжки студента (или выдаются преподавателем) по приложению 4.

Практическое занятие 2

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ: ПЕРЕВОД КОТЛОВ НА ДРУГОЙ ВИД ТОПЛИВА

1. Перевод котла на сжигание природного газа

При переводе котла на сжигание газа экономический эффект достигается за счет:

- снижения потребления условного топлива (повышение КПД котла, снижение расхода тепла на собственные нужды);
- разности в стоимости сжигаемого топлива.

Методика проведения расчетов

Снижение удельного расхода топлива на отпуск тепловой энергии вызвано увеличением КПД котельной установки, кг у.т./Гкал:

$$b_{тз}^n = (142,76 / \eta_{нетто}^n) \cdot 100,$$

где $\eta_{нетто}^n$ – КПД котла после перевода на сжигание природного газа, %.

Ориентировочно увеличение КПД котельной установки при сжигании природного газа составляет от 1...2,5 %.

Снижение удельного расхода топлива на отпуск тепловой энергии вызвано снижением расхода теплоты на собственные нужды на 1,5 %:

$$b_{тз}^{пр} = b_{тз}^{п} \cdot \eta_{нетто}^{\phi} / \eta_{нетто}^{п}$$

где $b_{тз}^{п}$ – удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии от котла на природном газе, кг у.т./Гкал;

$\eta_{нетто}^{\phi}$ – КПД котла нетто фактический, %;

$\eta_{нетто}^{п}$ – КПД котла нетто при сжигании природного газа, % :

$$\eta_{нетто}^{п} = \eta_{нетто}^{\phi} \cdot (1 - \alpha_{сн} / 100) / (1 - \alpha_{сн} / 100 + 0,015),$$

где $\alpha_{сн}$ – коэффициент расхода теплоты на собственные нужды для котельной: мазут – 4,5...6,5 %.

Определение экономии условного топлива от изменения КПД котла нетто, т у.т.:

$$\Delta B = Q_{ч} \cdot T_{г} \cdot (b_{тз}^{\phi} - b_{тз}^{пр}) \cdot 10^{-3},$$

где $b_{тз}^{\phi}$ – удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии фактический, кг у.т./Гкал;

$Q_{ч}$ – среднечасовая тепловая нагрузка котельной, Гкал/ч;

$T_{г}$ – число часов работы котельной в году, ч.

Определение укрупненных капиталовложений

Стоимость оборудования $C_{об}$ определяется согласно договорным ценам (на основании тендера).

Стоимость проектных работ $C_{прр}$ – до 10 % от стоимости строительно-монтажных работ.

Стоимость строительно-монтажных работ $C_{смп}$ – 25...30 % от стоимости оборудования.

Стоимость пуско-наладочных работ $C_{пнр}$ – 3...5 % от стоимости оборудования.

Капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.:

$$K_{пг} = C_{об} + C_{прр} + C_{смп} + C_{пнр}$$

Определение срока окупаемости мероприятия за счет экономии топлива, лет:

$$Cp_{ок} = K_{пг} / (\Delta B \cdot C_{топл}),$$

где $K_{пг}$ – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{топл}$ – стоимость 1 т у.т. (тыс. руб.), уточняется на момент составления расчета (приложение 1).

Определение количества сжигаемого мазута, т:

$$B_{м} = Q_{ч} \cdot T_{г} \cdot b_{тз}^{\phi} / (K_{м} \cdot 10^3),$$

где K_M – топливный эквивалент мазута (приложение 1).

Определение количества сжигаемого природного газа, т:

$$V_{\text{пр}} = Q_{\text{ч}} \cdot T_{\text{г}} \cdot b_{\text{тэ}}^{\text{пр}} / (K_{\text{пр}} \cdot 10^3),$$

где $b_{\text{тэ}}^{\text{пр}}$ – удельный расход топлива при работе на природном газе на производство тепловой энергии, кг у.т./Гкал;

$K_{\text{пр}}$ – топливный эквивалент природного газа для перевода в натуральное топливо (приложение 1).

Определение разности в стоимости сжигаемого топлива, тыс. руб.:

$$\Delta C_{\text{топл}} = B_M \cdot C_M - B_{\text{пр}} \cdot C_{\text{пр}},$$

где C_M – стоимость тонны мазута, тыс. руб./тонну;

$C_{\text{пр}}$ – стоимость тысячи метров кубических природного газа, тыс. руб./тыс. м³.

