

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ. ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию в качестве
учебно-методического пособия для студентов
учреждений высшего образования по группе специальностей
74 06 «Агроинженерия», специальности
1-36 12 01 «Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники»*

Минск
БГАТУ
2023

УДК 620.9(075)
ББК 31я7
О-75

Авторы:

кандидат технических наук, доцент,
декан факультета довузовской подготовки
и профессиональной ориентации молодежи *К. Э. Гаркуша*,
старший преподаватель *В. Ф. Клинцева*,
старший преподаватель *А. Е. Андрейчик*,
старший преподаватель *К. В. Гаркуша*

Рецензенты:

кафедра энергосбережения, гидравлики и теплотехники
УО «Белорусский государственный технологический университет»
(кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой *А. С. Дмитриченко*);
первый заместитель директора, главный инженер
УП «Зеленстрой Центрального района г. Минска» *О. О. Клинцов*

Основы энергосбережения : учебно-методическое пособие /
О-75 К. Э. Гаркуша [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2023. – 108 с.
ISBN 978-985-25-0202-3.

Содержит основные теоретические положения в области энергосбережения, методику по выполнению практических, лабораторных работ, описание лабораторных установок, теплотехнических измерений и обработку их результатов, пример оформления отчета.

Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по группе специальностей 74 06 «Агроинженерия», специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники».

УДК 620.9(075)
ББК 31я7

ISBN 978-985-25-0202-3

© БГАТУ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ..... | 4 |
| Практическая работа № 1. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПО УКРУПНЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ..... | 9 |
| Практическая работа № 2. РАСЧЕТ ГОДОВЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОТЫ С УЧЕТОМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ..... | 13 |
| Практическая работа № 3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ С УЧЕТОМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ..... | 23 |
| Практическая работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАТ НА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ, СОСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ФОРМИРОВАНИЕ ПАКЕТОВ... | 29 |
| Лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА | 40 |
| Лабораторная работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА..... | 55 |
| Лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ..... | 65 |
| Лабораторная работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ | 85 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 94 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А. Исходные данные к расчетному заданию..... | 97 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Мероприятия по реализации основных направлений энергосбережения | 101 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В. Перечень основных направлений энергосбережения..... | 102 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основой нормативно-правовой базы энергоэффективности является принятый в 2015 г. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении».

В 2021 г. Советом Министров Республики Беларусь была принята «Республиканская программа по энергосбережению на период 2021–2025 гг.». Программой определены две концептуальные задачи и экономические приоритеты:

1) снижение зависимости Республики Беларусь от импортируемых энергоресурсов за счет максимально возможного вовлечения в топливно-энергетический баланс страны собственных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), включая возобновляемые источники энергии (ВИЭ);

2) сдерживание роста валового потребления ТЭР при экономическом развитии страны и сближение энергоемкости валового внутреннего продукта (ВВП) Республики Беларусь по паритету покупательной способности со среднемировым значением этого показателя.

Целями Государственной программы являются:

– сдерживание роста валового потребления ТЭР при экономическом развитии страны;

– дальнейшее увеличение использования местных ТЭР, в том числе ВИЭ.

Для достижения поставленных целей 2021–2025 гг. предусматривается реализация следующих основных мероприятий:

в электро- и теплоэнергетике:

повышение энергетической эффективности действующих энергетических мощностей Белорусской энергетической системы на основе использования инновационных энергоэффективных технологий с внедрением систем утилизации теплоты уходящих дымовых газов и вывод из эксплуатации неэффективных энергоисточников;

реализация мероприятий по увеличению доли электрической энергии в конечном потреблении энергоресурсов с уменьшением потребления первичного импортируемого углеводородного топлива;

создание автоматизированных систем управления теплоснабжающих и теплопотребляющих комплексов, включая комплексы «источники – тепловые сети – потребители», с управлением тепловыми и гидравлическими режимами;

максимальное увеличение использования низкопотенциальных вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), в том числе за счет внедрения тепловых насосов для нужд отопления и горячего водоснабжения;

развитие электро- и тепловых сетей с использованием нормативной базы, применением современного оборудования, а также автоматизированных систем управления, позволяющих снизить потери электрической и тепловой энергии при ее транспортировке, эксплуатационные издержки и повысить надежность энергоснабжения потребителей;

в промышленном секторе:

осуществление дальнейшей модернизации и технического переоснащения производств с внедрением наукоемких, ресурсо-, энергосберегающих технологий, оборудования и материалов, в том числе повышение эффективности технологических процессов с углублением автоматизации и электрификации промышленного производства;

использование электрической энергии для целей создания оптимального микроклимата в административных и производственных помещениях, в том числе инфракрасных излучателей;

увеличение использования ВЭР, в том числе утилизация теплоты оборотного водоснабжения, обеспечивающего охлаждение технологического оборудования предприятий за счет внедрения тепловых насосов для нужд отопления и горячего водоснабжения в промышленном секторе;

развитие производства электротранспорта, комплектующих и зарядной инфраструктуры для него;

в жилищно-коммунальном хозяйстве:

повышение эффективности работы действующих энергетических мощностей на основе использования инновационных энергоэффективных технологий с выводом из эксплуатации физически и морально устаревшего оборудования с обязательным внедрением систем утилизации теплоты уходящих дымовых газов;

повышение эффективности теплоснабжения путем оптимизации схем теплоснабжения населенных пунктов с ликвидацией неэффективных теплоисточников или децентрализацией теплоснабжения с ликвидацией длинных и незагруженных теплотрасс, возможного внедрения с учетом технической и экономической целесообразности

локальных современных автоматизированных электрических источников тепловой энергии, в том числе тепловых насосов, для нужд отопления и горячего водоснабжения;

модернизация систем освещения мест общего пользования жилых домов с внедрением энергоэффективных осветительных устройств, в том числе светодиодных, и автоматических систем управления освещением;

ввод в эксплуатацию только энергоэффективного котельного оборудования, работающего на природном газе, с удельным расходом условного топлива на отпуск тепловой энергии не более 155 кг у. т./Гкал, на древесном топливе с механизированной топливоподачей с удельным расходом условного топлива не более 170 кг у. т./Гкал;

внедрение современных методов диагностики состояния сетей водоснабжения и водоотведения, автоматизированных систем управления технологическими процессами;

оптимизация потребления теплоты путем поэтапного проведения комплексной тепловой модернизации эксплуатируемого многоквартирного жилищного фонда с привлечением средств собственников жилья;

повышение осведомленности общественности и дальнейшее вовлечение населения в процесс энергосбережения и повышения эффективности использования ТЭР в жилом комплексе.

модернизация систем наружного (уличного) освещения населенных пунктов с внедрением энергоэффективных светодиодных осветительных устройств и систем диспетчеризации;

поэтапное оснащение эксплуатируемых многоквартирных жилых домов приборами индивидуального (поквартирного) учета и регулирования расхода тепловой энергии, автоматизированными системами комплексного контроля и учета энергоресурсов (тепловой энергии, электроэнергии, газа), холодной и горячей воды;

в строительстве и производстве строительных материалов:

проектирование и строительство только энергоэффективных зданий, в том числе с применением инновационных технологий использования возобновляемых источников энергии;

оптимизация схем теплоснабжения при новом строительстве (возведении многоквартирного жилищного фонда) с сокращением объемов строительства коммуникаций (инфраструктуры) за счет использования электрической энергии для нужд отопления и горячего водоснабжения, в том числе посредством внедрения компрессионных тепловых насосов;

использование топлива из твердых коммунальных отходов (RDF-топлива), нефтяного кокса и торфяного топлива на предприятиях по производству цемента;

в сельском хозяйстве:

внедрение энергоэффективных автоматизированных технологий и оборудования, повышение эффективности действующих технологических процессов в животноводстве и растениеводстве, производстве и переработке сельскохозяйственной продукции;

развитие переработки отходов животноводства и обрабатывающих предприятий с получением чистых видов энергии;

перевод с учетом технологической и экономической целесообразности теплоэнергетического оборудования, работающего на природном газе, на использование электрической энергии;

автоматизация технологических процессов и внедрение автоматизированных систем управления потреблением ТЭР;

использование гелиоустановок для интенсификации процессов сушки продукции и подогрева воды в сельскохозяйственном производстве;

в транспорте:

развитие сегмента электромобилей, гибридных автомобилей и зарядной сети, электрификация городского пассажирского транспорта в целях замещения использования углеводородного топлива;

дальнейшая электрификация участков железной дороги;

обновление парка механических транспортных средств, машин, механизмов и оборудования, вывод из эксплуатации изношенных транспортных средств, машин и механизмов;

повышение квалификации для профессиональных водителей («экологичное вождение»);

в нефтехимическом комплексе:

реализация мероприятий, направленных на создание новых и модернизацию действующих производственных мощностей, с использованием лучших доступных современных мировых технологий, увеличение глубины и количества переделов нефтехимической продукции;

снижение удельных норм расхода ТЭР за счет обеспечения эффективности производственной деятельности;

максимальное увеличение использования вторичных энергетических ресурсов, в том числе за счет реконструкции и модернизации, действующих энергоисточников с повышением энергоэффективности;

в бюджетной сфере:

повышение энергоэффективности на объектах социальной сферы за счет реализации мероприятий по их комплексной тепловой модернизации;

внедрение концепции энергосервисной деятельности (ЭСКО) в государственном секторе;

внедрение гелиоводонагревателей в системах горячего водоснабжения;

информационное обеспечение.

Цель практикума – обеспечить студентов минимальными теоретическими материалами, необходимыми для самостоятельного и качественного выполнения практических и лабораторных работ, оформления отчета и последующей защиты.

В процессе подготовки к лабораторным и практическим работам необходимо изучить пособие. Отчеты по работам оформляются в отдельной тетради, практические работы выполняются по вариантам, номер варианта соответствует двум последним цифрам номера зачетной книжки.

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

Практическая работа № 1

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПО УКРУПНЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Цель работы:

1. На практике усвоить теоретические сведения о тепловых потребителях.
2. Приобрести практические навыки расчета тепловых нагрузок систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, годовых расходов теплоты.

Основные сведения

Расчетные максимальные расходы теплоты (нагрузки) потребителей определяют по данным конкретных проектов нового строительства. При отсутствии проектов отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий и сооружений, расходы теплоты определяются:

- для предприятий – по укрупненным нормам развития основного (профильного) проектирования, либо по проектам аналогичных производств;
- для жилых районов городов и других населенных пунктов – по укрупненным показателям и нормам расхода теплоты и теплоносителя.

Тепловые потребители и тепловые нагрузки подразделяются на сезонные и круглогодичные.

Сезонными тепловыми потребителями являются системы отопления и вентиляции, которые характеризуются следующими особенностями:

- а) потребляемая тепловая мощность в холодный период года изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха;
- б) потребление теплоты в течение суток практически не изменяется, что объясняется теплоустойчивостью помещений.

Круглогодичными тепловыми потребителями являются системы горячего водоснабжения и технологическое оборудование (моечные машины, варочные котлы, автоклавы, емкости для подогрева растворов и рабочих сред и др.). Для данного типа потребителей характерно значительное колебание расхода теплоты в течение суток.

Максимальный расход теплоты на отопление Φ_o , кВт, и вентиляцию Φ_B , кВт, общественных, вспомогательных и производственных зданий определяется по удельным характеристикам:

$$\Phi_o = q_o V (t_B - t_{н.о}) 10^{-3}; \quad (1.1)$$

$$\Phi_B = q_B V (t_B - t_{н.о}) 10^{-3}, \quad (1.2)$$

где q_o , q_B – удельные (отопительная и вентиляционная) характеристики здания, Вт/(м³·°C);

V – строительный объем здания по наружному обмеру, м³;

t_B – расчетная температура внутреннего воздуха, °C;

$t_{н.о}$ – расчетная температура наружного воздуха при проектировании отопления, °C.

Удельные (отопительная и вентиляционная) характеристики здания, строительный объем и расчетная температура внутреннего воздуха приведены в табл. А.1, значение расчетной температуры наружного воздуха – в табл. А.2 приложения А.

Расход теплоты на горячее водоснабжение общественных, административно-бытовых и производственных зданий определяют по нормам расхода горячей воды. Так как данная нагрузка является неравномерной в течение суток, то для горячего водоснабжения в отопительный период определяют среднюю тепловую мощность $\Phi_{г.в}$, кВт:

$$\Phi_{г.в} = \frac{1,2ma(55 - t_{х.з})c_B}{24 \cdot 3600}, \quad (1.3)$$

где m – расчетное количество людей (принимается по табл. А.1 приложения А);

a – суточная норма расхода воды температурой 55 °C в общественных и производственных зданиях из расчета на одного работающего, л/сут;

$t_{х.з}$ – температура холодной воды ($t_{х.з} = 5$ °C);

c_B – удельная теплоемкость воды ($c_B = 4,187$ кДж/(кг·°C)).

Норму расхода воды a на горячее водоснабжение из расчета на одного работающего в производственных зданиях рекомендуют принимать:

- в административных зданиях – 7 л/сут;
- в цехах с тепловыделениями – 24 л/сут;
- в остальных цехах – 11 л/сут.

Расход теплоты системами горячего водоснабжения в летний (неотопительный) период, кВт:

$$\Phi_{Г.В}^л = \alpha \Phi_{Г.В} \frac{55 - t_{х.л}}{55 - t_{х.з}}, \quad (1.4)$$

где α – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотопительный период (для жилых и общественных зданий принимают 0,8);

$t_{х.л}$ – температура холодной воды в неотопительный период (принимают равной +15 °С).

Годовые расходы теплоты

Годовой расход теплоты, ГДж, на отопление зданий, системы отопления которых работают круглосуточно:

$$Q_o^Г = 3,6 \Phi_o z_o n_o \frac{t_B - t_{ср.о}}{t_B - t_{н.о}} 10^{-3}, \quad (1.5)$$

где z_o – усредненное число часов работы системы отопления в течение суток (принимают 24 ч);

n_o – продолжительность отопительного периода, сут (принимается по табл. А.2 приложения А);

$t_{ср.о}$ – средняя температура наружного воздуха в течение отопительного периода, °С (принимается по табл. А.2 приложения А).

Годовой расход теплоты на вентиляцию зданий, ГДж:

$$Q_B^Г = 3,6 \Phi_B z_B n_o \frac{t_B - t_{ср.о}}{t_B - t_{н.о}} 10^{-3}, \quad (1.6)$$

где z_B – усредненное число часов работы системы вентиляции в течение суток (принимается по табл. А.1 приложения А).

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение, ГДж:

$$Q_{г.в}^г = 3,6 \left[\Phi_{г.в}^{ср} z_o n_o + \Phi_{г.в}^л z_o (350 - n_o) \right] 10^{-3}, \quad (1.7)$$

где $\Phi_{г.в}^{ср}$ и $\Phi_{г.в}^л$ – средние расходы теплоты на горячее водоснабжение в отопительный и неотопительный периоды, кВт.

Суммарный годовой расход теплоты:

$$Q^г = Q_o^г + Q_в^г + Q_{г.в}^г. \quad (1.8)$$

Затраты в денежном выражении, р., можно определить, зная тариф на тепловую энергию, по следующему выражению:

$$S = Q^г T_г, \quad (1.9)$$

где $T_г$ – тариф на тепловую энергию, р./ГДж (численное значение выдается преподавателем).

Задания

1. Определить тепловые нагрузки систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения по укрупненным показателям.
 2. Определить годовые расходы теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение здания.
 3. Определить годовые затраты теплоты в денежном выражении.
- Данные для расчета по согласованию с преподавателем принимаются по табл. А.1, А.2 приложения А.

Контрольные вопросы

1. Какими бывают виды тепловых потребителей?
2. Какие тепловые потребители относятся к «сезонным»?
3. Какие тепловые потребители относятся к «круглогодичным»?
4. Как определяют максимальные расходы теплоты общественных, вспомогательных и производственных зданий?
5. Как определяют годовые расходы теплоты на отопление и вентиляцию зданий?
6. Как определяют годовой расход теплоты на горячее водоснабжение?

Практическая работа № 2

РАСЧЕТ ГОДОВЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОТЫ С УЧЕТОМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Цель работы:

1. Приобрести практические навыки по расчету годовых расходов теплоты с учетом энергосберегающих мероприятий.
2. Усвоить общие теоретические сведения работы тепловых пунктов общественных и административных зданий с установленными регуляторами, позволяющими автоматически поддерживать расход теплоты.

Основные сведения

Экономия теплоты на отопление может быть достигнута за счет утепления входных дверей, устранения неплотностей по периметру дверных и оконных коробок, замены окон стеклопакетами, утепления наружных стен, утепления ниш под радиаторы с установкой отражающих экранов, утепления чердаков или кровель.

Нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий устанавливаются строительными нормами (СН 2.04.02–2020 «Здания и сооружения. Энергетическая эффективность»). Для их соблюдения применяются высокоэффективные теплоизоляционные материалы.

Значительная экономия теплоты при сравнительно небольших капиталовложениях обеспечивается за счет автоматизации регулирования. При установлении оптимального режима работы экономия теплоты может составить 20 % и более годового потребления без нарушения теплового режима здания и санитарных норм.

Реконструкция окон с заменой остекления в двойных переплетах стеклопакетами

Стеклопакет представляет собой соединенные на определенном расстоянии друг от друга 2 или 3 стекла. В качестве материала, обеспечивающего требуемое расстояние между стеклами, применяется алюминиевый перфорированный профиль коробчатого сечения, внутрь которого засыпается зернистый осушитель воздуха –

силикогель. Из пространства между стеклами может быть откачан воздух, а пространство заполнено инертным газом, в основном аргоном. Рама стеклопакета может быть выполнена из древесины или ПВХ. Древесина обрабатывается специальной защитной пропиткой от влаги, насекомых, воздействия солнца. В окнах весьма точная подгонка деталей, коробка и створки со временем почти не дают усадки. Окна из ПВХ-профиля очень плохо пропускают воздух, что приводит к повышению влажности в помещениях и ограничивает их применение в жилых зданиях. Для решения проблемы воздухопроницаемости изготовители предлагают различные варианты: вентиляционные клапаны, специальное положение ручки и т. д.