Определение срока окупаемости мероприятия за счет разности стоимости сжигаемого топлива, лет:

$$C_{\text{р ок}} = K_{\text{пр}} / \Delta C_{\text{топл}},$$

где $K_{\text{пр}}$ – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

$\Delta C_{\text{топл}}$ – разность в стоимости сжигаемого топлива, тыс. руб.

Исходные данные для расчетов выбираются по последним двум цифрам зачетной книжки студента (или выдаются преподавателем) по приложению 5.

2. Перевод котлов на сжигание местных видов топлива (дрова, опилки, щепа, торф и др.)

При переводе котла на сжигание местных видов топлива происходит замещение местными видами топлива (МВТ) импортных видов топлива и экономический эффект достигается за счет разности в стоимости сжигаемого топлива.

Методика проведения расчетов

Определение укрупненных капиталовложений

Стоимость оборудования $C_{\text{об}}$ определяется согласно договорным ценам (на основании тендера).

Стоимость проектных работ $C_{\text{прр}}$ – до 10 % от стоимости строительно-монтажных работ.

Стоимость строительно-монтажных работ $C_{\text{смп}}$ – 25...30 % от стоимости оборудования.

Стоимость пуско-наладочных работ $C_{\text{пнр}}$ – 3...5 % от стоимости оборудования.

Капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.:

$$K_{\text{МВТ}} = C_{\text{об}} + C_{\text{прр}} + C_{\text{смр}} + C_{\text{пнр}}$$

Определение количества сжигаемого топлива (ПБТ, мазут и т.д.), т:

$$B_{\text{м}} = Q_{\text{ч}} \cdot T_{\text{г}} \cdot b_{\text{тэ}}^{\phi} / (K_{\text{м}} \cdot 10^3),$$

где $Q_{\text{ч}}$ – среднечасовая нагрузка котельной, Гкал/час;

$T_{\text{г}}$ – число часов работы в год, часов;

$b_{\text{тэ}}^{\phi}$ – удельный расход топлива при работе на мазуте (печном бытовом топливе – ПБТ) на производство тепловой энергии, кг у.т./Гкал;

$K_{\text{м}}$ – топливный эквивалент мазута (приложение 1).

Определение количества сжигаемого местного топлива, т:

$$B_{\text{МВТ}} = Q_{\text{ч}} \cdot T_{\text{г}} \cdot b_{\text{тэ}}^{\text{МВТ}} / (K_{\text{МВТ}} \cdot 10^3),$$

где $b_{\text{тэ}}^{\text{МВТ}}$ – удельный расход топлива при работе на местном виде топлива на производство тепловой энергии, кг у.т./Гкал:

$$b_{\text{тэ}}^{\text{МВТ}} = 142,76 / (\eta_{\text{МВТ}} \cdot 10^{-2}),$$

где $\eta_{\text{МВТ}}$ – коэффициент полезного действия котла на местных видах топлива, %;

$K_{\text{МВТ}}$ – топливный эквивалент местных видов топлива для перевода в натуральное топливо (приложение 1).

Определение разности в стоимости сжигаемого топлива, тыс. руб.:

$$\Delta C_{\text{топл}} = B_{\text{м}} \cdot C_{\text{м}} - B_{\text{МВТ}} \cdot C_{\text{МВТ}},$$

где $C_{\text{м}}$ – стоимость тонны мазута, тыс. руб./т;

$C_{\text{МВТ}}$ – стоимость тонны МВТ (м^3 и т. д.), тыс. руб./т.

Определение срока окупаемости мероприятия за счет разности стоимости сжигаемого топлива, лет:

$$C_{\text{рок}} = K_{\text{пг}} / \Delta C_{\text{топл}},$$

где $K_{\text{пг}}$ – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

$\Delta C_{\text{топл}}$ – разность в стоимости сжигаемого топлива за год, тыс. руб. /год.

Исходные данные для расчетов выбираются по последним двум цифрам зачетной книжки студента (или выдаются преподавателем) по приложению 6.

3. Замена электродвигателя на отопительный котел на местных видах топлива

При замене электрического котла на отопительный котел на местных видах топлива происходит замещение местными видами топлива (МВТ) импортных видов топлива. Экономический эффект достигается за счет разности в

стоимости сжигаемого топлива и потребляемой электроэнергии в пересчете на условное топливо.

Методика проведения расчетов

Определение укрупненных капиталовложений

Стоимость оборудования $C_{об}$ определяется согласно договорным ценам (на основании тендера).