При выборе конструктивного исполнения окон учитывают не только архитектурно-строительные особенности здания, его функциональное назначение, экономические возможности, но и руководствуются установленным в республике показателем нормативного значения приведенного сопротивления теплопередаче, то есть теплотехническими свойствами окна. В стеклопакетах с двойным остеклением различных конструкций показатель термического сопротивления ниже требуемого значения, а в трехстекольном окне – соответствует действующим нормам. Наибольший эффект достигается в результате использования в стеклопакете одного из стекол с селективным покрытием, способным отражать тепловые волны внутрь помещения и одновременно пропускать снаружи солнечное тепловое излучение.

По данным специалистов ГП «Институт НИПТИС им. Атаева С. С.» доля потерь теплоты через окна зданий, построенных до 1994 г., составляет приблизительно 16 %. Экономия теплоты при применении тройного стеклопакета по сравнению с двойным остеклением в деревянных переплетах по расчету (с учетом добавочного годового расхода теплоты на нагревание наружного воздуха, поступающего путем инфильтрации через щели ограждающих конструкций оконных проемов) составляет 52 %–58 %. Таким образом, за счет данного мероприятия годовые затраты теплоты на отопление можно снизить на $16 \% \cdot 0,58 = 9,3 \%$.

Годовой расход теплоты с учетом установки стеклопакетов, ГДж:

$$Q_{\text{от}}^{\Gamma} = (1 - 0,093)Q_0^{\Gamma}. \quad (2.1)$$

Экономия теплоты на отопительные нужды с учетом данного мероприятия, ГДж, составит

$$\Delta Q_{\text{ост}}^{\Gamma} = Q_0^{\Gamma} - Q_{\text{ост}}^{\Gamma} \cdot \quad (2.2)$$

Экономия в денежном выражении (годовой экономический эффект) составит, р.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ост}}^{\Gamma} = \Delta Q_{\text{ост}}^{\Gamma} T_{\Gamma} \cdot \quad (2.3)$$

где T_{Γ} – тариф на тепловую энергию, р./ГДж (численное значение выдается преподавателем).

Утепление наружных стен

В Беларуси на протяжении ряда лет успешно применяется легкая штукатурная система утепления «Термошуба», все компоненты которой производятся отечественными заводами.

Термошуба – это легкий теплоизоляционный материал с защитной тонкослойной армированной штукатуркой, прошедший необходимые испытания и выдержавший расчетные требования. Данным материалом утепляют ранее построенные здания (проводят так называемую тепловую модернизацию), что позволяет, помимо прочего, улучшить их внешний вид, а в ряде случаев защитить разрушающиеся фасады. Термошубу применяют также для утепления вновь строящихся зданий.

По оценке специалистов доля потерь теплоты через наружные стены старых зданий составляет около 42 %. Возможная экономия теплоты при утеплении стен в соответствии с требуемыми нормами может достигать 60 %. Таким образом, за счет данного энергосберегающего мероприятия годовые затраты теплоты на отопление можно снизить на $42 \% \cdot 0,6 = 25 \%$.

Следует учесть, что замена стеклопакетов уже позволила сократить некоторое количество теплоты на отопление $\Delta Q_{\text{ост}}^{\Gamma}$. Поэтому для определения годового расхода с учетом утепления наружных стен, ГДж, процент экономии следует определять не от расчетного годового расхода теплоты Q_0^{Γ} , а от годового расхода с учетом установки стеклопакетов $Q_{\text{ост}}^{\Gamma}$.

Годовой расход теплоты с учетом утепления наружных стен, ГДж:

$$Q_{\text{нар.ст}}^{\Gamma} = (1 - 0,25)Q_{\text{ост}}^{\Gamma} \quad (2.4)$$

Экономия теплоты на отопительные нужды с учетом данного мероприятия составит, ГДж:

$$\Delta Q_{\text{нар.ст}}^{\Gamma} = Q_{\text{ост}}^{\Gamma} - Q_{\text{нар.ст}}^{\Gamma} \quad (2.5)$$

Годовой экономический эффект составит, р.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{нар.ст}}^{\Gamma} = \Delta Q_{\text{нар.ст}}^{\Gamma} T_{\Gamma} \quad (2.6)$$

Утепление ниш под радиаторы с установкой отражающих экранов

Для размещения радиаторов под окнами внутри зданий сооружают ниши. Это позволяет улучшить архитектурный вид устанавливаемых отопительных приборов и увеличить полезную площадь помещения. В месте расположения ниши стена имеет меньшую толщину, при этом температура воздуха в зоне ниши выше требуемой температуры (+18 °С) на 10 °С–15 °С. Таким образом, ниши являются своеобразными мостиками холода и являются зонами повышенных теплопотерь. Для улучшения теплозащитных свойств наружных ограждений поверхность ниш подвергают тепловой защите, а для направления теплового потока внутрь помещения устанавливают с зазором между стенкой и радиатором отражающую поверхность из алюминиевой фольги или зеркальной иллюминизированной пленки.

Доля потерь теплоты через ниши зависит от их количества и размеров. В среднем утепление ниш под радиаторы позволяет экономить до 2,5 %–3,0 % теплоты на отопление. Расчет годовой потребности теплоты проводится аналогично расчету утепления наружных стен с учетом предыдущего энергосберегающего мероприятия.

Годовой расход теплоты с учетом утепления ниш под радиаторы, ГДж:

$$Q_{\text{ниши}}^{\Gamma} = (1 - 0,03)Q_{\text{нар.ст}}^{\Gamma} \quad (2.7)$$

Экономия теплоты на отопительные нужды с учетом данного мероприятия составит, ГДж:

$$\Delta Q_{\text{ниши}}^{\Gamma} = Q_{\text{нар.ст}}^{\Gamma} - Q_{\text{ниши}}^{\Gamma} \quad (2.8)$$

Годовой экономический эффект составит, р.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ниши}}^{\Gamma} = \Delta Q_{\text{ниши}}^{\Gamma} T_{\Gamma} \quad (2.9)$$

Утепление кровли

При недостаточном значении термического сопротивления теплопередаче покрытия проводят дополнительную его теплоизоляцию различного рода утеплителями. По оценке специалистов экономия теплоты при утеплении кровли по сравнению со старыми утеплителями составляет 75 %. При доле теплопотерь через покрытие в размере 10 % снижение расхода теплоты на отопление составляет 7,5 %, по сравнению с вариантом без утепления. Расчет годовой потребности теплоты на отопление с учетом утепления кровли проводится аналогично другим мероприятиям.

Годовой расход теплоты с учетом утепления кровли, ГДж:

$$Q_{\text{кровли}}^{\Gamma} = (1 - 0,075)Q_{\text{ниши}}^{\Gamma} \quad (2.10)$$

Экономия теплоты на отопительные нужды с учетом данного мероприятия составит, ГДж:

$$\Delta Q_{\text{кровля}}^{\Gamma} = Q_{\text{ниши}}^{\Gamma} - Q_{\text{кровля}}^{\Gamma} \quad (2.11)$$

Годовой экономический эффект составит, р.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{кровля}}^{\Gamma} = \Delta Q_{\text{кровля}}^{\Gamma} T_{\Gamma} \quad (2.12)$$

Автоматизация теплопотребления

В индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) общественных и административных зданий устанавливают регуляторы расхода, позволяющие автоматически поддерживать расход теплоты в системах отопления по заданному отопительному графику в зависимости от температуры наружного воздуха, автоматически регулировать температуру воды в системах горячего водоснабжения и температуру воздуха в системах вентиляции. Также регуляторы позволяют автоматически снижать расход теплоты на отопление в нерабочее время, выходные и праздничные дни.

В большинстве неутепленных зданий температурный режим не соответствует нормам. Повысить температуру воздуха в помещениях зачастую не удастся по сугубо техническим причинам (объект находится на концевом участке тепловой сети и др.). Установка автоматики в таком случае не даст существенной экономии теплоты, так как при недостаточном отоплении снижение расхода сетевой воды приведет к еще более некомфортным условиям.

После проведения тепловой модернизации теплопотери в здании снизятся, поэтому для регулировки температурного режима следует в обязательном порядке устанавливать систему автоматического регулирования отопления.

Принцип работы регулятора для контура отопления заключается в следующем. Блок управления с помощью датчиков температуры определяет температуру теплоносителя, поступающего в систему отопления, и температуру наружного воздуха и формирует управляющий сигнал на открытие регулирующего клапана, когда значение температуры теплоносителя ниже требуемого значения. Если значение температуры выше требуемого, то клапан прикрывается. Блок регулятора имеет возможность чередовать режимы поддержания расчетной (+18 °С) и пониженной температуры (при которой не происходит замораживания воды в трубопроводах системы отопления) по заранее установленной программе. Так как регулятор снабжен таймером времени, то заранее можно задать месяцы, дни недели и часы, когда требуется поддерживать пониженный расход теплоты и, соответственно, пониженную температуру воздуха в помещении. Это нерабочие часы рабочих дней, выходные и праздничные дни.

Принцип работы регулятора для контура горячего водоснабжения заключается в том, что блок управления с помощью датчика температуры определяет температуру горячей воды на выходе из теплообменника и сравнивает ее с заданным значением. Когда значение температуры горячей воды ниже требуемой, регулирующий клапан открывается; когда выше требуемой – закрывается. Блок управления имеет функцию чередования режимов поддержания комфортной и пониженной температуры в системе горячего водоснабжения по заранее установленной недельной программе.

Принцип работы регулятора для системы вентиляции схож с принципом работы для системы отопления, но поддерживается на заданном уровне температура воздуха в помещении.

Экономия теплоты в системе отопления при применении автоматического регулирования может быть достигнута за счет того, что в нерабочее время до 30 % снижается расход теплоты в результате прикрытия регулирующего клапана и, соответственно, уменьшения расхода горячей сетевой воды. При этом годовой расход теплоты будет складываться из трех составляющих:

- расхода в рабочие часы рабочих дней;
- расхода в нерабочие часы рабочих дней;
- расхода в выходные и праздничные дни.

Поэтому необходимо определить количество рабочих дней на протяжении отопительного периода. Для этого по календарю, вычитая субботы и воскресения, а также даты государственных праздников, приходящиеся на рассматриваемый период, определяем количество рабочих дней отопительного сезона: $n_{\text{оп}} = n_{\text{o}} - n_{\text{опр}}$. В зависимости от числа рабочих смен число часов работы системы отопления может быть $z_{\text{р}} = 8; 16$ или 24 ч. Соответственно, нерабочие часы $z_{\text{нр}} = 16; 8$ ч.

Так как удельная характеристика на отопление $q_{\text{о3}}$ после замены окон и утепления наружных ограждений уменьшится, то необходимо найти новое значение максимального расхода теплоты на отопление $\Phi_{\text{о3}}$. Как следует из выражения (1.5) годовой расход Q_{o}^{Γ} прямо пропорционален Φ_{o} . Следовательно

$$Q_{\text{o}}^{\Gamma} / Q_{\text{кровли}}^{\Gamma} = \Phi_{\text{o}} / \Phi_{\text{о3}}. \quad (2.13)$$

Годовой расход теплоты на отопление с учетом автоматизации, ГДж, можно вычислить по следующему выражению:

$$Q_{\text{оа}}^{\Gamma} = 3,6 (\Phi_{\text{оэ}z_{\text{р}}} n_{\text{опр}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н.о}}} + 0,7 \Phi_{\text{оэ}z_{\text{нр}}} n_{\text{опр}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н.о}}} + 0,7 \Phi_{\text{оэ}z_{\text{о}}} n_{\text{опр}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н.о}}}) 10^{-3}. \quad (2.14)$$

Экономия теплоты на отопительные нужды с учетом данного мероприятия составит, ГДж:

$$\Delta Q_{\text{оа}} = Q_{\text{кровли}}^{\Gamma} - Q_{\text{оа}}^{\Gamma}. \quad (2.15)$$

Годовой экономический эффект составит, р.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{оа}} = \Delta Q_{\text{оа}} \cdot T_{\Gamma}. \quad (2.16)$$

Экономия теплоты в системе вентиляции при применении автоматического регулирования может быть достигнута за счет того, что в рабочее время, снижается расход теплоты за счет прикрытия регулирующего клапана (в среднем на 15 %).

Годовой расход теплоты на вентиляцию зданий с учетом автоматизации, ГДж, можно определить по следующему выражению:

$$Q_{\text{ва}}^{\Gamma} = 3,6 (0,85 \Phi_{\text{в}z_{\text{в}}} n_{\text{о}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н.о}}}) 10^{-3}. \quad (2.17)$$

Экономия теплоты на вентиляционные нужды составит, ГДж:

$$\Delta Q_{\text{ва}} = Q_{\text{в}}^{\Gamma} - Q_{\text{ва}}^{\Gamma}. \quad (2.18)$$

Годовой экономический эффект составит, р.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ва}} = \Delta Q_{\text{ва}} \cdot T_{\Gamma}. \quad (2.19)$$

Экономия теплоты в системе горячего водоснабжения может быть достигнута за счет того, что в течение суток расход теплоносителя снижается на 20 % в результате прикрытия автоматического регулирующего клапана и замены проточного водонагревателя пластинчатым теплообменником.

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение, как с учетом автоматизации, так и замены водонагревателя, ГДж, можно определить по следующему выражению:

$$Q_{\text{ГВА}}^{\text{Г}} = 3,6 \cdot 0,8 [\Phi_{\text{Г.В}}^{\text{СР}} z_o n_o + \Phi_{\text{Г.В}}^{\text{Л}} z_o (350 - n_o)] 10^{-3}. \quad (2.20)$$

Экономия теплоты на нужды горячего водоснабжения составит, ГДж:

$$\Delta Q_{\text{ГВА}} = Q_{\text{ГВ}}^{\text{Г}} - Q_{\text{ГВА}}^{\text{Г}}. \quad (2.21)$$

Годовой экономический эффект составит, р.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ГВА}} = \Delta Q_{\text{ГВА}} \cdot T_{\text{Т}}. \quad (2.22)$$

Установка термостатических регуляторов на отопительных приборах и балансировочных клапанов на стояках

Снижение теплопотребления на нужды отопления за счет утепления наружных ограждающих конструкций и внедрения автоматики в ИТП (местное регулирование) должно в обязательном порядке сопровождаться повышением эффективности работы системы отопления в помещениях (индивидуальное регулирование). Термостатические регуляторы (ТР) необходимо установить на нагревательных приборах в каждом помещении с целью поддержания заданного комфортного температурного режима. Балансировочные клапаны на стояках позволяют произвести гидравлическую увязку системы отопления при работающих ТР.

Согласно Методическим рекомендациям по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий экономия тепловой энергии за счет поддержания комфортной температуры и ликвидации весенне-осенних перетоков в помещениях общественных зданий принимается на основе практических наработок и составляет до 10 % от годового расхода теплоты на отопление (примем 7,5 %). При расчете экономии теплоты за счет

установки ТР и балансировки расчетное значение годового расхода теплоты на отопление следует принимать равным значению, достигнутому после выполнения мероприятий по замене окон, утеплению наружных стен и ниш под радиаторы, кровли и установки автоматики отопления в ИТП.

Годовой расход теплоты с учетом установки термостатических регуляторов и балансировочных клапанов, ГДж:

$$Q_{\text{ТР}}^{\Gamma} = (1 - 0,075)Q_{\text{ОА}}^{\Gamma} . \quad (2.23)$$

Экономия теплоты на отопительные нужды с учетом данного мероприятия составит, ГДж:

$$\Delta Q_{\text{ТР}}^{\Gamma} = Q_{\text{ОА}}^{\Gamma} - Q_{\text{ТР}}^{\Gamma} . \quad (2.24)$$

Годовой экономический эффект составит, р.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ТР}}^{\Gamma} = \Delta Q_{\text{ТР}}^{\Gamma} \cdot T_{\text{Т}} . \quad (2.25)$$

Задание

Определить годовые расходы, экономию теплоты, годовой экономический эффект энергосберегающих мероприятий.

Данные для расчета по согласованию с преподавателем принимаются по табл. А.1, А.2 приложения А.

Контрольные вопросы

1. Какими мероприятиями может быть достигнута экономия теплоты на отопление зданий?
2. Как определяется годовой расход теплоты энергосберегающих мероприятий?
3. Как определяется экономия теплоты энергосберегающих мероприятий?
4. Как определяется годовой экономический эффект энергосберегающих мероприятий?
5. Каким образом происходит работа регуляторов для контуров отопления, вентиляции и горячего водоснабжения?
6. От каких показателей зависит годовой расход теплоты системы отопления при автоматизации теплопотребления?

Практическая работа № 3

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ С УЧЕТОМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Цель работы: приобрести практические навыки по расчету годовых расходов электроэнергии с учетом замены неэффективно работающих источников света.

Основные сведения

В осветительных установках ежегодно расходуется в среднем около 13 %–14 % производимой электроэнергии, поэтому более эффективное ее расходование – масштабная и значимая задача. Экономия электрической энергии в светотехнических установках не должна достигаться за счет отключения части осветительных приборов или отказа от искусственного освещения при недостаточной освещенности, в том числе и от естественного света; необходимо безукоризненно соблюдать требования норм освещенности. Следует помнить, что потери от плохого освещения значительно превосходят стоимость сэкономленной таким способом электрической энергии.

Приоритетный и наиболее эффективный способ уменьшения установленной мощности осветительной установки – использование источников с высокой световой отдачей.

Экономия электрической энергии может быть получена за счет:

- совершенствования систем освещения;
- использования эффективных источников света;
- правильного выбора и рационального размещения светильников;
- применения новых осветительных приборов и устройств;
- организации эффективного управления освещением и его автоматизации;
- рационального построения осветительных сетей;
- введения планомерной и качественной эксплуатации осветительных установок.

Также экономический эффект от установки энергосберегающих источников света со светодиодными лампами достигается за счет:

- повышения излучающей способности ламп с использованием более высокой частоты колебания электрического тока и,

как следствие, снижения мощности ламп при сохранении освещенности;

– увеличения срока службы ламп.