Стоимость проектных работ $C_{прр}$ – до 10 % от стоимости строительно-монтажных работ.

Стоимость строительно-монтажных работ $C_{смр}$ – 25...30 % от стоимости оборудования.

Стоимость пуско-наладочных работ $C_{пнр}$ – 3...5 % от стоимости оборудования.

Капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.:

$$K_{МВТ} = C_{об} + C_{прр} + C_{смр} + C_{пнр}.$$

Определение количества потребленной электроэнергии с переводом в условное топливо, т у.т.:

$$B_э = Q_ч \cdot T_г \cdot K_{пер} \cdot (1 + k_{пот} / 100) \cdot K_{топл}^3,$$

где $Q_ч$ – среднечасовая нагрузка котельной, Гкал/час;

$T_г$ – число часов работы в год, часов;

$K_{пер}$ – переводной коэффициент Гкал в МВт·ч, равный 1,16;

$k_{пот}$ – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях;

$K_{топл}^3$ – коэффициент пересчета электроэнергии в условное топливо, равный 0,28 кг у.т./кВт·ч.

Определение количества сжигаемого местного топлива, т:

$$B_{МВТ} = Q_ч \cdot T_г \cdot b_{тэ}^{МВТ} / (K_{МВТ} \cdot 10^3),$$

где $b_{тэ}^{МВТ}$ – удельный расход топлива при работе на местном виде топлива на производство тепловой энергии, кг у.т./Гкал:

$$b_{тэ}^{МВТ} = 142,76 / (\eta_{МВТ} \cdot 10^{-2}),$$

где $\eta_{МВТ}$ – коэффициент полезного действия котла на местных видах топлива, %;

$K_{МВТ}$ – топливный эквивалент местных видов топлива для перевода в натуральное топливо (приложение 1).

Определение разности в стоимости сжигаемого топлива, тыс. руб.:

$$\Delta C_{топл} = B_э \cdot C_э - B_{МВТ} \cdot C_{МВТ},$$

где C_3 – стоимость 1 т у.т. (тыс. руб.), уточняется на момент составления расчета (приложение 2);

$C_{\text{МВТ}}$ – стоимость тонны МВТ (м^3 и т. д.), тыс. руб./тонну (м^3 и т. д.).

Определение срока окупаемости мероприятия за счет разности стоимости сжигаемого топлива, лет:

$$C_{\text{рок}} = K_3 / \Delta C_{\text{топл}},$$

где K_3 – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

$\Delta C_{\text{топл}}$ – разность в стоимости сжигаемого топлива за год, тыс. руб. /год.

Исходные данные для расчетов выбираются по последним двум цифрам зачетной книжки студента (или выдаются преподавателем) по приложению 7.

Практическое занятие 3

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ: ПРИМЕНЕНИЯ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Экономический эффект от применения инфракрасных излучателей достигается за счет:

- снижения потребления топлива за счет локализации зоны обогрева производственных помещений;
- снижения потребления топлива из-за равномерного распределения теплоты в воздушном объеме помещения;
- устранения тепловых потерь по теплотрассе или паропроводу;
- снижения потребления электроэнергии.

Методика проведения расчетов

Определим часовое количество тепловой энергии, необходимое для нужд отопления и вентиляции помещения, Гкал/ч:

$$Q_o = A \cdot V \cdot q_o \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot 10^{-6},$$

где A – поправочный коэффициент для различных регионов на температурный график (для республики Беларусь принят 1,02);

V – объем помещений, м^3 ;

q_o – удельный расход теплоты на отопление, $\text{ккал/ч} \cdot \text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$;

$t_{\text{вн}}$, $t_{\text{н}}$ – температура воздуха внутри помещения и снаружи соответственно, $^\circ\text{C}$.

$$Q_v = A \cdot V \cdot q_v \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot 10^{-6},$$

где q_v – удельный расход теплоты на вентиляцию, $\text{ккал/ч} \cdot \text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$.

$$Q = Q_0 + Q_B.$$

Определяем годовое потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию помещений, Гкал:

$$Q_{\Gamma} = (Q_0 \cdot T_0 + Q_B \cdot T_B) \cdot n,$$

где T_0 – время работы отопления в сутки (24 ч), ч;

T_B – время работы системы вентиляции в сутки (18 ч), ч;

n – продолжительность отопительного периода в году, сут.

Определяем перерасход топлива, получаемый при использовании данного теплопровода, т у.т.:

$$\Delta B_{\Gamma} = (Q + \Delta Q_{\text{пот}}) \cdot b_{\Gamma} / 1000 - Q \cdot b_{\Gamma_{\text{ли}}} / 1000,$$

где Q – количество полученной тепловой энергии, Гкал;

$\Delta Q_{\text{пот}}$ – потери по теплотрассе, Гкал;

b_{Γ} – удельный расход топлива действующего теплоисточника, кг у.т./Гкал;

$b_{\Gamma_{\text{ли}}}$ – удельный расход топлива локального теплоисточника, кг у.т./Гкал.

Определяем расход электроэнергии, необходимый на передачу тепловой энергии по длинной теплотрассе, кВт·ч:

$$\mathcal{E}_{\text{н}} = (Q + \Delta Q_{\text{пот}}) \cdot \mathcal{E}_{\text{сн } \Gamma},$$

где $\mathcal{E}_{\text{сн } \Gamma}$ – удельный расход электроэнергии, необходимой для транспорта и производства 1 Гкал тепловой энергии, кВт·ч/Гкал.

Определяем расход электроэнергии, необходимый для производства и транспорта тепловой энергии от локального источника, кВт·ч:

$$\mathcal{E}_{\text{ли}} = Q \cdot \mathcal{E}_{\text{сн } \text{ли}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{сн } \text{ли}}$ – удельный расход электроэнергии, необходимой для транспорта и производства 1 Гкал тепловой энергии на локальном источнике, кВт·ч/Гкал.

Определим расход топлива, необходимый для покрытия перерасхода электроэнергии на производство тепловой энергии с учетом потерь в электросетях (при этом Лукомльская ГРЭС принимается замыкающей станцией в белорусской энергосистеме), т у.т.:

$$\Delta B_3 = (\mathcal{E}_{\text{н}} - \mathcal{E}_{\text{ли}}) \cdot k_{\text{пот}} \cdot b_3 \cdot 10^{-6},$$

где $\mathcal{E}_{\text{н}}$ – расход электроэнергии, необходимый на передачу тепловой энергии по длинной теплотрассе, кВт·ч;

$\mathcal{E}_{\text{ли}}$ – расход электроэнергии, необходимый для производства и транспорта тепловой энергии от локального источника, кВт·ч;

$k_{\text{пот}}$ – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях;

b_3 – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии; принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у.т./кВт·ч.

Общая экономия топлива от ликвидации длинной теплотрассы составит, т у.т.:

$$\Delta B = \Delta B_{\Gamma} + \Delta B_3.$$

Определение укрупненных капиталовложений

Стоимость оборудования $C_{об}$ определяется согласно договорной цене на основе тендера.

Стоимость проектных работ $C_{прр}$ – до 10 % от стоимости строительно-монтажных работ.

Стоимость строительно-монтажных работ $C_{смр}$ – 25...30 % от стоимости оборудования.

Стоимость пуско-наладочных работ $C_{пнр}$ – 3...5 % от стоимости оборудования.

Капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.:

$$K_{ли} = C_{об} + C_{прр} + C_{смр} + C_{пнр}.$$

Определение сроков окупаемости мероприятия за счет экономии топлива, лет:

$$C_{рок} = K_{ли} / (\Delta B \cdot C_{топл}),$$

где $K_{ли}$ – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{топл}$ – стоимость 1 т у.т. (тыс. руб.), уточняется на момент составления расчета (приложение 1).

Исходные данные для расчетов выбираются по последним двум цифрам зачетной книжки (или выдаются преподавателем) по приложению 8.

Практическое занятие 4

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ: ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБ ПРИ ПРОКЛАДКЕ ТЕПЛОТРАСС

Экономический эффект от применения предизолированных труб достигается за счет:

- сокращения тепловых потерь в теплотрассах;
- снижения потребления электроэнергии на транспорт тепловой энергии.

Методика проведения расчетов

По результатам испытаний либо по расчету определяем потери $\Delta Q_{пот}$ по теплотрассе.

Определяем перерасход топлива, получаемый при использовании данного теплопровода, т у.т.:

$$\Delta B_{\text{тэ}} = (Q + \Delta Q_{\text{пот}}) \cdot b_{\text{тэ}} / 1000 - (Q + \Delta Q_{\text{пот}}^{\text{пи}}) \cdot b_{\text{тэ}} / 1000,$$

где Q – количество полученной тепловой энергии, Гкал;

$\Delta Q_{\text{пот}}$ – потери по существующей теплотрассе, Гкал;

$\Delta Q_{\text{пот}}^{\text{пи}}$ – потери по теплотрассе из предизолированных труб, т у.т.;

$b_{\text{тэ}}$ – удельный расход топлива действующего теплоисточника, кг у.т./Гкал.