В общественных и производственных помещениях должно обеспечиваться отключение рядов осветительных приборов, расположенных параллельно окнам, что может дать снижение на 5 %–10 %. В помещениях с совместным (естественным и искусственным) освещением рекомендуется производить включение и отключение отдельных групп осветительных приборов в зависимости от уровня освещенности, создаваемого естественным светом в различных зонах помещения. Эта мера дает экономию электрической энергии порядка 10 %–20 %.

При определении годовой экономии электрической энергии от замены ламп необходимо учитывать их светотехнические характеристики и характеристики заменяемых ламп. Результаты сравнения приведены в табл. 3.1. Здесь же приведены предлагаемые для замены светильники.

Таблица 3.1

Характеристики ламп для замены

| Лампа | Мощность, Вт | Световой поток, лм | Светоотдача, лм/Вт |
|---|--------------|--------------------|--------------------|
|  Лампа накаливания Б 230-240-60-1 E27 | 60 | 710 | 11,8 |
|  Лампа светодиодная SBL-A60D-11- 30K-E27 | 11 | 850 | 77,3 |

Окончание таблицы 3.1

| Лампа | Мощность, Вт | Световой поток, лм | Светоотдача, лм/Вт |
|---|--------------|--------------------|--------------------|
|  Лампа люминесцентная T8/640-36W | 36 | 2650 | 73,6 |
|  Лампа светодиодная NLL-G-T8-18-230-4K,6.5K-G13-1200мм | 18 | 1700 | 94,4 |
|  Светильник ЛПО 2×36 TLPL236 | 2×36 | 3500 | 48,6 |
|  Светильник светодиодный Spо-5-40-6k | 1×36 | 2880 | 80,0 |
|  Светильник ЛВО 4×18-CSVT | 4×18 | 2700 | 37,5 |
|  Светильник светодиодный серии «Эконом» | 32 | 3000 | 93,8 |

Светодиоды в настоящее время доступны по цене, они потребляют значительно меньше энергии, нежели лампы накаливания и галогенные, и обеспечивают достойное качество освещения. В светильниках

светодиодная лампа LED может быть представлена как в качестве привычной лампы с цоколем и знакомой формы, так и может быть неотъемлемой частью светового прибора (это так называемый светодиодный модуль, расположенный на плате; обычно он подлежит замене только вместе с самим светильником).

Светодиодными модулями комплектуют светильники самой разной формы и предназначения. Правильно сконструированные светодиодные световые приборы обеспечивают высокую однородность освещения. Это цифровые устройства, параметры которых можно точно регулировать с помощью управляющих систем. С их помощью можно создавать направленный источник света, имеющий более высокую эффективность по сравнению со световыми приборами, излучающими свет во всех направлениях. Энергоэффективность светодиодов может быть до 5 раз выше, чем у ламп накаливания и галогенных. Полезный срок службы светодиодов в несколько раз выше, чем у традиционных источников света. Светодиоды не производят ИК-излучение и могут устанавливаться там, где ИК-нагрев нежелателен.

В отличие от люминесцентных ламп, светодиоды не излучают вредных ультрафиолетовых лучей, разрушающих некоторые материалы и обесцвечивающих краски. Светодиодные источники света могут работать при низких температурах и вибрации. RGB-светильники могут воспроизводить миллионы цветов и иметь различные цветовые температуры без использования светофильтров. Светодиодные световые приборы безынерционные (то есть не требуют времени для прогрева или отключения).

В Республике Беларусь применяются светильники с энергосберегающими светодиодными лампами производства различных отечественных предприятий.

Замена ламп накаливания и люминесцентных ламп источниками света со светодиодными лампами

Для расчета экономии электроэнергии от применения данного мероприятия необходимо сравнить годовые расходы электроэнергии по двум вариантам.

Годовой расход электроэнергии, кВт·ч, определяется по следующему выражению:

$$W_{\text{осв}} = P T k_{\text{с}} k_{\text{доп}}, \quad (3.1)$$

где P – суммарная установленная мощность ламп, кВт;

T – время работы светильника за расчетный период (можно принять согласно рекомендациям табл. 3.2), ч/год;

k_c – коэффициент спроса (можно принять равным 0,7);

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное число часов работы светильников в пасмурное время (можно принять равным 1,02–1,05).

Суммарная установленная мощность светильников зависит от количества ламп и их мощности, кВт:

$$P = P_{\text{л}} n, \quad (3.2)$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, кВт;

n – количество ламп, шт.

Таблица 3.2

Максимум осветительной нагрузки при освещении
общепроизводственных объектов

| Наименование потребителей | T , ч/год |
|-------------------------------------|-------------|
| Административные помещения (здания) | 1150 |
| Гаражи, мастерские, санузлы | 600 |
| Наружное освещение | 3500 |

Экономия электрической энергии при замене ламп, кВт·ч, за год составит

$$\Delta W = W_{\text{лн(лл)}} - W_{\text{св.д}}, \quad (3.3)$$

где $W_{\text{лн(лл)}}$ – годовой расход электроэнергии при использовании ламп накаливания (ЛН) или люминесцентных ламп (ЛЛ), кВт·ч;

$W_{\text{св.д}}$ – годовой расход электроэнергии при использовании светодиодных ламп, кВт·ч.

Экономия в денежном выражении, р.:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{св.д}} = \Delta W \cdot T_{\mathcal{E}}, \quad (3.4)$$

где $T_{\mathcal{E}}$ – тариф на электроэнергию, р./(\text{кВт}\cdot\text{ч}) (численное значение выдается преподавателем).

Задания

1. Определить годовые расходы и экономию электрической энергии на освещение здания с учетом замены светильников.

2. Определить экономию электроэнергии при замене светильников в денежном выражении.

Данные для расчета по согласованию с преподавателем принимаются по табл. А.1, А.2 приложения А.

Контрольные вопросы

1. С помощью каких мероприятий может быть получена экономия электрической энергии при освещении зданий?

2. Какие вы знаете преимущества светодиодных ламп?

3. Как определяется годовой расход электрической энергии при проведении энергосберегающих мероприятий по освещению?

4. Как определяется экономия электроэнергии при проведении мероприятий по замене светильников?

5. Как определяется экономия электроэнергии в денежном выражении?

Практическая работа № 4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАТ
НА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ,
СОСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ МЕРОПРИЯТИЙ
ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ФОРМИРОВАНИЕ ПАКЕТОВ

Цель работы:

1. Приобрести практические навыки по расчету затрат на энергосберегающие мероприятия.
2. Научиться составлять план мероприятий по энергосбережению и формировать пакеты энергосберегающих мероприятий.
3. Приобрести практические навыки по расчету ежемесячных выплат заемных средств.

Методика расчета

Замена окон

Удельную стоимость энергоэффективного стеклопакета (тройное остекление) с достигнутым термическим сопротивлением $R_{т\text{ ок}} = 1,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ можно принять равной $C_{\text{ост}} = 125 \text{ дол. США на } 1 \text{ м}^2$.

Затраты по замене окон, р., можно определить по выражению

$$S_{\text{ост}} = C_{\text{ост}} A_{\text{ост}} k_{\text{USD}} = 125 A_{\text{ост}} k_{\text{USD}}, \quad (4.1)$$

где $A_{\text{ост}}$ – площадь остекления здания по заданию, м^2 (принимается по табл. А.3 приложения А);

k_{USD} – курс доллара США на дату проведения расчетов, р./дол. США.

Утепление наружных стен

При расчетах утепления в качестве аналога примем утеплитель – минераловатные плиты БЕЛТЕП ОАО «Гомельстройматериалы» марки Фасад 12 толщиной 100 мм. При такой толщине утеплителя сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций будет соответствовать нормам и составлять не менее $R_{\text{нс}} = 3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Удельную стоимость утепления «под ключ» согласно фактическим затратам по утеплению наружных стен аналогичных объектов,

выполненных в рамках проектов, финансируемых Европейским Союзом и реализованных ПРООН и Департаментом по энергоэффективности, с плитой БЕЛТЕП толщиной 100 мм можно принять равной 50–55 дол. США/м².

Затраты на утепление наружных стен определяются аналогично затратам по замене окон. Площадь наружных стен, м², принимается по заданию (табл. А.3 приложения А).

Утепление ниш под радиаторы с установкой отражающего экрана

Удельная стоимость утепления 1 м² ниши под радиаторы с установкой отражающих экранов согласно опытным работам составляет 8 дол. США/м².

Затраты на утепление ниш определяются аналогично затратам по замене окон. Площадь ниш, м², принимается по заданию (табл. А.3 приложения А).

Утепление кровли

В качестве основного утепляющего слоя из минеральной ваты для расчетов примем плиты БЕЛТЕП ОАО «Гомельстройматериалы» марки РУФ-35 толщиной 240 мм. Для новой кровли (чердака) достигнутое термическое сопротивление будет соответствовать нормативному значению и составит $R_{т\text{ кров}} = 6,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Удельная стоимость утепления кровли «под ключ» согласно фактическими затратами по утеплению кровли аналогичных объектов, выполненных в рамках проектов, финансируемых Европейским Союзом и реализованных ПРООН и Департаментом по энергоэффективности, с минераловатной плитой БЕЛТЕП марки РУФ-35 составляет 65–70 дол. США/м²; чердака – 36 дол. США/м².

Затраты на утепление кровли (чердака) определяются аналогично затратам по замене окон. Площадь кровли, м², принимается по заданию (табл. А.3 приложения А).

Автоматизация теплопотребления

В систему автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление входят: регулирующий клапан, перекрывающий поток воды; блок управления; датчики температуры; циркуляционный насос. Капиталовложения в систему автоматизации зависят от мощности

системы отопления и стоимости отдельных видов оборудования. В каждом конкретном случае требуется выполнять проект и детальный расчет затрат, но для предварительной оценки стоимости данного мероприятия можно воспользоваться данными табл. 4.1.

Таблица 4.1

Капиталовложения $K_{авт}$ в систему автоматического регулирования отопления

| Мощность системы отопления, кВт | Затраты на автоматизацию, дол. США |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| До 100 | 1500 |
| До 250 | 2500 |
| До 500 | 6000 |
| До 1000 | 8000 |

В оборудование автоматики *системы вентиляции* входят: блок управления, регулирующий клапан и датчики температуры. Подходы к определению затрат на автоматизацию системы вентиляции такие же, как и для системы отопления, но уровень затрат несколько ниже (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Капиталовложения $K_{авт}$ в систему автоматического регулирования вентиляции

| Мощность системы вентиляции, кВт | Затраты на автоматизацию, дол. США |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| До 100 | 500 |
| До 250 | 600 |
| До 500 | 1100 |
| До 1000 | 1600 |

В оборудование автоматики *системы горячего водоснабжения* входят: блок управления, регулирующий клапан и датчики температуры. Часто вместе с установкой регулирующего оборудования производят замену скоростных водонагревателей, так называемых бойлеров, на высокоэффективные пластинчатые теплообменники. Данные по затратам на установку такого оборудования содержатся в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Капиталовложения $K_{\text{авт}}$ в систему автоматического регулирования горячего водоснабжения

| Мощность системы горячего водоснабжения, кВт | Затраты На автоматизацию, дол. США | Затраты на пластинчатый теплообменник, дол. США |
|--|------------------------------------|---|
| До 100 | 500 | 1000 |
| До 250 | 600 | 1200 |
| До 500 | 900 | 3500 |
| До 1000 | 1200 | 6000 |

Затраты на установку систем автоматизации можно определить по выражению

$$S_{\text{авт}} = K_{\text{авт}} k_{\text{USD}} \cdot \quad (4.2)$$

Термостатические регуляторы и балансировочные клапаны

Для определения стоимости термостатических регуляторов воспользуемся предложениями производителей. В качестве аналога выберем комплект термостатический Giacomini R470F 1/2 осевой. Его стоимость с установкой составляет $C_{\text{тр}} = 28$ дол. США/шт. Количество терморегуляторов примем из расчета установки одного комплекта у одного отопительного прибора. Количество приборов принимается по заданию (табл. А.3 приложения А).

Балансировочные клапаны устанавливаются на стояках, либо на горизонтальных ветках системы отопления. В качестве аналога выберем клапан балансировочный Giacomini со штуцерами и сливом. Его стоимость с монтажом составляет приблизительно $C_{\text{бк}} = 300$ р. Количество клапанов примем из расчета установки одного клапана на десять отопительных приборов.

Затраты по установке термостатических регуляторов с балансировкой, р., можно определить по выражению

$$S_{\text{тр}} = (C_{\text{тр}} n_{\text{тр}} + C_{\text{бк}} 0,1 n_{\text{тр}}) k_{\text{USD}}, \quad (4.3)$$

где $n_{тр}$ – количество терморегуляторов в здании, шт. (принимается равным количеству отопительных приборов по табл. А.3 приложения А).

Замена светильников

Стоимость светодиодных ламп и энергосберегающих светильников внутреннего освещения $C_{осв}$ со светодиодными лампами примем согласно предложениям отечественных производителей:

- лампа светодиодная мощностью 11 Вт – 4–5 дол. США;
- светильник со светодиодными лампами 1×18 Вт – 6 дол. США;
- светильник со светодиодными лампами 1×32 Вт – 13 дол. США;
- светильник со светодиодными лампами 1×36 Вт – 11 дол. США.

Затраты на замену старых ламп энергосберегающими источниками света можно определить по выражению

$$S_{осв} = C_{осв} n_{св} , \quad (4.4)$$

где $n_{св}$ – количество светильников внутреннего освещения со светодиодными лампами (принимается в соответствии с табл. А.1 приложения А).

Составление перечня мероприятий по энергосбережению на объектах

Порядок формирования, согласования и выполнения планов мероприятий по энергосбережению и перечней мероприятий, направленных на достижение целевых показателей государственных программ в сфере энергосбережения, определяется Положением «О некоторых мерах по реализации государственной программы в сфере энергосбережения», утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь 18.03.2016 № 216.

Планы мероприятий и перечни – документы, содержащие организационные, технические, экономические и иные мероприятия, взаимоувязанные по ресурсам, исполнителям и срокам реализации, на основании которых сформированы мероприятия государственной программы энергосбережения.

Одной из основных задач составления данных документов является получение максимально возможной экономии ТЭР и увеличение использования местных ТЭР, а также ВИЭ по отношению к уровню их потребления за период, предшествующий началу реализации соответствующих планов мероприятий и перечней мероприятий.

Планы мероприятий и перечни мероприятий формируются на один год. В них включаются энергосберегающие мероприятия, к которым относятся:

- мероприятия по внедрению на действующих объектах современных технологий, оборудования, устройств, систем автоматизации, регулирования, контроля расхода и потребления энергоресурсов, тепловой модернизации зданий, технологического оборудования и машин, предварительной изоляции трубопроводов, новых схемных решений, выполнению проектных и научно-исследовательских работ по этим направлениям, в результате реализации которых достигается экономия ТЭР на единицу продукции (работ, услуг) или снижение предельных уровней их потребления;

- реконструкция, модернизация, новое строительство энергетических мощностей, объектов и коммуникаций с использованием местных ТЭР, возобновляемых и вторичных энергоресурсов, в том числе избыточного давления (избыточное давление пара, природного газа), предварительной изоляции трубопроводов, в результате эксплуатации которых достигаются экономия ТЭР на единицу продукции (работ, услуг), замещение импортируемых ТЭР или снижение предельных уровней их потребления.

В планы мероприятий и перечни мероприятий также могут включаться мероприятия по стимулированию энергосбережения (сотрудничество с международными организациями, финансовыми институтами и фондами, подготовка и реализация совместных проектов, разработка нормативной, технической документации, пропаганда, информационное обеспечение и сопровождение государственной политики в сфере энергосбережения, обучение и переподготовка специалистов для сферы энергосбережения и др.).

Не относятся к энергосберегающим мероприятиям и не подлежат включению в планы мероприятий и перечни мероприятий:

- эксплуатационные и режимно-наладочные мероприятия, осуществляемые постоянно или с определенной периодичностью в соответствии с техническим или технологическим регламентом

обслуживания установок, оборудования, устройств, систем и коммуникаций, использующих ТЭР;

- все виды профилактических и ремонтных работ без улучшения первоначальных (паспортных) показателей энергоэффективности эксплуатации оборудования;

- мероприятия по замене установок, оборудования, систем и коммуникаций, отслуживших свой амортизационный срок, новыми без улучшения показателей энергоэффективности их эксплуатации.

Формы планов мероприятий и перечней мероприятий устанавливаются Департаментом по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации и размещаются на его официальном сайте в глобальной компьютерной сети Интернет.

Планы мероприятий должны содержать:

- показатели в сфере энергосбережения;
- показатели использования ТЭР;
- основные направления энергосбережения;
- мероприятия с указанием ожидаемых результатов и их экономической эффективности, в том числе условной годовой экономии и ожидаемой экономии до конца года, срока окупаемости, планируемых затрат и источников финансирования.

По каждому энергосберегающему мероприятию должно быть разработано технико-экономическое обоснование, выполненное в соответствии с методическими рекомендациями по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, техническими нормативными правовыми актами и другими документами, подтверждающими эффективность планируемых к выполнению мероприятий.

Перечни мероприятий формируются на основании планов мероприятий и содержат:

- показатели в сфере энергосбережения;
- показатели использования ТЭР;
- мероприятия с указанием ожидаемых результатов и их экономической эффективности, в том числе условной годовой экономии и экономии, ожидаемой до конца года, срока окупаемости, планируемых затрат и источников финансирования.

Результаты выполнения перечней мероприятий представляются по запросу Департамента ежеквартально.

Форма, по которой составляется перечень мероприятий по экономии ТЭР, представлена в приложении Б.

Для удобства сопоставления различных видов энергоресурсов их расход сравнивается с расходом так называемого условного топлива.

За условное принято такое топливо, при сгорании 1 кг которого выделяется 7000 ккал или 29 300 МДж теплоты, что соответствует хорошему сухому малозольному углю. Для перевода единиц теплоты и электроэнергии в тонны условного топлива (т у. т.) можно использовать следующие переводные коэффициенты: для перевода 1 ГДж теплоты в т у. т. применяется коэффициент $K_T = 0,0341$; для перевода 1 тыс. кВт·ч в т у. т. – $K_{Э} = 0,123$.