Определяем расход электроэнергии, необходимый на передачу тепловой энергии по существующей теплотрассе, кВт·ч:

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = (Q + \Delta Q_{\text{пот}}) \cdot \mathcal{E}_{\text{сн тэ}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{сн тэ}}$ – удельный расход электроэнергии, необходимой для транспорта и производства 1 Гкал тепловой энергии, кВт·ч/Гкал.

Определяем количество электроэнергии, необходимое для производства и транспорта тепловой энергии по теплотрассе из предизолированных труб, кВт·ч:

$$\mathcal{E}_{\text{пи}} = (Q + \Delta Q_{\text{пот}}^{\text{пи}}) \cdot \mathcal{E}_{\text{сн тэ}}.$$

Определим расход топлива, необходимый для покрытия перерасхода электроэнергии на производство и транспорт тепловой энергии с учетом потерь в электросетях (при этом Лукомльская ГРЭС принимается замыкающей станцией в белорусской энергосистеме), т у.т.:

$$\Delta B_{\text{э}} = (\mathcal{E}_{\text{п}} - \mathcal{E}_{\text{пи}}) \cdot k_{\text{пот}} / 100 \cdot b_{\text{тэ}} \cdot 10^{-6},$$

где $\mathcal{E}_{\text{п}}$ – расход электроэнергии, необходимый на передачу тепловой энергии по существующей теплотрассе, кВт·ч;

$\mathcal{E}_{\text{пи}}$ – расход электроэнергии, необходимый для производства и транспорта тепловой энергии по теплотрассе из предизолированных труб, кВт·ч;

$k_{\text{пот}}$ – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях;

$b_{\text{тэ}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии; принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, т у.т./кВт·ч.

Общая экономия топлива от ликвидации длинной теплотрассы составит, т у.т.

$$\Delta B = \Delta B_{\text{тэ}} + \Delta B_{\text{э}}.$$

Определение укрупненных капиталовложений

Стоимость оборудования $C_{\text{об}}$ определяется согласно договорным ценам (на основании тендера).

Стоимость проектных работ $C_{\text{прр}}$ – до 10 % от стоимости строительно-монтажных работ.

Стоимость строительно-монтажных работ $C_{\text{смп}}$ – 25...30 % от стоимости оборудования.

Стоимость пуско-наладочных работ $C_{пнр}$ – 3...5 % от стоимости оборудования.

Капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.:

$$K_{\text{пи}} = C_{\text{об}} + C_{\text{пнр}} + C_{\text{смп}} + C_{\text{пнр}}$$

Определение срока окупаемости мероприятия, лет:

$$C_{\text{р ок}} = K_{\text{пи}} / (\Delta B \cdot C_{\text{топл}}),$$

где $K_{\text{пи}}$ – капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.;

ΔB – экономия топлива от внедрения мероприятия, т у.т.;

$C_{\text{топл}}$ – стоимость 1 т у.т. (тыс.руб.), уточняется на момент составления расчета (приложение 1).

Исходные данные для расчетов выбираются по последним двум цифрам зачетной книжки (или выдаются преподавателем) по приложению 9.

Репозиторий БГАТУ

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Средние калорийные (топливные) эквиваленты для перевода натурального топлива в условное

№ п/п	Вид топлива	Единица измерения	Калорийный эквивалент
1. Угли и торф топливный			
1.1	Донецкий	т	0,876
1.2	Кузнецкий	т	0,867
1.3	Воркутинский	т	0,822
1.4	Львовско-Волынский	т	0,764
1.5	Фрезерный (при влажности 40%)	т	0,34
1.6	Торфобрикеты (при влажности 16%)	т	0,6
1.7	Торфяная крошка (при влажности 40%)	т	0,37
2. Дрова и древесные отходы			
2.1	Дрова смешанные	Плотный м ³	0,266
2.2	Дрова смешанные	Складской м ³	0,186
2.3	Береза	Складской м ³	0,23
2.4	Сосна	Складской м ³	0,208
2.5	Ольха	Складской м ³	0,193
2.6	Ель	Складской м ³	0,178
2.7	Древесные обрезки, стружка и опилки	т	0,36
3. Нефтепродукты и газообразное топливо			
3.1	Мазут топочный	т	1,37
3.2	Дизельное топливо	т	1,45
3.3	Печное бытовое топливо	т	1,45
3.4	Газ природный	1000 м ³	1,14
3.5	Газ сжиженный	т	1,57