В графу 1 записывается порядковый номер мероприятия. В графу 2 – код основных направлений энергосбережения, к которому относится мероприятие (коды и соответствующие им единицы измерений объема внедрения мероприятий представлены в приложении В). В графу 3 записывается наименование мероприятия, а в графу 4 – объем внедрения, например, «Утепление наружных стен» (3); 875 м² (4). При этом единицу измерения площади наружных стен (м²) можно в графу 4 не вносить, так как код мероприятия, записываемый в графе 2, привязан к определенной единице измерения.

Несмотря на то, что мероприятие по утеплению наружных стен приводит к экономии теплоты, в графе 5 указывается годовой экономический эффект не в единицах теплоты (ГДж), а в единицах условного топлива (т у. т.), которые рассчитываются через переводные коэффициенты. В графу 6 записывается годовой экономический эффект в рублях.

Графы 7 и 8 носят справочный характер и не заполняются. В графу 10 заносятся подсчитанные ранее финансовые затраты на мероприятие. Мероприятие может финансироваться из различных источников, поэтому объем финансирования может быть расписан по графам 11–18. По заданию в качестве источника финансирования выбран Всемирный банк, который осуществляет в Республике Беларусь проекты по внедрению энергосберегающих мероприятий на объектах социальной сферы. Поэтому все затраты, приведенные в графе 10, переносятся в графу 17.

Срок окупаемости мероприятия, графа 9, рассчитывается как отношение затрат (объема финансирования) (графа 10) к годовому экономическому эффекту в рублях (графа 6).

Формирование пакетов энергосберегающих мероприятий

Формирование пакетов рассмотрим на примере заемных средств, предоставляемых Всемирным банком.

Для получения кредита Всемирного банка все мероприятия, включенные в Перечень по экономии ТЭР, разбиваются на группы (пакеты) в соответствии с затратами: А – «минимальная», В – «средняя» и С – «максимальная». Причем одно и то же мероприятие может входить в две группы одновременно (в «минимальную» и «среднюю», или в «среднюю» и «максимальную»).

Критерием для формирования пакетов служит графа 9 перечня мероприятий по энергосбережению.

Для всего пакета подсчитываются вложения, годовой экономический эффект и срок окупаемости (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Пакет А

| Наименование | Затраты (вложения), р. | Годовой экономический эффект, р. | Срок окупаемости пакета, лет |
|--------------|---------------------------|--|------------------------------------|
| 1. | + | + | – |
| 2. | + | + | – |
| 3. | + | + | – |
| ... | + | + | – |
| ИТОГО | + | + | + |

В таблице указано, в какие графы вписывать соответствующие значения. Для «среднего» и «максимального» пакетов составляются аналогичные таблицы.

Расчет выплаты займа

Кредит Всемирного банка выдается под гарантии правительства Республики Беларусь на следующих условиях:

- срок выдачи – на 18 лет;
- процентная ставка – 8 % годовых;
- число выплат в год – 12 раз;
- тип выплат – проценты нужно выплатить в конце периода.

Сумму ежемесячных выплат B , р., можно определить из следующего выражения:

$$HЗ(1 + C_T)^{K_{пер}} + B(1 + C_T \cdot \text{тип}) \frac{(1 + C_T)^{K_{пер}} - 1}{C_T} + BЗ = 0, \quad (4.5)$$

где $HЗ$ – начальный заем, то есть вложения по пакету мероприятий, р.;

C_T – процентная ставка за период по ссуде: $8\% / 12$ месяцев = $0,67\% = 0,0067$;

$K_{пер}$ – общее число периодов выплат годовой ренты: 18 лет по 12 месяцев = 216 периодов выплат;

тип – принимаем равным 0 для выплат в конце периода; в случае оплат в начале периода тип = 1;

$BЗ$ – будущий заем или баланс наличности, который нужно достичь после последней выплаты (если по прошествии 18 лет других кредитов не ожидается, то $BЗ = 0$); в нашем случае $BЗ = 0$.

Подстановка принятых значений в вышеприведенное выражение и соответствующие преобразования позволяют записать следующее:

$$B = - \frac{HЗ(1 + C_T)^{K_{пер}}}{\frac{(1 + C_T)^{K_{пер}} - 1}{C_T}}. \quad (4.6)$$

Ежемесячные выплаты B следует определить по трем пакетам. Для оценки выгоды от взятия кредита для организации необходимо сравнить значение выплат B с энергосбережением в месяц, которое может быть определено делением годового экономического эффекта соответствующего пакета на 12 месяцев.

Результаты расчетов по пакетам энергосберегающих мероприятий сведем в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Оценка выплат займа по трем вариантам

| Показатель | Пакет А | Пакет Б | Пакет В |
|-------------------|---------|---------|---------|
| Сумма займа, р. | | | |
| Срок кредита, лет | | | |

| Показатель | Пакет А | Пакет Б | Пакет В |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|
| Годовая процентная ставка, % | | | |
| Число выплат в год | | | |
| Выплата займа, р./мес. | | | |
| Энергосбережение в месяц, р./мес. | | | |
| Экономия (+) или дебит (-), р./мес. | | | |

После заполнения таблицы необходимо сделать выводы о целесообразности привлечения заемных средств.

Задания

1. Определить затраты на энергосберегающие мероприятия.
2. Составить план мероприятий по энергосбережению и сформировать пакеты энергосберегающих мероприятий по трем вариантам.
3. Произвести оценку выплат займа.

Контрольные вопросы

1. Как рассчитываются затраты на энергосберегающие мероприятия?
2. Что собой представляет план мероприятий по энергосбережению?
3. Что такое условное топливо?
4. Как и с какой целью формируются пакеты энергосберегающих мероприятий?
5. Как осуществляется оценка целесообразности привлечения заемных средств?

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Цель работы: определить показатель эффективности работы теплового насоса.

Задачи:

1. Изучить принцип действия теплового насоса.
2. Произвести расчет коэффициента преобразования энергии теплового насоса.
3. Оформить отчет о выполненной работе.

Оборудование, приборы, приспособления: тепловой насос, барометр, прибор для измерения температуры.

Порядок и методика выполнения работы

Основные сведения

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

Тепловой насос – 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. 1.1.

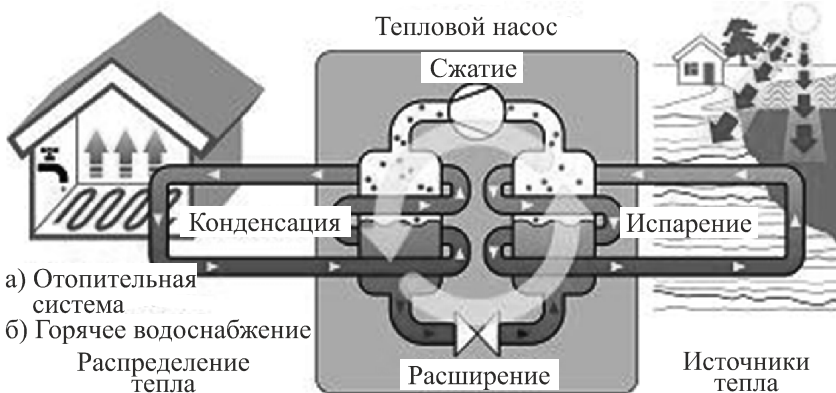


Рис. 1.1. Принципиальная схема теплового насоса

Тепловой насос очень экономичен, поскольку при электропотреблении 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 теплоту из окружающей среды и отдает (переносит) ее в дом. Как и холодильники, тепловые насосы не требуют обслуживания до 30 лет.

Тепловые насосы можно использовать не только для системы отопления, но и для передачи теплоты в систему бытового горячего водоснабжения высокой эффективности в соответствии с возникающими потребностями. Принцип работы теплового насоса представлен на рис. 1.2.

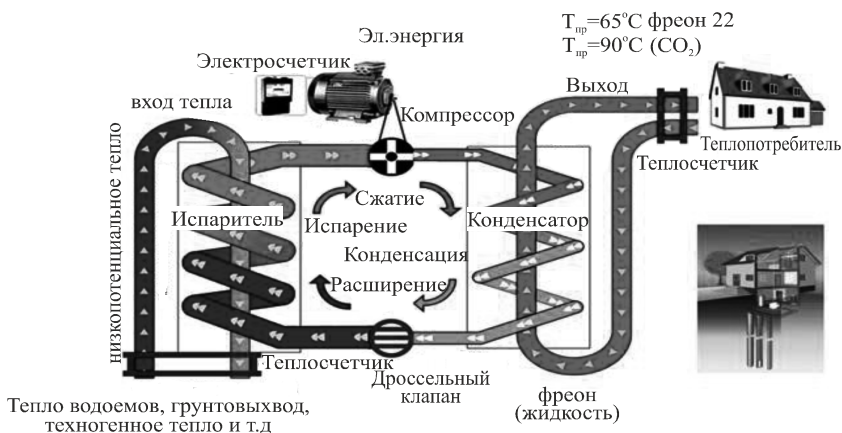


Рис. 1.2. Принцип работы теплового насоса

Электронагреватели установлены практически во всех моделях тепловых насосов. Это связано с тем, что при выборе отопительной техники расчет номинальной мощности делается с учетом покрытия тепловой нагрузки в самые холодные дни (для Республики Беларусь минимальная расчетная температура составляет $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$). Но такая температура держится всего несколько дней в году. Экономически выгоднее приобрести тепловой насос меньшей мощности, а в самые холодные дни пользоваться электрообогревом.

Комбинация двух источников теплоты – вырабатывающего дешевую энергию, но дорогостоящего (тепловой насос), и дешевого, но вырабатывающего дорогую энергию (электронагреватель) позволяет снизить стоимость капитальных затрат и увеличить срок окупаемости тепловой насосной установки.

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 представлены на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Современные тепловые насосы

Такие тепловые насосы могут работать в двух режимах:
– в режиме подогрева воздуха (холодный период года, рис. 1.4).

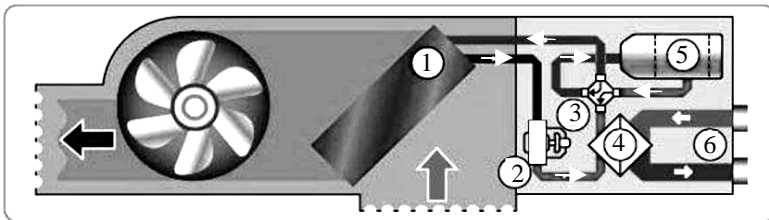


Рис. 1.4. Режим работы теплового насоса в холодный период

Низкотемпературной стороной (испарителем) является теплообменник 4. Теплота воды в нем по трубопроводу 6 передается рабочему телу теплового насоса (хладагенту), после сжатия которого в компрессоре 5 теплота передается воздуху в конденсаторе 1. Воздух в конденсатор поступает через патрубок 2. Подвод теплоты производится водой с температурой от +4 °С до +32 °С, максимальная эффективность обеспечивается при температурах в диапазоне от +15 °С до +30 °С. При таком температурном режиме современные ТНУ требуют электроэнергии в 3–6 раз меньше величины передаваемой теплоты;

– в режиме охлаждения воздуха (теплый период года, рис. 1.5).

Управляющий (реверсивный) клапан 3 изменяет направление движения хладагента в тепловом насосе, тепловой режим и функции теплообменников 1 и 4, и теплота отводится по трубопроводу водой. В режиме подогрева воздуха низкотемпературной стороной (испарителем) является теплообменник 4, в нем теплота воды 6 передается хладагенту, после сжатия которого в компрессоре 5, теплота на более высоком уровне передается воздуху в конденсаторе 1. В режиме охлаждения за счет переключения реверсивного клапана 3 теплообменники меняются функциями.

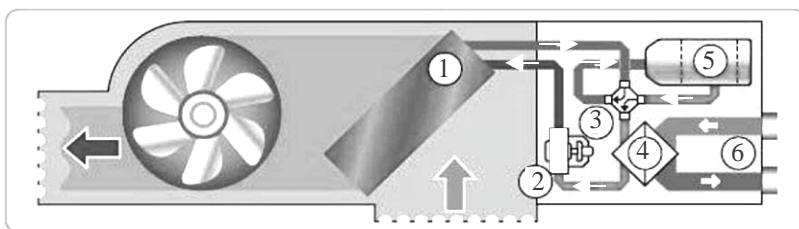


Рис. 1.5. Режим работы теплового насоса в теплый период

В настоящее время масштабы использования тепловых насосов в мире следующие:

– в Швеции 50 % всего отопления обеспечивают геотермальные тепловые насосы. В Стокгольме 12 % всего отопления обеспечивается геотермальными насосами с общей мощностью 320 МВт, источник тепла – Балтийское море;

– в Швейцарии эксплуатируется свыше 60 тыс. тепловых насосов, что экономит 150 тыс. л жидкого топлива; при этом 390 тыс. т CO₂ и 325 т СО не выбрасывается 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, поэтому покупка теплового насоса стала доступна большинству населения.

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, срок работы основного узла теплового насоса-компрессора – 30 лет;

– обеспечивает отопление и холод одним и тем же оборудованием;

– высвобождает территорию, необходимую для размещения котельной, дымохода, хранилища топлива; топочной для теплового насоса может быть любое помещение;

– имеет относительно небольшую потребность в электроэнергии. Так геотермальный тепловой насос для отопления дома площадью около 350 м² при теплопроизводительности 17 кВт будет потреблять до 5 кВт·ч электроэнергии при условии работы не более 12 часов в сутки, обеспечивая этим низкие эксплуатационные затраты;

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

– это экологически чистый метод отопления и кондиционирования, характеризующийся отсутствием выбросов CO₂, NO_x и других продуктов горения;

– тепловой насос имеет максимальную автономность – необходимо только электричество, отсутствует потребность в газоснабжении.

Рассмотрим устройство и принцип работы современного теплового насоса, использующего геотермальную теплоту. Общий вид теплового насоса показан на рис. 1.6.

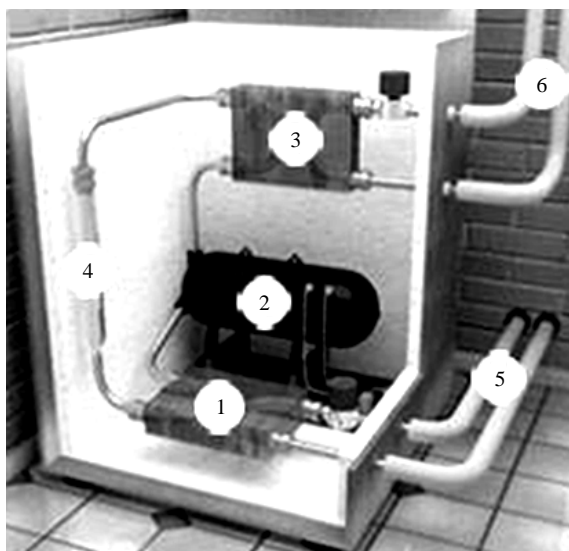


Рис. 1.6. Общий вид теплового насоса:

- 1 – теплообменник передачи теплоты земли внутреннему контуру; 2 – компрессор;
 3 – теплообменник передачи теплоты внутреннего контура системе отопления;
 4 – дроссельное устройство для понижения давления;
 5 – рассольный контур и земляной зонд;
 6 – контур отопления и горячего водоснабжения

Отдельные циклы преобразования энергии в тепловом насосе представлены на рис. 1.7–1.11.

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 $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура земли).

Нагретая жидкость передает свою теплоту второму контуру. Во втором контуре циркулирует фреон, который, нагреваясь от первичного контура, переходит в газообразное состояние (рис. 1.7). Далее газообразный фреон поступает в компрессор, где сжимается от 4 до 26 атмосфер. Сжатие сопровождается повышением температуры от $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это самый важный этап работы теплового насоса (рис. 1.8). Именно на этом этапе происходит преобразование энергии большого объема газа с температурой $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в малый объем газа с температурой $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

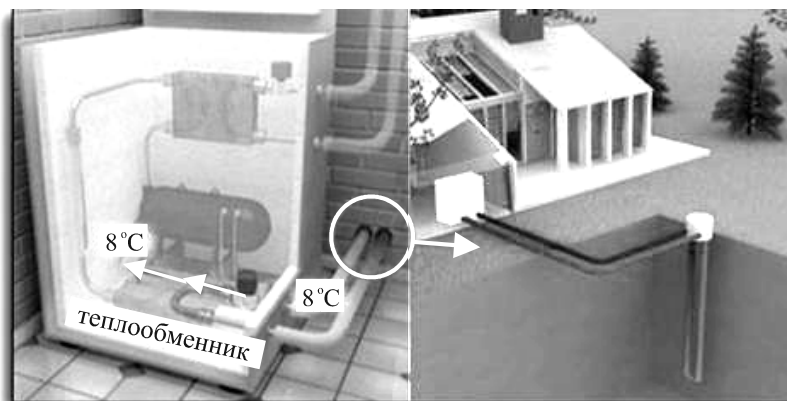


Рис. 1.7. Испарение фреона

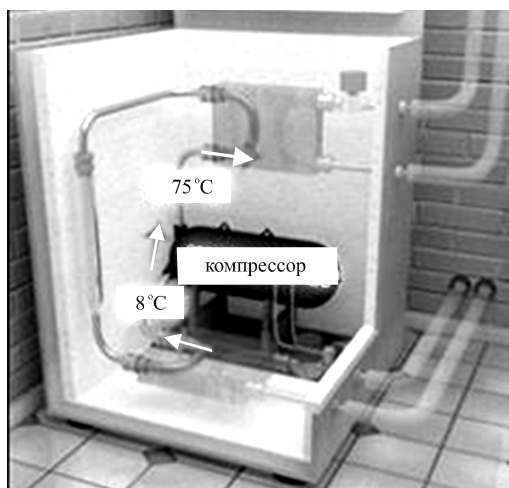


Рис. 1.8. Сжатие фреона в компрессоре

Энергия газообразного фреона, разогретого до $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$, передается в третий контур – систему отопления и горячего водоснабжения дома. В процессе передачи энергии вода в отопительном контуре нагревается до температуры $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1.9). Газ (фреон), отдав свою энергию отопительному контуру, остывает до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом он по-прежнему находится под давлением в 26 атмосфер.