Вид топлива	Стоимость топлива с НДС, \$US	Калорийный эквивалент	С _{тул} , \$US
Газ горючий природный, тыс. м ³	С _{газ}	1,15	С _{газ} / 1,15
Мазут, т	С _{мазут}	1,37	С _{мазут} / 1,37
Уголь, т	С _{уголь}	1,0	С _{уголь} / 1,0
Брикеты/полубрикеты, т	С _{брикет}	0,6 / 0,45	С _{брикет} / 0,6 (0,45)
Торф фрезерный/торф кусковой, т	С _{торф}	0,34 / 0,41	С _{торф} / 0,34 (0,41)
Дрова, м ³	С _{дрова}	0,266	С _{дрова} / 0,266
Отходы лесозаготовок, м ³	С _{отходы лес}	0,212	С _{отходы лес} / 0,212

2. Исходные данные для расчетов по практическому занятию 1 (задание 1)

Последняя цифра зачетной книжки	Тип парового котла	Вид топлива	КПД парового котла нетто, %	Фактический удельный расход топлива, кг у.т./Гкал	Среднечасовая тепловая нагрузка котельной, Гкал/ч
0	Е-1-0,9ГМ	газ	89,1	166,2	1,57
1	Е-1-0,9ГМ	мазут	88,0	161,5	2,60
2	Е-1/9-2г	газ	83,0	173,4	1,46
3	Е-1/9-2м	мазут	86,2	172,2	1,53
4	КВ300М	газ	77,8	164,3	2,45
5	КВ300М	мазут	74,9	163,8	1,48
6	КПА-500г	газ	80,0	169,3	1,65
7	КПА-500ж	мазут	79,0	171,1	1,59
8	ДКВР-2,5/13	газ	90,0	159,1	1,85
9	ДКВР-2,5/13	мазут	89,6	158,3	1,82

Приложение 2 (продолжение)

Предпоследняя цифра зачетной книжки	Удельный расход топлива на Лукомльской ГРЭС, кг у.т./кВт·ч	Потери электроэнергии в сетях, %	Стоимость проекта перевода парового котла в водогрейный режим, тыс. руб.	Стоимость оборудования, тыс. руб.	Число часов работы котельной в году, ч
0	0,273	7,5	120 000	120 000	4600
1	0,278	8	150 000	70 000	8000
2	0,280	9,5	260 000	60 000	5670
3	0,274	10	240 000	90 000	6780
4	0,275	11	180 000	100 000	3500
5	0,276	7,5	230 000	20 000	4900
6	0,277	8	220 000	30 000	7800
7	0,279	9,5	200 000	50 000	6900
8	0,272	10	80 000	40 000	7400
9	0,271	11	100 000	80 000	6600

3. Исходные данные для расчетов по практическому занятию 1 (задание 2)

Последняя цифра зачетной книжки	КПД нетто нового котла, %	Фактический удельный расход топлива, кг у.т./Гкал	Среднечасовая тепловая нагрузка котельной, Гкал/ч	Число часов работы котельной в году, ч	Стоимость оборудования, тыс. руб.
0	91,6	166,2	1,57	4600	120 000
1	92,0	161,5	2,60	8000	150 000
2	93,0	173,4	1,46	5670	260 000
3	91,7	172,2	1,53	6780	240 000
4	92,3	164,3	2,45	3500	180 000
5	92,7	163,8	1,48	4900	230 000
6	92,5	169,3	1,65	7800	220 000
7	91,5	171,1	1,59	6900	200 000
8	91,8	159,1	1,85	7400	80 000
9	91,4	158,3	1,82	6600	100 000

4. Исходные данные для расчетов по практическому занятию 1 (задание 3)

Последняя цифра зачетной книжки	КПД парового котла большой мощности, %	КПД парового котла малой мощности, %	Фактический удельный расход топлива, кг у.т./Гкал	Фактический отпуск тепловой энергии котельной, Гкал	Стоимость оборудования, тыс. руб.
0	89,1	91,6	166,2	10 000	120 000
1	88,0	92,0	161,5	9 600	70 000
2	83,0	93,0	173,4	6 400	60 000
3	86,2	91,7	172,2	9 400	90 000
4	77,8	92,3	164,3	7 800	100 000
5	74,9	91,7	163,8	5 600	20 000
6	80,0	92,5	169,3	6 800	30 000
7	79,0	91,5	171,1	8 900	50 000
8	90,0	92,8	159,1	9 100	40 000
9	89,6	91,4	158,3	8 800	80 000

5. Исходные данные для расчетов по практическому занятию 2 (задание 1)

Последняя цифра зачетной книжки	КПД котла фактический (мазут), %	КПД котла после перевода на газ, %	Число часов работы котельной в году, ч	Среднечасовая тепловая нагрузка котельной, Гкал/ч	Стоимость оборудования, тыс. руб.
0	89,1	91,6	4600	1,57	120 000
1	88,0	90,5	8000	2,60	70 000
2	83,0	85,4	5670	1,46	60 000
3	86,2	88,7	6780	1,53	90 000
4	77,8	80,3	3500	2,45	100 000
5	74,9	77,2	4900	1,48	20 000
6	80,0	82,5	7800	1,65	30 000
7	79,0	81,5	6900	1,59	50 000
8	90,0	92,4	7400	1,85	40 000
9	89,6	91,4	6600	1,82	80 000

6. Исходные данные для расчетов по практическому занятию 2 (задание 2)

Последняя цифра зачетной книжки	КПД котла на местных видах топлива, %	Число часов работы котельной в году, ч	Фактический удельный расход топлива (мазут), кг у.т./Гкал	Среднечасовая тепловая нагрузка котельной, Гкал/ч	Стоимость оборудования, тыс. руб.
0	91,6	4600	166,2	1,57	220 000
1	89,0	8000	161,5	2,60	170 000
2	90,0	5670	173,4	1,46	160 000
3	91,7	6780	172,2	1,53	190 000
4	89,3	6500	164,3	2,45	100 000
5	91,7	4900	163,8	1,48	120 000
6	92,0	7800	169,3	1,65	130 000
7	91,5	6900	171,1	1,59	150 000
8	91,8	7400	159,1	1,85	140 000
9	91,4	6600	158,3	1,82	180 000

7. Исходные данные для расчетов по практическому занятию 2 (задание 3)

Последняя цифра зачетной книжки	КПД котла на местных видах топлива, %	Потери электроэнергии в сетях, %	Число часов работы котельной в году, ч	Среднечасовая тепловая нагрузка котельной, Гкал/ч	Стоимость оборудования, тыс. руб.
0	91,6	7,5	4600	1,57	120 000
1	89,0	8	8000	2,60	170 000
2	90,0	9,5	5670	1,46	160 000
3	91,7	10	6780	1,53	190 000
4	89,3	11	6500	2,45	100 000
5	91,7	7,5	4900	1,48	220 000
6	92,0	8	7800	1,65	230 000
7	91,5	9,5	6900	1,59	150 000
8	91,8	10	7400	1,85	140 000
9	91,4	11	6600	1,82	180 000

8. Исходные данные для расчетов по практическому занятию 3

Последняя цифра зачетной книжки	Объем помещений, м ³	Удельный расход теплоты на отопление, ккал/ч м ³ °С	Удельный расход теплоты на вентиляцию, ккал/ч м ³ °С	Температура воздуха внутри помещения, °С	Температура воздуха снаружи помещения, °С
0	10 000	0,122	0,026	18	- 21
1	4 800	0,106	0,031	21	- 22
2	5 500	0,080	0,278	27	- 24
3	3 500	0,154	0,194	10	- 25
4	7 200	0,091	0,196	16	- 21
5	9 000	0,128	0,036	20	- 22
6	5 800	0,082	0,285	25	- 24
7	6 400	0,089	0,176	15	- 25
8	3 000	0,158	0,219	12	- 21
9	3 700	0,098	0,045	22	- 22

Приложение 8 (продолжение)

Предпоследняя цифра зачетной книжки	Продолжительность отопительного периода в году, сут	Потери теплоты по тепло-трассе, %	Удельный расход топлива действующего теплоисточника, кг у.т./Гкал	Удельный расход топлива локального теплоисточника, кг у.т./Гкал	Удельный расход электроэнергии необходимой производства 1 Гкал тепловой энергии, кВт·ч/Гкал
0	187	8,2	168,4	166,2	14,0
1	194	9,0	163,1	161,5	15,4
2	202	6,5	174,6	173,4	15,6
3	204	7,5	173,7	172,2	15,6
4	187	7,3	166,5	164,3	12,7
5	194	6,8	165,3	163,8	13,8
6	194	10,0	171,1	169,3	15,5
7	207	11,0	172,6	171,1	15,3
8	187	10,4	161,4	159,1	16,8
9	202	9,4	160,2	158,3	14,1