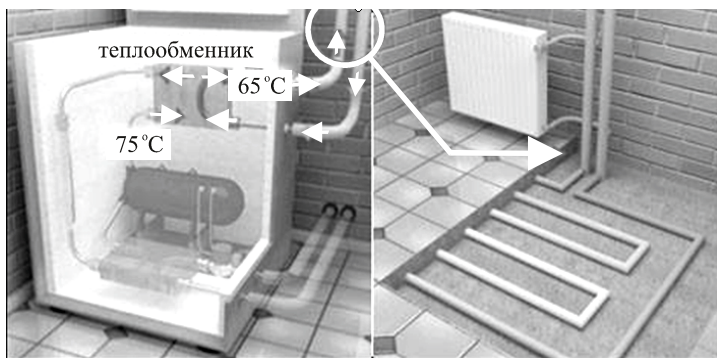


Рис. 1.9. Нагрев воды в конденсаторе

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°C — $+3^{\circ}\text{C}$ и становится жидкостью (рис. 1.10).

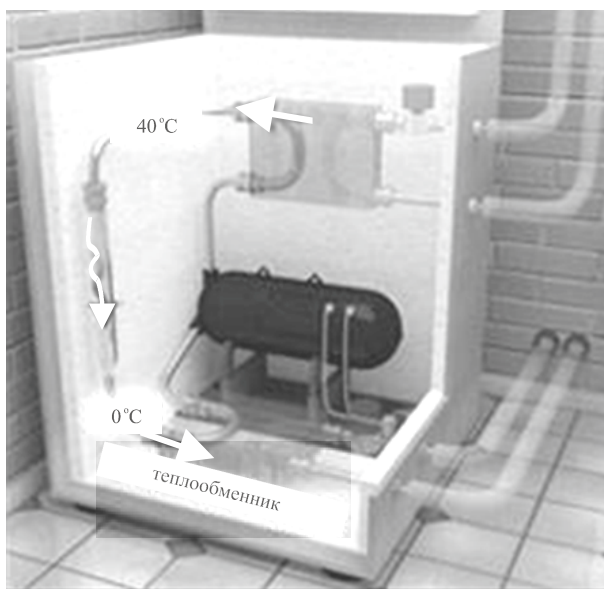


Рис. 1.10. Дросселирование фреона

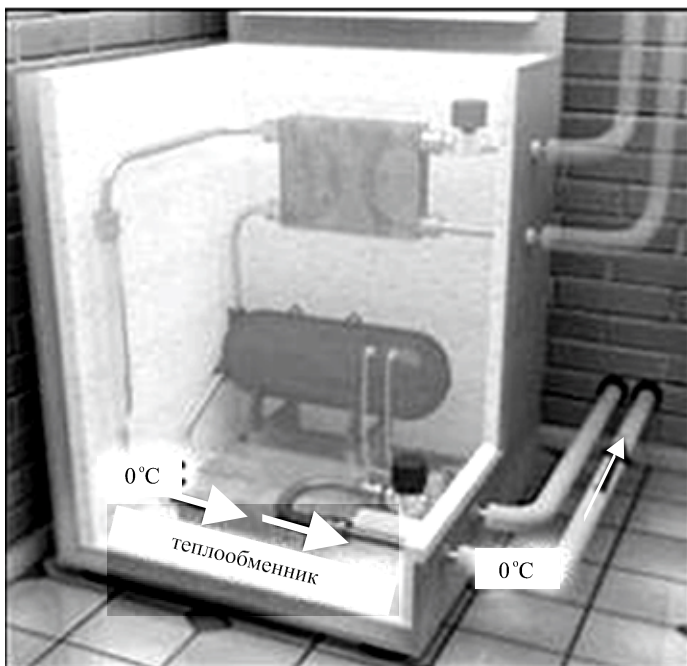


Рис. 1.11. Замыкание цикла теплового насоса

Далее жидкий фреон с температурой от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ поступает в теплообменник-испаритель (рис. 1.11), где циркулирует незамерзающая жидкость первичного контура, прошедшая по скважине и нагретая до температуры $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Происходит испарение фреона. Процесс повторяется.

Описание лабораторной установки

На рис. 1.12 показана лабораторная установка (в общем виде) «Тепловой насос», а на рис. 1.13 – принципиальная схема 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.



Рис. 1.12. Общий вид лабораторной установки «Тепловой насос»



Рис. 1.13. Принципиальная схема лабораторной установки:

1 – конденсатор; 2 – дроссельный вентиль; 3 – испаритель; 4 – компрессор

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 окружающая 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**, то есть отношением количества теплоты, передаваемым в систему теплоснабжения, к затрачиваемой энергии:

$$\mu = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{Q_1}{L}, \quad (1.1)$$

где L – работа на привод компрессора, кДж.

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

В качестве низкотемпературного теплового источника используется вода системы холодного водоснабжения, а высокотемпературным теплоприемником является внутренний воздух помещения.

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 термодпары, 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.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Подготовить таблицу рекомендуемой формы для записи результатов измерения.

Таблица

Результаты измерений

| Время, мин | Температура, °С | | | | | | | | P , кВт | $V_{\text{сч}}$, м ³ | B , кПа |
|---------------|-----------------|-------|-------|-------|--------|---------|--------|---------|--------------|-------------------------------------|--------------|
| | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | t'_x | t''_x | t'_r | t''_r | | | |
| 0 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | |

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

Обработка результатов измерений

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

$$m_{t_2} = \rho_2 \frac{\Delta V_{\text{сч}}}{\tau}, \quad (1.2)$$

где ρ_2 – плотность воды (принять $\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$);

$\Delta V_{\text{сч}}$ – разность показаний счетчика, м^3 , за время измерения τ , с.

2. Рассчитать тепловой поток, кВт, отдаваемый водой в испарителе, по формуле

$$\Phi_2 = c_{p2} m_{t_2} (t'_x - t''_x), \quad (1.3)$$

где c_{p2} – удельная изобарная теплоемкость воды (следует принять $c_{p2} = 4,19 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$);

t'_x и t''_x – температуры воды на входе и выходе из испарителя, $^\circ\text{C}$.

3. Найти плотность воздуха ρ_1 , кг/м^3 , после конденсатора по формуле

$$\rho_1 = \frac{B}{R_0 T}, \quad (1.4)$$

где B – атмосферное давление, кПа;

R_0 – удельная газовая постоянная воздуха (следует принять $R_0 = 0,287 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$);

T – термодинамическая температура, К (при расчете принять $T = t''_T + 273$).

4. Вычислить массовый расход воздуха, кг/с, проходящего через конденсатор.

$$m_{t_1} = \rho_1 v S, \quad (1.5)$$

где v – 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.

$$\Phi_1 = c_{p1} m_{t_1} (t''_T - t'_T), \quad (1.6)$$

где c_{p1} – удельная изобарная теплоемкость воздуха (принять $c_{p1} = 1,01$ кДж/(кг·К));

t'_T и t''_T – температуры воздуха на входе и выходе из конденсатора соответственно, °С.

5. Рассчитать коэффициент преобразования энергии.

$$\mu = \frac{\Phi_1}{P}. \quad (1.7)$$

6. Проверить выполнение закона сохранения энергии.

$$\Phi_1 = \Phi_2 + P. \quad (1.8)$$

В случае неравенства частей формулы (1.8) объяснить возможные причины неравенства.

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

$$\mu_T = \frac{T_1}{T_1 - T_2}, \quad (1.9)$$

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

При этом

$$T_1 = \frac{t_3 + t_4}{2} + 273; \quad (1.10)$$

$$T_2 = \frac{t_1 + t_2}{2} + 273. \quad (1.11)$$

8. Сравнить значения коэффициента преобразования по уравнениям (1.7) и (1.9).

Контрольные вопросы и задания

1. Опишите 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?
5. Укажите причину ограниченного использования тепловых насосов.
6. Перечислите преимущества использования теплового насоса.

Отчет по лабораторной работе № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Цель работы: _____.

1. Основные сведения.

1.1. Определение теплового насоса. Определение коэффициента преобразования энергии теплового насоса.

1.2. Основные сведения об использовании и применении тепловых насосов.

1.3. Принцип работы теплового насоса ((рис. 1.1) краткое описание).

2. Принципиальная схема лабораторной установки (рис. 1.13), краткое описание конструктивных элементов.

3. Результаты измерений.

3.1. Таблица результатов измерений:

| 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 | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | |

3.2. Расчет результатов измерений.

4. Вывод.

5. Ответы на контрольные вопросы.

Работу выполнил студент:

Работу принял преподаватель:

« » _____ 20__ г.

« » _____ 20__ г.

ФИО подпись

ФИО подпись

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА

Цель работы: изучить работу автоматизированного теплового пункта и его элементов.

Задачи:

1. Изучить принцип работы автоматизированного теплового пункта
2. Произвести расчет экономии теплоты за время работы установки при применении регулятора отопления.
3. Оформить отчет о выполненной работе.

Оборудование, приборы и приспособления: лабораторная установка.

Порядок и методика выполнения работы

Основные сведения

Тепловой пункт (ТП) – это сооружение с комплектом оборудования, позволяющее изменить температурный и гидравлический режимы теплоносителя, обеспечить учет и регулирование расхода тепловой энергии и теплоносителя конкретного потребителя. Тепловой узел (ТУ) – это комплекс устройств теплового пункта, предназначенный для присоединения тепловой сети к системам теплоснабжения.

Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) – используется для обслуживания одного потребителя (здания или его части). Как правило, располагается в подвальном или техническом помещении здания, однако, в силу особенностей обслуживаемого здания, может быть размещен в отдельно стоящем сооружении.

Центральный тепловой пункт (ЦТП) – используется для обслуживания группы потребителей (зданий, промышленных объектов). Чаще располагается в отдельно стоящем сооружении, но может быть размещен в подвальном или техническом помещении одного из зданий.

Блочный тепловой пункт (БТП) – изготавливается в заводских условиях и поставляется для монтажа в виде готовых блоков. Может состоять из одного или нескольких блоков. Оборудование блоков

монтируется очень компактно, как правило, на одной раме. Обычно используется при необходимости экономии места, в стесненных условиях. По характеру и количеству подключенных потребителей БТП может относиться как к ИТП, так и к ЦТП.

В стандартном ТП имеются следующие системы снабжения потребителей тепловой энергией:

- система горячего водоснабжения (ГВС). Предназначена для снабжения потребителей горячей водой. Различают закрытые и открытые системы горячего водоснабжения. Часто теплота из системы ГВС используется потребителями для частичного отопления помещений, например ванных комнат в многоквартирных жилых домах;

- система отопления. Предназначена для обогрева помещений с целью поддержания в них заданной температуры воздуха. Различают зависимые и независимые схемы присоединения систем отопления;

- система вентиляции. Предназначена для обеспечения подогрева поступающего в вентиляционные системы зданий наружного воздуха. Также может использоваться для присоединения зависимых систем отопления потребителей.

- система холодного водоснабжения. Не относится к системам, потребляющим тепловую энергию, однако присутствует во всех тепловых пунктах, обслуживающих многоэтажные здания. Предназначена для обеспечения необходимого давления в системах водоснабжения потребителей.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой модель автоматизированного теплового пункта. Схема лабораторной установки показана на рис. 2.1.

Данная схема состоит из следующих основных элементов: *А* – источника теплоты; *Б* – автоматизированного теплового пункта; *В* – местной системы отопления.

В качестве источника теплоты *А* использован проточный электрический водонагреватель ЭПВЗ–15, моделирующий работу котельной. Принцип работы водонагревателя основан на нагреве ТЭНами водопроводной сетевой воды, проходящей через резервуар. Сетевая вода нагревается до +65 °С–+75 °С в зависимости от величины ее отбора.

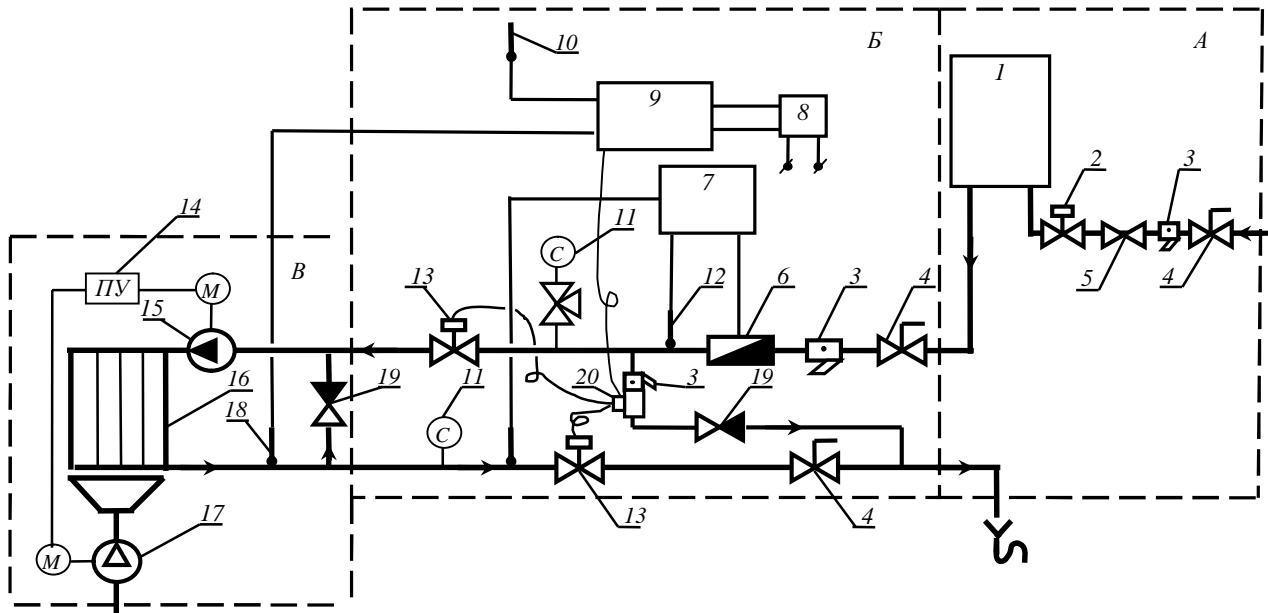


Рис. 2.1. Схема автоматизированного теплового пункта:

- 1 – проточный электроводонагреватель; 2 – поточный выключатель; 3 – фильтр; 4 – шаровый кран-клапан;
 5 – клапан безопасности; 6 – водомер; 7 – теплосчетчик;
 8 – пульт управления блоком автоматического регулирования температуры;
 9 – электронный блок автоматического регулирования температуры; 10 – датчик наружной температуры;
 11 – манометр; 12 – датчик температуры воды в подающем трубопроводе; 13 – регулятор расхода воды;
 14 – пульт управления насосом и вентилятором; 15 – циркуляционный насос; 16 – отопительный конвектор; 17 – вентилятор;
 18 – датчик температуры воды в обратном трубопроводе; 19 – обратный клапан; 20 – электромагнитный клапан

Автоматизированный индивидуальный тепловой пункт *Б* предназначен для распределения теплоносителя между системами отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, (в нашем случае – только отопления), учета теплоты, автоматического регулирования ее отпуска, поддержания заданной температуры воздуха в помещениях, а также защиты системы от опорожнения и повышенных давлений.

Местная система отопления *В* состоит из нагревательного прибора, моделирующего работу системы отопления здания, подающего и обратного трубопроводов с перемычкой между ними и установленного на подающей линии насоса. В качестве нагревательного прибора используется отопительный конвектор МИФ–200. Для интенсификации теплоотдачи конвектора установлен осевой вентилятор, обдувающий воздухом поверхность прибора.

Перемычка служит для подмешивания воды из обратного трубопровода и создания циркуляции в отопительной системе при отключении подачи сетевой воды регулятором отопления.

Регулятор отопления ST–1 с программным управлением работает по принципу гидравлического электромагнитного привода с использованием сильфонной коробки. Он предназначен для экономии теплоты путем автоматического поддержания температуры воздуха в помещениях *T* в зависимости от температуры наружного воздуха T_a и температуры обратной воды T_w .

Программное управление обеспечивает процессор, который управляет исполнительным механизмом, анализируя температуры *T*, T_a и T_w .

Команды на закрывание/открывание универсального электромагнитного клапана 8 вырабатывает контроллер в зависимости от показаний датчиков температур.

В случае срабатывания электромагнитного клапана импульс поступает на регуляторы 9 расхода воды, которые перекрывают проход сетевой воды. Циркуляция воды в отопительном приборе осуществляется только с помощью насоса 11. Циркуляционный насос Wilo–Star–RS 25/4 может работать в трех режимах: экономическом, среднем и максимальном.

Блок автоматического регулирования температуры 7 в составе ST–1 обеспечивает:

- одновременное хранение в памяти до 8 программ;
- программирование температурного режима по часам суток;

- программирование температурного режима по дням недели;
- индикацию T_a от $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- индикацию T_w от $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- программирование трех температурных режимов: комфортной температуры, дежурной температуры и температуры не замораживания системы ($+7\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- программирование температурного режима для 10 праздничных дней в году;
- счет и индикацию текущего времени (часы, минуты), календаря (день недели, год, месяц, число).

На индикаторе регулятора высвечиваются значения измеряемых и программируемых величин.

Автоматизированный тепловой пункт оборудован теплосчетчиком 10 марки Supercal, на индикаторе которого высвечиваются: тепловая мощность, кВт; расход теплоты, МВт ч; объем теплоносителя, м³/ч; температуры в подающем и обратном трубопроводах, °С; разность температур, °С; расход воды, л/ч, время работы счетчика, ч.

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с лабораторной установкой и включить ее. Подготовить таблицу рекомендуемой формы (табл. 2.1) для записи результатов измерений.

При выводе установки на стационарный режим работы (температуры теплоносителя не изменяются) начать измерения с включенным регулятором отопления.

Таблица 2.1

Результаты измерений

| Время, мин | Показания водомера V , л | Температура подающей сетевой воды t_r , °С | Температура обратной сетевой воды t_o , °С | Температура наружного воздуха T_a , °С | Температура обратной воды в системе отопл. T_w , °С | Заданная температура воздуха в помещении T , °С |
|---|----------------------------|--|--|--|---|---|
| А. Работа установки с включенным регулятором отопления | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| Время, мин | Показания водомера V, л | Температура подающей сетевой воды t_t , °С | Температура обратной сетевой воды t_o , °С | Температура наружного воздуха T_a , °С | Температура обратной воды в системе отопл. T_w , °С | Заданная температура воздуха в помещении T , °С |
|--|-------------------------|--|--|--|---|---|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Б. Работа установки с выключенным регулятором отопления | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Показания измерительных приборов снимать каждые пять минут. Результаты записать в часть А.