Приложение 8 (продолжение)

Предпоследняя цифра зачетной книжки	Удельный расход электроэнергии необходимой для производства 1 Гкал тепловой энергии на локальном источнике, кВт·ч/Гкал	Коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях	Удельный расход топлива на Лукомльской ГРЭС, кг у.т./кВт·ч	Стоимость оборудования, тыс. руб.
0	12,0	0,075	0,273	220 000
1	13,2	0,065	0,278	140 000
2	14,7	0,070	0,280	155 000
3	15,6	0,085	0,274	135 000
4	11,8	0,095	0,275	210 000
5	12,9	0,078	0,276	190 000
6	14,1	0,055	0,277	160 000
7	13,8	0,068	0,279	180 000
8	15,1	0,072	0,272	125 000
9	11,4	0,083	0,271	145 000

9. Исходные данные для расчетов по практическому занятию 4

Последняя цифра зачетной книжки	Потери теплоты по существующей теплотрассе, %	Потери по теплотрассе из предизолированных труб, %	Фактический удельный расход топлива, кг у.т./Гкал	Количество полученной тепловой энергии, Гкал
0	8,2	4,1	166,2	10 000
1	9,0	4,3	161,5	9 600
2	6,5	3,2	173,4	6 400
3	7,5	3,6	172,2	9 400
4	7,3	3	164,3	7 800
5	6,8	3,4	163,8	5 600
6	10,0	5,0	169,3	6 800
7	11,0	5,2	171,1	8 900
8	10,4	4,8	159,1	9 100
9	9,4	4,4	158,3	8 800

Приложение 9 (продолжение)

Предпоследняя цифра зачетной книжки	Удельный расход электроэнергии необходимой для производства 1 Гкал тепловой энергии, кВт·ч/Гкал	Коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях	Удельный расход топлива на Лукомльской ГРЭС, кг у.т./кВт·ч	Стоимость оборудования, тыс. руб.
0	12,0	0,075	0,273	180 000
1	13,2	0,065	0,278	170 000
2	14,7	0,070	0,280	160 000
3	15,6	0,085	0,274	190 000
4	11,8	0,095	0,275	220 000
5	12,9	0,078	0,276	210 000
6	14,1	0,055	0,277	230 000
7	13,8	0,068	0,279	250 000
8	15,1	0,072	0,272	240 000
9	11,4	0,083	0,271	195 000

ЛИТЕРАТУРА

1. Поспелова, Т. Г. Основы энергосбережения / Т. Г. Поспелова. – Минск : УП «Технопринт», 2000. – 352 с.
2. Хутская, Н. Г. Экологические аспекты энергетики и энергосбережения: методическое пособие по курсу «Основы энергосбережения» для студентов технических специальностей / Н. Г. Хутская. – Минск : БГПА, 2000. – 20 с.
3. Отопительное и нагревательное оборудование: каталог продукции, серия «Энергосбережение и энергоэффективность». – Минск : БелГИСС, 2007. – 48 с.
4. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь (Указ Президента Республики Беларусь от 17 сентября 2007 г. № 433).
5. Вентиляционно-отопительная установка с теплообменником – утилизатором на тепловых трубах. – Брест : ООО «Внедренческое предприятие Альтернатива», 2010. – 4 с.
6. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. – Минск : Комитет по энергоэффективности при СМ РБ, 2003. – 53 с.
7. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий (дополнение). – Минск : Комитет по энергоэффективности при СМ РБ, 2006. – 22 с.
8. Осветительная аппаратура: каталог продукции, серия «Энергосбережение и энергоэффективность». – Минск : БелГИСС, 2007. – 52 с.
9. СТБ 1776-2007. Энергетическое обследование потребителей топливно-энергетических ресурсов. Общие требования. – Введен 01.12.2007. – Минск : Госстандарт, 2007. – 6 с.

Учебное издание

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Методические указания

Составители:

Коротинский Виктор Андреевич,
Гаркуша Карина Эдуардовна,
Клинцова Валентина Федоровна

Ответственный за выпуск В. А. Коротинский
Редактор Н. А. Антипович
Компьютерная верстка А. И. Стебуля

Подписано в печать 14.12.2010 г. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 2,9. Тираж 120 экз. Заказ 1186.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный
технический университет».
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.