По указанию преподавателя выключить регулятор отопления и произвести измерения аналогично. Результаты измерений записать в часть Б.

По окончании работы выключить установку, результаты измерений показать преподавателю.

Обработка результатов измерений

Обработка результатов измерений сводится к определению расхода теплоты для обоих вариантов работы установки, а также определению экономии теплоты за счет применения регулятора отопления.

1. Средний массовый расход сетевой воды, кг/с, через тепловой пункт:

$$G = \frac{\Delta V \rho}{\Delta \tau}, \quad (2.1)$$

где ΔV – объем сетевой воды, л, прошедшей через установку за время ее работы в соответствующем режиме (разность показаний водомера в конце и начале эксперимента);

ρ – плотность воды, кг/л (принять равной 0,99 кг/л);

$\Delta \tau$ – время проведения эксперимента, с.

2. Расход теплоты на отопление за время работы в соответствующих режимах, Дж:

$$Q_0 = GC_p \Delta t \Delta \tau, \quad (2.2)$$

где C_p – удельная изобарная теплоемкость сетевой воды, Дж/(кг·К) (принять $C_p = 4180$ Дж/(кг·К));

Δt – средняя разность температур сетевой воды в подающей и обратной магистрали, °С, $\Delta t = t_r - t_o$ (значения t_r и t_o брать как среднее арифметическое за время $\Delta \tau$).

3. Экономия теплоты за время работы установки при применении регулятора отопления, %:

$$\Delta Q\% = \frac{Q_0' - Q_0''}{Q_0'} 100\%, \quad (2.3)$$

где Q_0' – расход теплоты на отопление за время работы установки без регулятора, Дж;

Q_0'' – расход теплоты на отопление за время работы установки с включенным регулятором, Дж.

На основании расчетных данных заполнить табл. 2.2

Таблица 2.2

Результаты обработки измерений

| Установка | G , кг/с | $\Delta \tau$, с | Δt , °С | Q_0 , Дж | ΔQ , % |
|-------------------------------------|------------|-------------------|-----------------|------------|----------------|
| с включенным регулятором отопления | | | | | – |
| с выключенным регулятором отопления | | | | | |

Сравнить полученные результаты и сделать вывод об эффективности применения автоматизированного теплового пункта как одного из направлений энергосбережения.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен автоматизированный индивидуальный тепловой пункт?
2. Каким образом выполняется автоматическое регулирование отпуска тепловой энергии?
3. Какие функции выполняют элементы схемы установки?
4. Какой прибор используется для измерения давления?
5. Для чего служит регулятор отопления?

Отчет по лабораторной работе № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕПЛОВОГО ПУНКТА

Цель работы: _____.

1. Основные сведения.

- 1.1. Определение теплового пункта.
- 1.2. Назначение тепловых пунктов (краткое описание).
- 1.3. Схема автоматизированного теплового пункта (рис. 2.1), краткое описание конструктивных элементов.

2. Результаты измерений.

- 2.1. Таблица результатов измерений:

| Время, мин | Показания водометра V , л | Температура подающей сетевой воды t_1 , °C | Температура обратной сетевой воды t_0 , °C | Температура наружного воздуха T_a , °C | Температура обратной воды в системе отопления T_w , °C | Заданная температура воздуха в помещении T , °C |
|--|-----------------------------|--|--|--|--|---|
| А. Работа установки с включенным регулятором отопления | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Б. Работа установки с выключенным регулятором отопления | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

- 2.2. Расчет результатов измерений.

2.3. Таблица результатов измерений:

| Установка | G , кг/с | Δt , с | Δt , °C | Q_0 , Дж | ΔQ , % |
|-------------------------------------|------------|----------------|-----------------|------------|----------------|
| с включенным регулятором отопления | | | | | — |
| с выключенным регулятором отопления | | | | | |

3. Вывод.

4. Ответы на контрольные вопросы.

Работу выполнил студент:

Работу принял преподаватель:

« » _____ 20__ г.

« » _____ 20__ г.

ФИО подпись

ФИО подпись

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

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

Задачи:

1. Изучить основные сведения об использовании и применении солнечной энергии.
2. Изучить устройство и принцип действия солнечной энергетической установки.
3. Изучить описание, назначение и правила работы люксметра.
4. Произвести расчет плотности потока излучения W (энергетическую освещенность), ЭДС, вырабатываемую одним солнечным элементом, электрическую мощность и сопротивление нагрузки.
5. Оформить отчет о выполненной работе.

Оборудование, приборы и приспособления: лабораторная установка, люксметр.

Порядок и методика выполнения работы

Основные 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 (рис. 3.1).

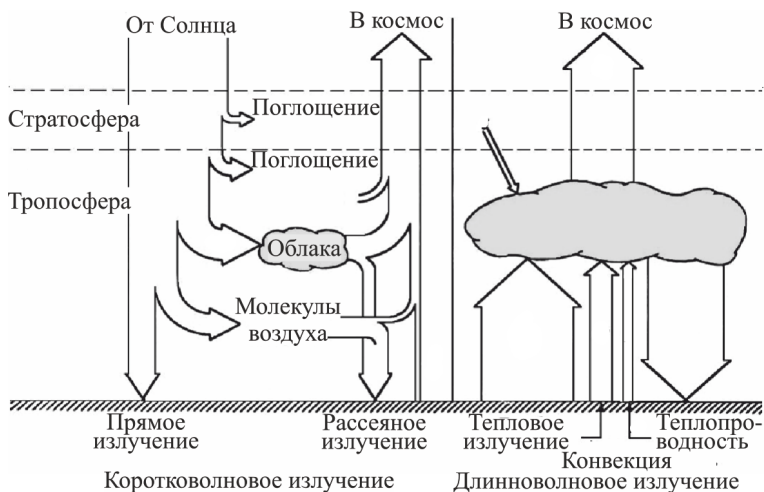


Рис. 3.1. Тепловой баланс системы «Земля – атмосфера – космос»

Полный поток энергии, излучаемой Солнцем, составляет $3,9 \cdot 10^{26}$ Вт.

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/м^2 в день (рис. 3.2).

Количество солнечной энергии, поступающей на Землю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и других энергетических ресурсов. Использование всего лишь 0,0125 % 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 теплота в приземные слои атмосферы, не создается тепличный эффект и не происходит загрязнение воздуха.

Но у солнечной энергии есть недостаток – ее 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, что

эффективность преобразования солнечной энергии в удобную для потребления форму составляет 10 % и поток солнечной энергии 17 МДж/м^2 в день, то требуемую для одного человека энергию можно получить со 100 м^2 площади земной поверхности. При средней плотности населения в городах 500 чел. на 1 км^2 на одного человека приходится 2000 м^2 земной поверхности. Таким образом, достаточно всего 5 % этой площади, чтобы за счет снимаемой с нее солнечной энергии удовлетворить энергетические потребности человека.

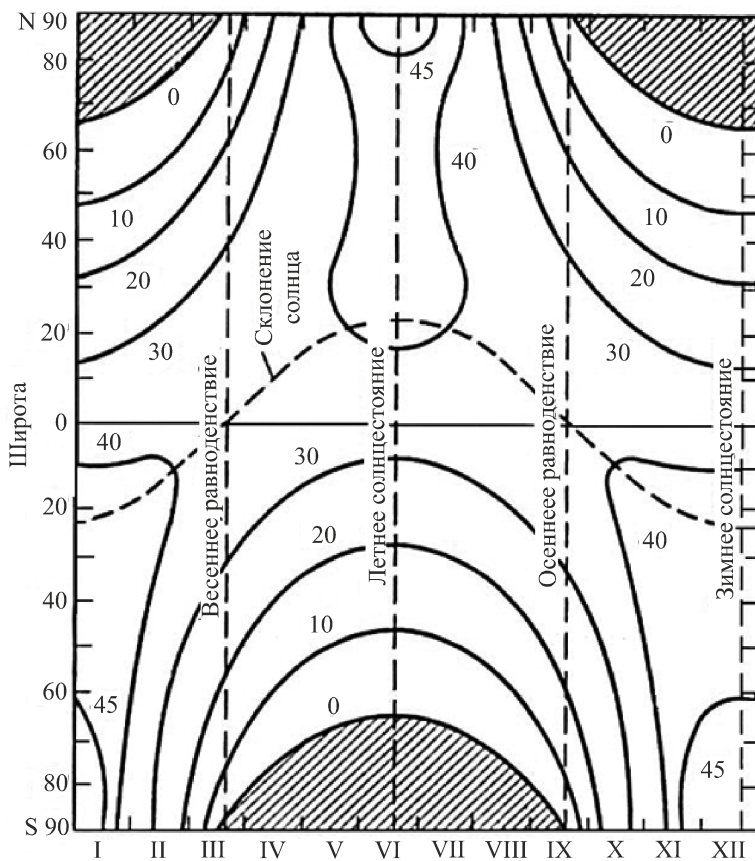


Рис. 3.2. Суточные суммарные значения энергетической экспозиции (МДж/м^2) при солнечном излучении, приходящиеся на верхнюю границу атмосферы

Плотность потока излучения от Солнца, падающего на перпендикулярную ему площадку вне земной атмосферы, называется солнечной константой S , которая равна 1367 Вт/м^2 .

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

Солнечная энергия используется для получения тепловой и электрической энергии, и 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 (табл. 3.1). 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, и 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 % (то есть при освещенности 1 кВт/м^2 вырабатывают электрическую мощность 1,0–1,5 Вт) при создаваемой разности потенциалов около 1 В.

Таблица 3.1

Освещенность, создаваемая различными источниками

| Источник | 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 | 5000–20 000 | 23–92 |
| Облачное небо зимой | 1000–2000 | 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), изображенные на рис. 3.3.

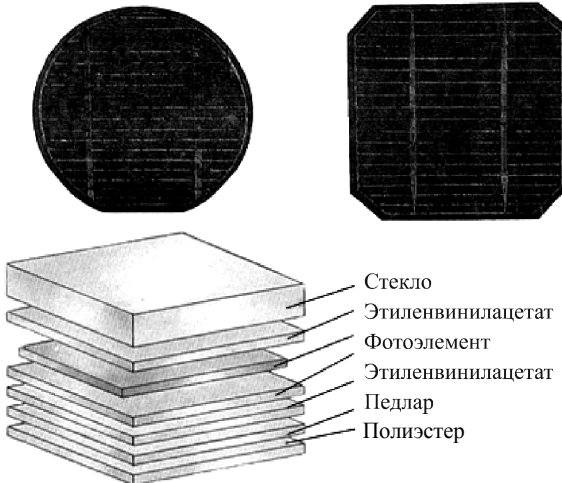


Рис. 3.3. Фотоэлектрический преобразователь

Кремниевый солнечный фотоэлемент высокой эффективности впервые был продемонстрирован в 1954 г. лабораторией «Белл телефон» (рис. 3.4).

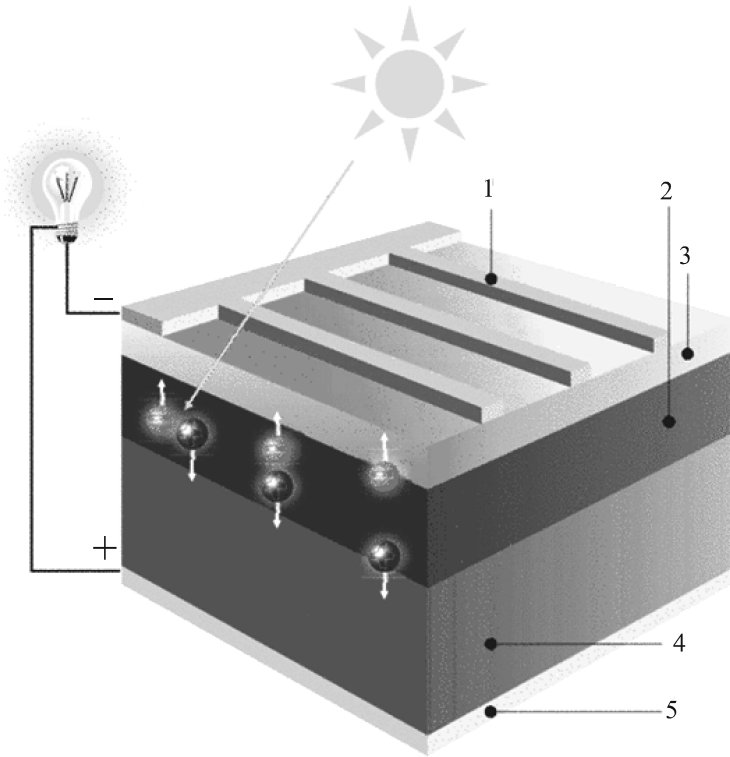


Рис. 3.4. Принципиальная конструкция фотоэлемента:

1 – контактная пластина со штифтами; 2 – верхний слой (*n*-типа);
3 – прозрачный клей на силиконовой основе; 4 – база (*p*-слой); 5 – контакт

Фотоэлементы представляют собой светочувствительные пластины из полупроводниковых материалов: 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. 3.5, их геометрические размеры – на рис. 3.6.

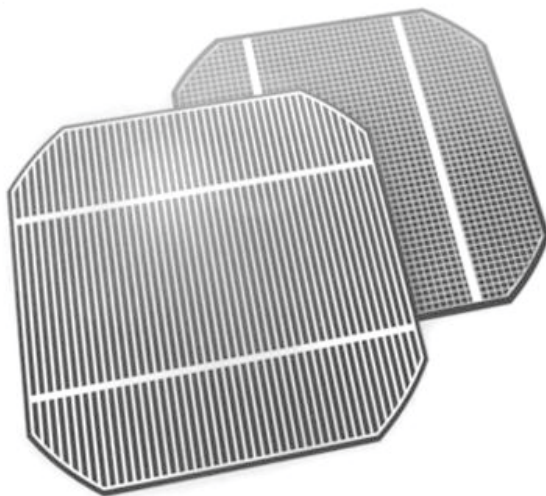


Рис. 3.5. Типовая конструкция современных кремниевых фотоэлементов

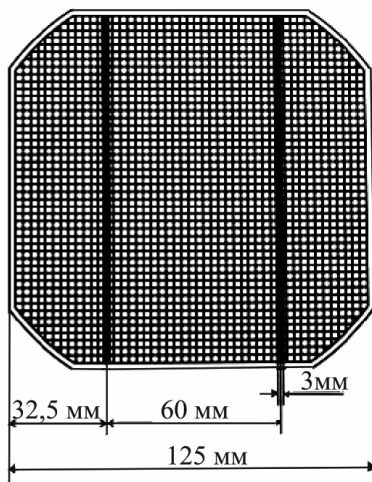


Рис. 3.6. Геометрические размеры кремниевого фотоэлемента

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.

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. 3.7).



Рис. 3.7. Размещение солнечных установок

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 источников энергии. Удельная стоимость мощности плоских модулей солнечных батарей на мировом рынке составляет 4–5 дол. США/Вт, а стоимость фотоэлектрических установок 7–10 дол. США/Вт.

Стоимость электроэнергии, вырабатываемой модулями, колеблется в пределах 0,20–0,30 дол. США/(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 евро.

Солнечные элементы последовательно соединяются в солнечные модули, которые в свою очередь параллельно соединяются в солнечные батареи, как изображено на рис. 3.8.

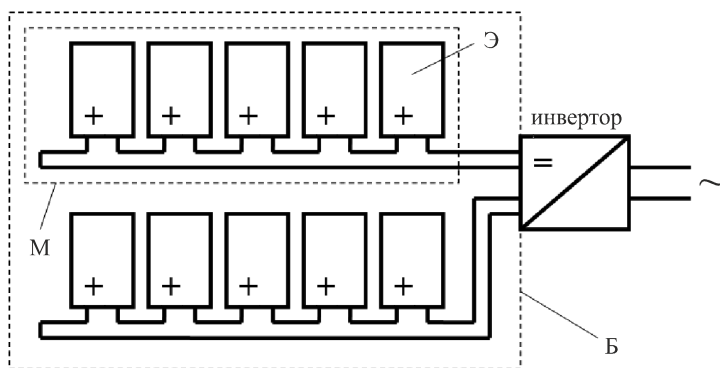


Рис. 3.8. Компоновка солнечных фотоэлементов:
Э – солнечный элемент; М – солнечный модуль; Б – солнечная батарея

В 1958 г. 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. 3.9 и включают в себя: солнечную батарею с приборами контроля и управления; инвертор (обычно блок Sunny Boy, рис. 3.10) 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 элементы (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.

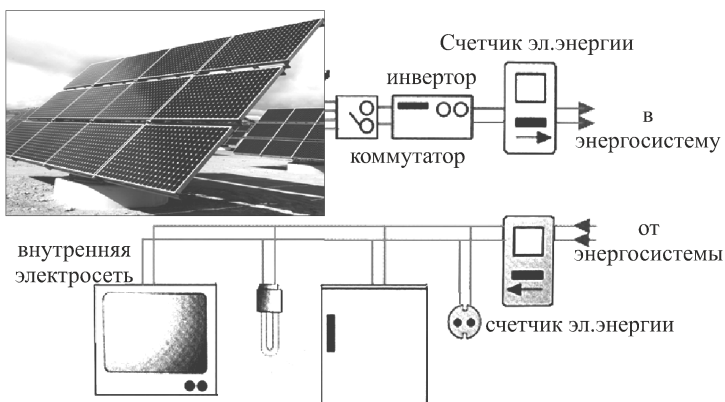


Рис. 3.9. Примерная схема устройства системы фотоэлектрического преобразователя



Рис. 3.10. Типовой инвертор фотоэлектрических батарей

Описание лабораторной установки

Экспериментальная установка (рис. 3.11) включает в себя следующее оборудование: SM – солнечный модуль (рис. 3.12), состоящий из 108 (9×12) солнечных элементов; PA – амперметр; PV – вольтметр; EL – источник света, имитирующий солнечное излучение (6 прожекторов по 500 Вт, рис. 3.13); 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.

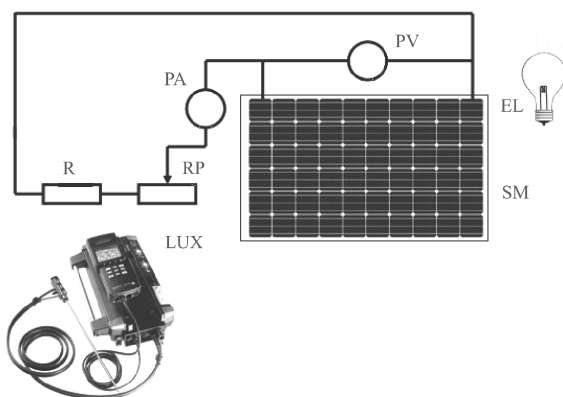


Рис. 3.11. Схема экспериментальной установки



Рис. 3.12. Солнечный модуль

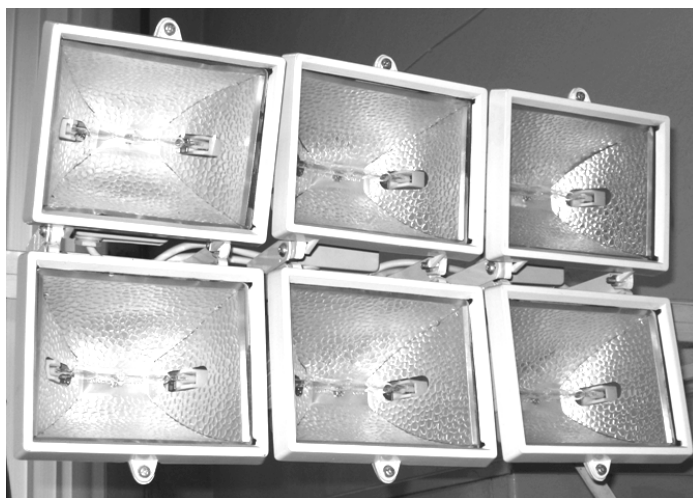


Рис. 3.13. Искусственное солнце (блок прожекторов)

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. 3.2.

Таблица 3.2

Технические характеристики люксметра (комплект 31)

| Наименование характеристики | Ед. изм. | Значение |
|--|----------|------------|
| 1. Диапазон измерений 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.

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».

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».

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 модуля.

3. Включить источник света.

4. Люксметром измерить освещенность $E_{ц}$ в центре (точка 1) и в четырех крайних точках поверхности (2, 3, 4, 5) (рис. 3.14) солнечного модуля и вычислить ее среднее значение ($E_{ср}$). Результаты занести в табл. 3.3.

5. По показаниям вольтметра определить вырабатываемую солнечным элементом ЭДС.

6. Прodelать аналогичные измерения при разном количестве включенных прожекторов.

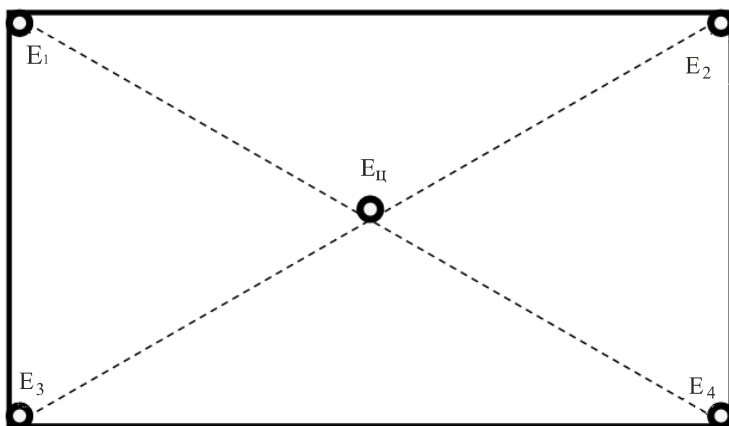


Рис. 3.14. Точки измерения освещенности модуля

Таблица 3.3

Результаты измерений и вычислений

| Включенные прожекторы | $E_{ц}$ лк | E_1 , лк | E_2 , лк | E_3 , лк | E_4 , лк | $E_{ср}$, 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 | | | | | | | | | |

Б. Определение вольт-амперной характеристики солнечного модуля:

7. Подключить нагрузку (реостат) к цепи солнечного элемента.
8. Установить источник света на прямое излучение на поверхность солнечного модуля.
9. Включить источник света. По показаниям вольтметра определить напряжение U в цепи. По показаниям амперметра определить силу тока I в цепи.

10. 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 (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Вольт-амперная характеристика солнечного модуля

| Плотность потока излучения, Вт/м ² | Номер измерения | U , В | I , А | $R_{н}$, Ом | W_3 , Вт |
|---|-----------------|---------|---------|--------------|------------|
| | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |
| | 9 | | | | |
| | 10 | | | | |
| | 11 | | | | |

Обработка результатов измерений

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

$$W = 4,6E_{cp}10^{-3}. \quad (3.1)$$

2. Вычислить ЭДС, вырабатываемую одним солнечным элементом ЭДС–1, разделив ЭДС на число элементов 108.

3. Все результаты занести в табл. 3.3.

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

5. Для каждого измерения вычислить электрическую мощность в цепи $W_3 = I \cdot U$ и сопротивление нагрузки $R_{н} = U / I$.

6. Все данные занести в табл. 3.4.
7. Построить вольт-амперную характеристику ($I = f(U)$) солнечного модуля при данной плотности потока излучения, значение которой взять из предыдущих измерений.
8. Построить нагрузочную характеристику $W_3 = \varphi(R_H)$.
9. Отметить наибольшее значение мощности, вырабатываемой солнечным модулем.

Контрольные вопросы

1. Что такое фотоэффект как физическое явление?
2. Из чего состоит солнечный элемент?
3. Для чего нужны и где применяются солнечные элементы?
4. Как устроена солнечная энергетическая установка? Как осуществляется ее действие?
5. Как вы можете охарактеризовать полученные графические зависимости?
6. Для чего строится график зависимости ЭДС солнечного модуля от плотности потока излучения, падающего на его поверхность W ?
7. Для чего строится характеристика $W_3 = \varphi(R_H)$?

Отчет по лабораторной работе № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Цель работы: _____.

1. Основные сведения.

1.1. Основные сведения об использовании и применении солнечной энергии.

1.2. Определение фотоэффекта как физического явления.

1.3. Схема компоновки солнечных фотоэлементов (рис. 3.8).

1.4. Схема экспериментальной установки (рис. 3.11).

1.5. Точки измерения освещенности модуля (рис. 3.14).

2. Результаты измерений.

2.1. Таблица результатов измерений и вычислений:

| Включенные прожекторы | $E_{ц}$ лк | E_1 лк | E_2 лк | E_3 лк | E_4 лк | $E_{ср}$ 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 | | | | | | | | | |

2.2. Вольт-амперная характеристика солнечного модуля:

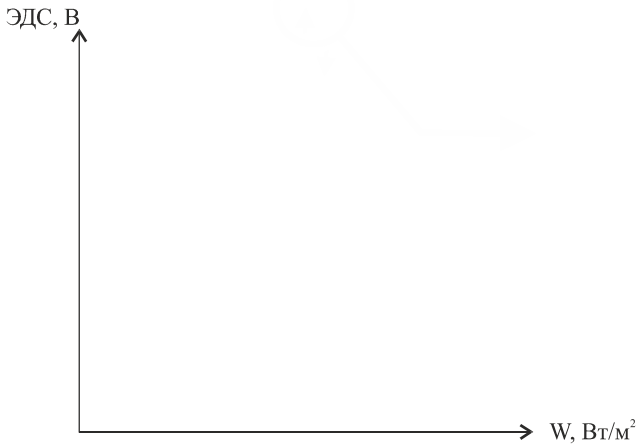
| Плотность потока излучения, Вт/м ² | Номер измерения | U , В | I , А | R_H , Ом | W_3 , Вт |
|--|-----------------|------------|------------|---------------|---------------|
| | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |

Окончание таблицы

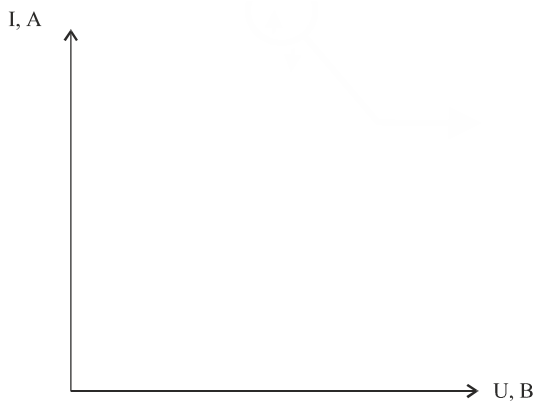
| Плотность потока излучения, Вт/м^2 | Номер измерения | U , В | I , А | $R_{\text{н}}$, Ом | $W_{\text{э}}$, Вт |
|---|--------------------|------------|------------|------------------------|------------------------|
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |
| | 9 | | | | |
| | 10 | | | | |
| | 11 | | | | |

2.3. Расчет результатов измерений.

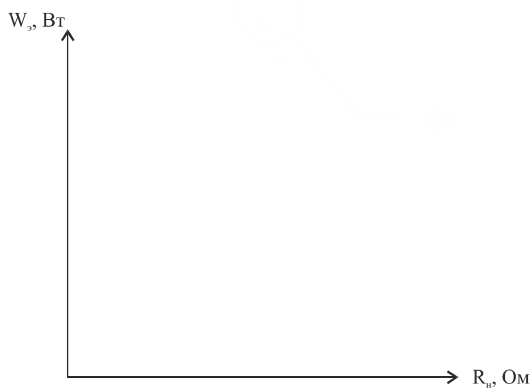
2.4. График зависимости ЭДС солнечного модуля от плотности W потока излучения, падающего на его поверхность:



2.5. Вольт-амперная характеристика ($I = f(U)$):



2.6. Нагрузочная характеристика $W_s = \varphi(R_n)$:



3. Вывод.

4. Ответы на контрольные вопросы.

Работу выполнил студент:

Работу принял преподаватель:

« » _____ 20__ г.

« » _____ 20__ г.

ФИО подпись

ФИО подпись

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

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

Задачи:

1. Изучить основные сведения об использовании и применении тепловых труб.
2. Изучить устройство (типы тепловых труб и особенности их конструкции) и принцип действия тепловой трубы.
3. Изучить описание, назначение и правила работы лабораторной установки.
4. Произвести расчет коэффициента теплопроводности двух образцов элементов лабораторной установки.
5. Оформить отчет о выполненной работе.

Оборудование, приборы и приспособления: лабораторная установка.

Порядок и методика выполнения работы

Основные сведения

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. 4.1).

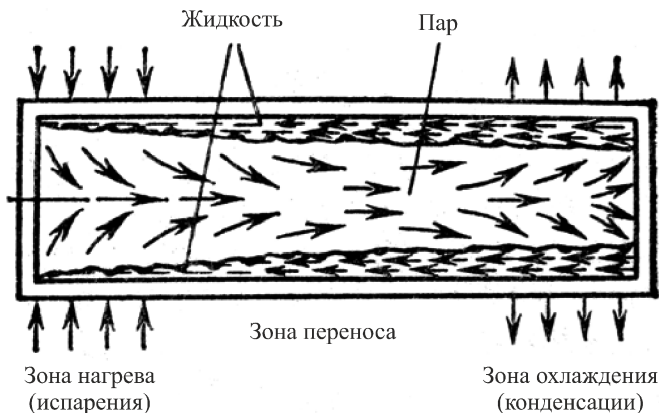


Рис. 4.1. Схема тепловой трубы

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. 4.2, а схематически показана гомогенная капиллярная структура. Фитиль прилегает к стенке тепловой трубы таким образом, чтобы обеспечить хороший контакт со стенкой в зоне передачи теплоты.

Используются также каналы на стенках (рис. 4.2, б). Усовершенствованную структуру представляют собой тонкие экраны (рис. 4.2, 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. 4.2, *г-з*. Структура на рис. 4.2, *з*, является примером использования артерий, которые позволяют получить низкие сопротивления и перепады давления в жидкости. Структуры на рис. 4.2, *д-ж* также имеют низкие сопротивления для течения жидкости. Их недостатком является то, что в них может возникнуть кипение.

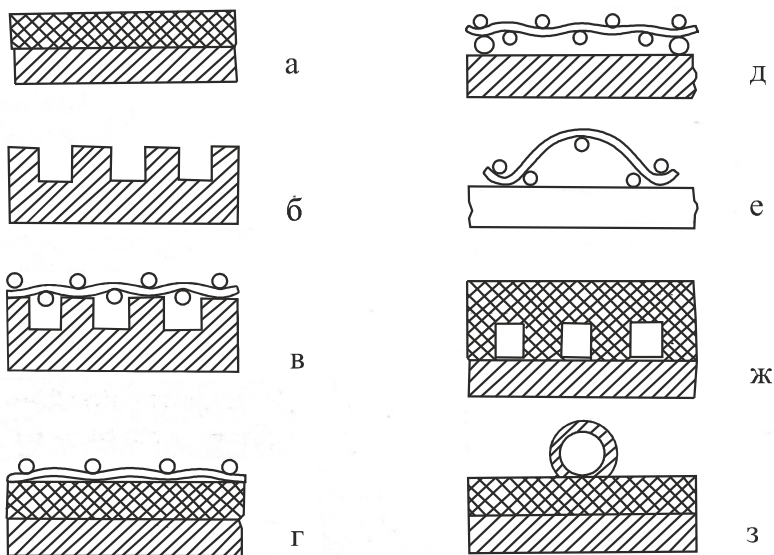


Рис. 4.2. Капиллярные структуры:

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

На рис. 4.3 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.

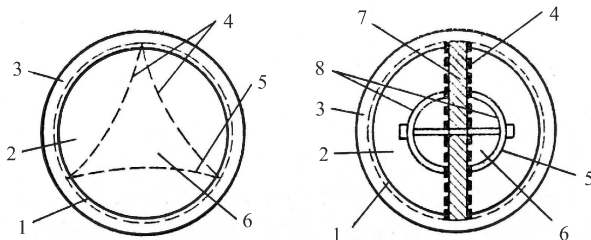


Рис. 4.3. Тепловые трубы с артериями:

1 – внутренняя поверхность стенки; 2 – паровая зона; 3 – канавки; 4, 5 – сетка; 6 – артерия для жидкости; 7 – опора; 8 – разрезанная труба без капилляров

В тепловой трубе (рис. 4.4) 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 добавит движущие силы естественной циркуляции к капиллярным силам.

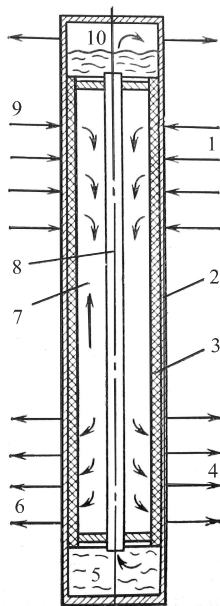


Рис. 4.4. Тепловая труба с коллектором и системой артерий:

1 – испаритель; 2 – стенка трубы; 3 – капиллярная структура; 4 – конденсатор; 5, 10 – коллекторы; 6, 9 – пластины коллектора; 7 – паровая зона; 8 – артерии

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;
- 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.

Описание лабораторной установки

Основными элементами лабораторной установки (рис. 4.5, 4.6) являются тепловая труба 5 и алюминиевый стержень 6, покрытые тепловой изоляцией 3.

Труба и стержень имеют одинаковые длину 810 мм и диаметр 14 мм. Теплоносителем тепловой трубы служит ацетон. На штативах 1 установлены образцы, на нижних концах трубы и стержня установлены электрические нагреватели 2, на которые подается напряжение от трансформатора 9.

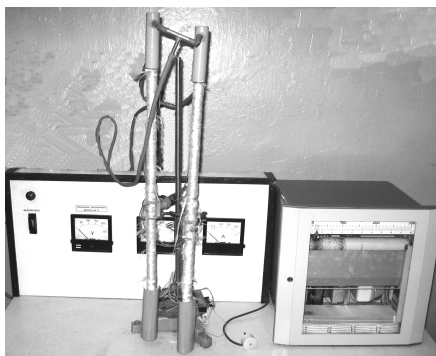


Рис. 4.5. Общий вид лабораторной установки «Тепловая труба»

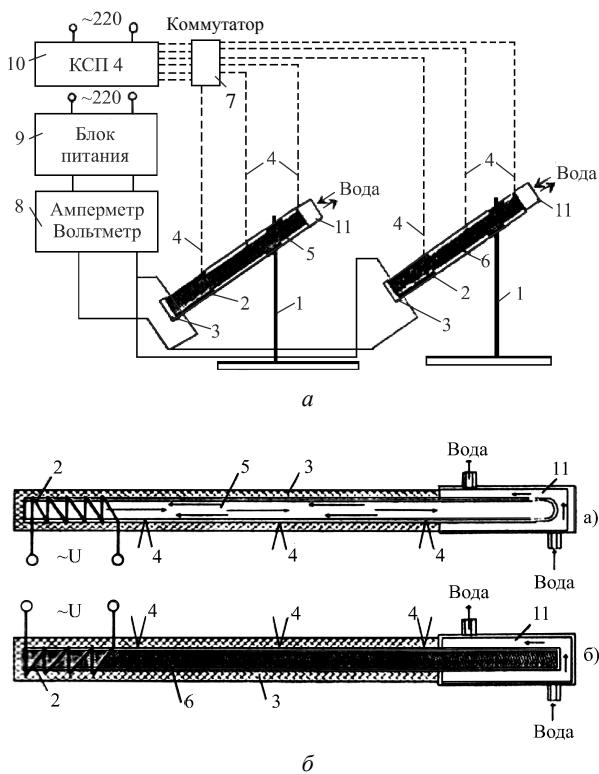


Рис. 4.6. Схема лабораторной установки:
a – принципиальная схема установки; *б* – вид трубы сбоку

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 термодпары 4 (две по концам и одна в центре), определяющие температуры в соответствующих точках.

Порядок выполнения работы

При выполнении работы необходимо соблюдать требования инструкций по охране труда, пожарной безопасности и общие правила при нахождении в учебной лаборатории.

1. Ознакомиться с лабораторной работой.
2. Включить электрические нагреватели.
3. Подготовить таблицу для записи результатов измерений.
4. Записывать через каждые 5 минут показания измерительных приборов в таблицу. После наступления стационарного теплового режима показать результаты измерений преподавателю и приступить к обработке данных.

Таблица

Результаты измерений и вычислений

| Время, мин | U, В | I ₁ , А | I ₂ , А | Температура, °С | | | | | |
|---------------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ | t ₅ | t ₆ |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Обработка результатов измерений

1. Определить электрические мощности, Вт, нагревателей:

$$P_1 = UI_1; \quad (4.1)$$

$$P_2 = UI_2. \quad (4.2)$$

2. Считая, что вся потребляемая нагревателями электрическая мощность превращается в тепловую, определить эффективный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), тепловой трубы и алюминиевого стержня:

$$\lambda = \frac{Pl}{f \Delta t}, \quad (4.3)$$

где l – длина образца, м;

Δt – разность температур на концах образца, °С;

f – площадь поперечного сечения образца, м².

3. 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 и задания

1. Опишите устройство и принцип действия тепловой трубы.
2. Какие есть типы тепловых труб? Чем отличаются их конструкции?
3. Какие достоинства и недостатки тепловых труб вы знаете?
4. Где применяются тепловые трубы?
5. Запишите формулу определения эффективного коэффициента теплопроводности.

Отчет по лабораторной работе № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

Цель работы: _____.

1. Основные сведения.

1.1. Основные сведения об использовании и применении тепловых труб (типы тепловых труб).

1.2. Схема и описание конструкции тепловой трубы (рис. 4.4), описание конструктивных элементов.

1.3. Основные преимущества и недостатки тепловых труб.

1.4. Схема экспериментальной установки и описание конструктивных элементов (рис. 4.6).

2. Результаты измерений.

2.1. Таблица результатов измерений:

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

2.2 Расчет результатов измерений.

3. Вывод.

4. Ответы на контрольные вопросы.

Работу выполнил студент:

Работу принял преподаватель:

« » _____ 20__ г.

« » _____ 20__ г.

ФИО подпись

ФИО подпись

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Гаркуша, К. Э. Источники и системы теплоснабжения. Курсовое проектирование : учебно-методическое пособие / К. Э. Гаркуша, А. Е. Андрейчик, В. Ф. Клинцева. – Минск : БГАТУ, 2017. – 112 с.
2. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» [Электронный ресурс] // Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://energoeffect.gov.by/laws/act>. – Дата доступа: 5.07.22.
3. Кузьмин, С. Н. Нетрадиционные источники энергии: биоэнергетика : учебное пособие / С. Н. Кузьмин, В. И. Ляшков, Ю. С. Кузьмина. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 128 с.
4. Основы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве : учебное пособие / Г. Ф. Добыш [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 343 с.
5. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] // Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://energoeffect.gov.by/programs/basicdocuments/program-2021-2025-103>. – Дата доступа: 5.07.22.
6. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – 2-е изд., стер. – М. : КНОРУС, 2012. – 228 с.

Дополнительная

7. Лосюк, Ю. А. Нетрадиционные источники энергии : учебное пособие / Ю. А. Лосюк, В. В. Кузьмич. – Минск : Технопринт, 2005. – 234 с.
8. Heat Pumps = Тепловые насосы : учебное пособие на англ. языке / Mathias Belraeme [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2015. – 204 с.

Нормативные правовые акты

9. Естественное и искусственное освещение : СН 2.04.03–2020. – Введ. 24.03.21 (с отменой ТКП 45-2.04-153-2009 (02250)). – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 61 с.

10. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность. Строительные нормы Республики Беларусь : СН 2.04.02–2020. – Введ. 30.03.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 21 с.

11. Общественные здания и помещения административного назначения : ТКП 45-3.02-189–2010. – Введ. 15.06.10. – Минск : Минстройархитектуры, 2011. – 20 с.

12. Строительная климатология. Строительные нормы Республики Беларусь : СНБ 2.04.02–2000. – Введ. 01.07.01 (с отменой в Республике Беларусь СНИП 2.01.01-82 в части требований строительной климатологии). – Минск : Минстройархитектуры, 2001. – 38 с.

13. Строительная теплотехника : СП 2.04.01–2020. – Введ. 20.01.21 (с отменой ТКП 45-2.04-43-2006 (02250)). – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 77 с.

14. Тепловые сети : СН 4.02.01–2019. – Введ. 09.07.20 (с отменой ТКП 45-4.02-322-2018 (33020)). – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 44 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исходные данные к расчетному заданию

Таблица А.1

Данные по последней цифре номера зачетной книжки

| Последняя цифра | Наименование здания | Строительный объем, м ³ | Удельная тепловая характеристика, Вт/(м ³ ·°С) | | Расчетная внутренняя температура $t_{в}$, °С | Количество работающих (детей, посетителей), m , чел. | Число часов работы вентиляции $z_{в}$, ч | Тип, количество светильников и ламп*, шт. |
|-----------------|-------------------------|------------------------------------|---|--------------------|---|--|---|---|
| | | | отопления q_0 | вентиляции $q_{в}$ | | | | |
| 1 | Административное здание | 6000 | 0,44 | 0,1 | 18 | 120 | 8 | 200 ЛЛ 4×18; 195 ЛН |
| 2 | Клуб | 5000 | 0,43 | 0,29 | 16 | 100 | 16 | 415 ЛН |
| 3 | Библиотека | 4800 | 0,42 | 0,25 | 16 | 50 | 16 | 200 ЛЛ 4×18 |
| 4 | Торговый центр | 6500 | 0,38 | 0,09 | 15 | 200 | 16 | 250 ЛЛ 2×36; 100 ЛЛ 1×36 |
| 5 | Детский сад | 6000 | 0,39 | 0,12 | 20 | 200 | 16 | 100 ЛЛ 2×36; 150 ЛЛ 1×36 |
| 6 | Ясли | 4500 | 0,44 | 0,13 | 22 | 40 | 16 | 375 ЛН |
| 7 | Больница | 8000 | 0,42 | 0,33 | 20 | 200 | 16 | 400 ЛЛ 2×36 |
| 8 | Поликлиника | 5000 | 0,46 | 0,34 | 20 | 50 | 8 | 100 ЛЛ 2×36; 200 ЛЛ 4×18 |

| Последняя цифра | Наименование здания | Строительный объем, м ³ | Удельная тепловая характеристика, Вт/(м ³ ·°C) | | Расчетная внутренняя температура $t_{в}$, °C | Количество работающих (детей, посетителей), m , чел. | Число часов работы вентиляции $z_{в}$, ч | Тип, количество светильников и ламп*, шт. |
|-----------------|---------------------|------------------------------------|---|--------------------|---|--|---|---|
| | | | отопления q_0 | вентиляции $q_{в}$ | | | | |
| 9 | Школа | 5000 | 0,45 | 0,11 | 18 | 150 | 8 | 300 ЛЛ 2×36 |
| 0 | Лаборатория | 5500 | 0,43 | 1,19 | 16 | 25 | 8 | 460 ЛН |

* Замена светильников осуществляется следующим образом: светильники с лампами накаливания ЛН мощностью 60 Вт подлежат замене светодиодными лампами LED мощностью 11 Вт; люминесцентные лампы ЛЛ мощностью 4×18 Вт подлежат замене лампами LED мощностью 1×32 Вт, 1×36 Вт – лампами LED 1×18 Вт; 2×36 Вт – лампами LED 1×36 Вт.

Таблица А.2

Данные по предпоследней цифре номера зачетной книжки

| Предпоследняя цифра | Область, пункт | Расчетная температура наружного воздуха $t_{н.о}$, °C | Продолжительность отопительного периода $n_{от}$, сут | Средняя температура отопительного периода $t_{ср.от}$, °C | Номера мероприятий по энергосбережению |
|---------------------|----------------------------|--|--|--|--|
| 1 | Минская обл., г. Борисов | -24 | 199 | -1,0 | 1-7 |
| 2 | Могилевская обл., г. Горки | -26 | 205 | -1,8 | 1-3, 5-8 |
| 3 | Гомельская обл., г. Мозырь | -22 | 189 | -0,7 | 1, 2, 5-9 |
| 4 | Гродненская обл., г. Лида | -22 | 195 | -0,3 | 1, 3, 4-8 |

| Предпоследняя цифра | Область, пункт | Расчетная температура наружного воздуха $t_{н.о.}$, °С | Продолжительность отопительного периода n_o , сут | Средняя температура отопительного периода $t_{ср.о.}$, °С | Номера мероприятий по энергосбережению |
|---------------------|----------------------------------|---|---|--|--|
| 5 | Брестская обл., г. Пинск | -21 | 187 | 0,0 | 1, 4-9 |
| 6 | Витебская обл., г. Орша | -25 | 205 | -1,5 | 1-5, 7, 9 |
| 7 | Минская обл., г. Столбцы | -24 | 195 | -0,6 | 1-4, 7-9 |
| 8 | Могилевская обл., г. Костюковичи | -24 | 199 | -0,7 | 1, 2, 4-8 |
| 9 | Гомельская обл., г. Брагин | -22 | 190 | -0,8 | 1, 2, 4, 5-8 |
| 0 | Гродненская обл., г. Ошмяны | -22 | 202 | -0,7 | 1-5, 7, 8 |

Перечень энергосберегающих мероприятий:

1. Замена остекления в двойных переплетах стеклопакетами.
2. Утепление наружных стен.
3. Утепление ниш под радиаторы с установкой отражающих экранов.
4. Утепление кровли.
5. Автоматизация отпуска теплоты на отопление.
6. Установка термостатических регуляторов на отопительных приборах.
7. Замена светильников внутреннего освещения с лампами накаливания или люминесцентными лампами энергосберегающими светодиодными лампами LED.

8. Автоматизация отпуска теплоты на вентиляцию.

9. Автоматизация отпуска теплоты на горячее водоснабжение с заменой скоростного водоподогревателя пластинчатым теплообменником.

Таблица А.3

Данные по последней цифре номера зачетной книжки

| Последняя цифра | Наименование здания | Площадь наружных стен, м ² | Площадь окон, м ² | Площадь ниш под радиаторы, м ² | Площадь кровли, м ² | Количество отопительных приборов, шт. |
|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Административное здание | 876 | 180 | 150 | 990 | 50 |
| 2 | Клуб | 792 | 144 | 130 | 830 | 40 |
| 3 | Библиотека | 744 | 135 | 120 | 800 | 40 |
| 4 | Торговый центр | 940 | 200 | 180 | 1100 | 70 |
| 5 | Детский сад | 900 | 200 | 180 | 1000 | 60 |
| 6 | Ясли | 730 | 130 | 115 | 750 | 30 |
| 7 | Больница | 1168 | 240 | 200 | 1330 | 80 |
| 8 | Поликлиника | 800 | 156 | 130 | 850 | 40 |
| 9 | Школа | 785 | 140 | 126 | 870 | 40 |
| 0 | Лаборатория | 850 | 160 | 145 | 920 | 50 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Мероприятия по реализации основных направлений энергосбережения

на 20_ г. _____

(наименование предприятия)

| № п/п | Код основных направлений энергосбережения | Наименование организаций, мероприятий, работ | Объем внедрения, единиц | Условно-годовой экономический эффект | | Ожидаемый срок внедрения мероприятия, квартал | Ожидаемый эконом. эффект от внедрения мероприятия в текущем году, т у. т. | Срок окупаемости, лет | Объем финансирования, руб. | В том числе источники финансирования, руб. | | | | | | | |
|----------|---|--|-------------------------|--------------------------------------|------|---|---|-----------------------|----------------------------|---|---|------------------------|--------|--|----------------------------------|-----------------------|------|
| | | | | т у. т. | руб. | | | | | Бюджет | | | | Внебюджетный фонд министерств и ведомств | Собственные средства организаций | Кредиты банков, займы | Иные |
| | | | | | | | | | | Республиканский бюджет для финансирования программ госпрограммы | Инновационный фонд министерств и ведомств | Республиканский бюджет | другие | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* Перечень основных направлений энергосбережения регламентируется Указаниями по заполнению формы государственной статистической отчетности 4-энергосбережение (Госстандарт) «Отчет о выполнении мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов и увеличению использования местных топливно-энергетических ресурсов», утвержденными Постановлением Национального статистического комитета Республики Беларусь 02.11.2015 № 176 (приложение В).

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ПЕРЕЧЕНЬ основных направлений энергосбережения

| Код | Основные направления энергосбережения | Единица измерения объема внедрения мероприятий |
|-----|--|--|
| 100 | Ввод в эксплуатацию электрогенерирующего оборудования на основе паро- и газотурбинных, парогазовых, турбодетандерных и газопоршневых установок | МВт |
| 200 | Передача тепловых нагрузок от ведомственных котельных на теплоэлектроцентрали | Гкал/ч |
| 301 | Замена неэкономичных котлов и печей с низким коэффициентом полезного действия на более эффективные | шт. |
| 302 | Замена газогорелочных устройств на энергоэффективные | шт. |
| 303 | Внедрение устройств предотвращения накипеобразования на поверхностях нагрева котлов и другого оборудования (магнитно-импульсные и другие) | шт. |
| 304 | Перевод котлов с жидких видов топлива на газ | шт. |
| 305 | Внедрение котлов малой мощности вместо незагруженных котлов большой мощности | шт. |
| 306 | Внедрение автоматизации процессов горения топлива в котлоагрегатах и другом топливоиспользующем оборудовании | шт. |
| 307 | Другие мероприятия по повышению эффективности работы котельных и технологических печей | шт. |
| 400 | Внедрение частотно-регулируемых электроприводов на механизмах с переменной нагрузкой (сетевые теплофикационные насосные, канализационные насосные станции, системы водоснабжения, тягодутьевые механизмы котлов и др.) | шт. |

| Код | Основные направления энергосбережения | Единица измерения объема внедрения мероприятий |
|------|--|--|
| 501 | Замена морально устаревших теплообменников на более эффективные | шт. |
| 502 | Децентрализация теплоснабжения с ликвидацией длинных и незагруженных паро- и теплотрасс | пог. м |
| 503 | Замена изношенных теплотрасс с внедрением эффективных трубопроводов (предварительно изолированных труб) | пог. м |
| 504 | Внедрение индивидуальных тепловых пунктов вместо центральных тепловых пунктов | шт. |
| 505 | Другие мероприятия по оптимизации теплоснабжения | ед. |
| 600 | Внедрение приборов автоматического регулирования в системах тепло-, газо-, и водоснабжения | шт. |
| 700 | Децентрализация воздухообеспечения с установкой локальных компрессоров | шт. |
| 800 | Децентрализация систем удаления отработанного воздуха с установкой локальных отсосов | шт. |
| 900 | Децентрализация холодоснабжения с установкой локальных холодильных установок | шт. |
| 1001 | Внедрение в производство современных энергоэффективных и повышение энергоэффективности действующих технологий и процессов | ед. |
| 1002 | Внедрение в производство современного энергоэффективного оборудования и материалов | шт. |
| 1003 | Внедрение в производство современного энергоэффективного оборудования с увеличением использования электрической энергии и с замещением углеводородного топлива | шт. |

| Код | Основные направления энергосбережения | Единица измерения объема внедрения мероприятий |
|------|---|--|
| 1100 | Автоматизация технологических процессов, внедрение автоматизированной системы управления «Энергоэффективность» | ед. |
| 1200 | Ликвидация электронагрева с переводом технологического оборудования на современные высокоэкономичные энергоносители (природный газ, высокотемпературные жидкости и др.) | шт. |
| 1301 | Термореновация ограждающих конструкций зданий, сооружений, жилищного фонда | м ² |
| 1302 | Замена оконных блоков и входных групп с установкой стеклопакетов | м ² |
| 1400 | Внедрение инфракрасных излучателей для локального обогрева рабочих мест и в технологических процессах | шт. |
| 1501 | Внедрение автоматических систем управления освещением | ед. |
| 1502 | Внедрение энергоэффективных осветительных устройств, секционного разделения освещения | шт. |
| 1601 | Ввод теплоэлектростанций, работающих на местных топливно-энергетических ресурсах | МВт |
| 1602 | Ввод новых котлов и другого топливоиспользующего оборудования, работающего на местных топливно-энергетических ресурсах | шт. |
| 1603 | Перевод котлов и другого топливоиспользующего оборудования на использование местных топливно-энергетических ресурсов | шт. |
| 1606 | Ввод энергогенерирующего и технологического оборудования, работающего с использованием отходов производства | шт. |

| Код | Основные направления энергосбережения | Единица измерения объема внедрения мероприятий |
|------|---|--|
| 1607 | Внедрение мероприятий по увеличению использования энергии воды, ветра, солнца, геотермальных источников | шт. |
| 1608 | Внедрение биогазовых установок | шт. |
| 1609 | Другие мероприятия по увеличению использования местных топливно-энергетических ресурсов | ед. |
| 1700 | Замена насосного оборудования более энергоэффективным | шт. |
| 1800 | Утилизация тепловых вторичных энергетических ресурсов | шт. |
| 1801 | Ввод энергогенерирующего и технологического оборудования, работающего с использованием вторичных энергетических ресурсов избыточного давления | шт. |
| 1900 | Прочие мероприятия по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов | ед. |

Примечание. Объем внедрения мероприятий, измеряемый в штуках, означает количество введенных единиц оборудования, в единицах – количество внедренных мероприятий.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Гаркуша Карина Эдуардовна,
Клинцева Валентина Федоровна,
Андрейчик Алла Евгеньевна и др.

**ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ.
ПРАКТИКУМ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *А. М. Кравцов*
Редактор *Д. О. Михеева*
Корректор *Д. О. Михеева*
Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*
Дизайн обложки *А. А. Покало*

Подписано в печать 12.04.2023. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 6,28. Уч.-изд. л. 4,91. Тираж 99 экз. Заказ 11.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.