

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Разработка, эксплуатация нефтяных
месторождений и транспорт нефти»**

Н. С. Терлецкая

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

ПРАКТИКУМ

**по одноименной дисциплине
для студентов специальности
1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2018

УДК 622.2:621.311.017(075.8)
ББК 33-42я73
Т35

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 4 от 12.12.2017 г.)*

Рецензенты: зав. лаб. разработки документов в области охраны труда,
промышленной и пожарной безопасности БелНИПИнефть
РУП «Производственное объединение Белоруснефть»
канд. техн. наук, доц. *Е. Е. Кученева*;
доц. каф. «Разработка, эксплуатация нефтяных месторождений
и транспорт нефти» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *М. Е. Лебешков*

Терлецкая, Н. С.

Т35 Основы энергосбережения : практикум по одной дисциплине для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» днев. и заоч. форм обучения / Н. С. Терлецкая. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 79 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-373-8.

Рассмотрены мировые и государственные показатели и мероприятия по эффективному использованию энергетических ресурсов в добыче нефти и бурении скважин.

Для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» дневной и заочной форм обучения.

УДК 622.2:621.311.017(075.8)
ББК 33-42я73

ISBN 978-985-535-373-8

© Терлецкая Н. С., 2018
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2018

Содержание

Введение	4
<i>Практическое занятие № 1</i>	
Виды топлива. Традиционные способы получения тепловой и электрической энергии	6
<i>Практическое занятие № 2</i>	
Прямое преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую	15
<i>Практическое занятие № 3</i>	
Транспортирование и потребление тепловой и электрической энергии	23
<i>Практическое занятие № 4</i>	
Изучение принципа преобразования энергии ветра в электрическую энергию	24
<i>Практическое занятие № 5</i>	
Вторичные энергетические ресурсы	39
<i>Практическое занятие № 6</i>	
Энергосбережение в быту	44
<i>Практическое занятие № 7</i>	
Изучение энергосберегающих отопительных приборов	58
<i>Практическое занятие № 8</i>	65
Определение и оптимизация расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение	65
Литература	78

ВВЕДЕНИЕ

История земной цивилизации неразрывно связана с разработкой и совершенствованием технологий, требующих все больших затрат топливно-энергетических и сырьевых ресурсов. Чем более развито общество, тем больше оно производит сложного энергоемкого и наукоемкого продукта.

Так сложилось, что для осуществления всех основных технических процессов люди используют все большее количество энергоресурсов из источников, накопленных планетой за длительный доантропологический период ее существования (нефть, газ, уголь, ядерное топливо). Расходование этой энергии стало фактором, влияющим на экологию Земли. Только в XX в. человечество израсходовало больше ресурсов, чем за весь предыдущий период своего существования. Ввиду ограниченности запасов ископаемых топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) следует ожидать их истощения в обозримом будущем. При этом в атмосфере и биосфере Земли стали заметны экологические изменения, которые могут существенно ухудшить условия существования флоры и фауны планеты, а также условия жизни для людей.

В этой ситуации назрела насущная необходимость перехода от высокоэнергозатратных технологий, использования ископаемых видов топлива к эффективным малоэнергозатратным технологиям и замене традиционных видов ТЭР альтернативными, в качестве которых выступают солнечная энергия, энергия ветра, биомасса, вторичные энергоресурсы.

Решением проблем энергосбережения занимаются правительства, научные работники и промышленники во многих странах. Острота этих проблем обозначилась еще в бывшем СССР, где вопросы энергосбережения в теоретическом плане учеными прорабатывались еще в 40-е и 50-е гг. прошлого столетия. Однако при больших природных запасах ископаемых ТЭР и их дешевизне внедрение прогрессивных научных разработок проходило медленно. Поэтому к началу 90-х гг. сложилась такая ситуация, что энергозатратность отечественной промышленной продукции была в 2–2,5 раза выше, чем аналогичная продукция развитых зарубежных стран. В аграрном секторе положение выглядело еще хуже. Энергозатраты на производство основных видов продукции АПК были в 3–4 раза выше по сравнению с такими государствами, как США, Бельгия, Голландия и др.

После распада Советского Союза в нашей республике была осознанно начата работа по переводу экономики на энергосберегаю-

щую основу. Был создан Государственный комитет по энергосбережению и энергонадзору (1993 г.), который в 2001 г. переименован в Комитет по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь, принята Государственная программа «Энергосбережение» (1995 г.) и Закон «Об энергосбережении» (1998 г.), благодаря чему энергосбережение было возведено в ранг государственной политики. Начиная с 1995 г. разрабатываются программы по энергосбережению по отраслям, по предприятиям и другие руководящие документы по вопросам энергосбережения. Благодаря целенаправленной политике по энергосбережению на всех уровнях – от уровня предприятия до государственного, – достигнуты определенные успехи. Целью данного практикума является ознакомление студентов аграрных специальностей с основными понятиями из области энергетики, с производством основных видов энергии при использовании как традиционных ископаемых ТЭР, так и альтернативных ТЭР, а также формирование правильного подхода к решению проблем повышения энергоэффективности использования ТЭР на основе мирового опыта и государственной политики в области энергосбережения.

Дисциплина «Основы энергосбережения» введена в учебные планы высших учебных заведений. Поставлена задача качественно нового уровня образования инженерного корпуса в области энергосбережения с учетом современных задач государства.

Практическое занятие № 1

ВИДЫ ТОПЛИВА. ТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Ключевые слова: тепловая энергия, электрическая энергия, конденсационные электрические станции, гидравлические электрические станции, атомные электрические станции.

Цель работы: изучение принципа преобразования солнечной энергии в электрическую; исследование основных технических характеристик солнечного модуля.

Общие сведения

По определению Д. И. Менделеева, «*топливом называется горючее вещество, умышленно сжигаемое для получения теплоты*». Минеральное топливо – основной источник энергии в современном хозяйстве и важнейшее промышленное сырье. Переработка минерального топлива является базой формирования промышленных предприятий, в том числе нефтехимических, газохимических, торфобрикетных и т. п.

Топливо подразделяют на следующие четыре группы: 1) *твердое*; 2) *жидкое*; 3) *газообразное*; 4) *ядерное*.

Самым первейшим видом твердого топлива были (а во многих местах остаются и в настоящее время) древесина и другие растения: солома, камыш, стебли кукурузы и т. п.

Применение нефти (жидкий вид топлива) и природного газа в сочетании с развитием электроэнергетики, а затем и освоение энергии атома позволили промышленно развитым странам осуществить грандиозные преобразования, итогом которых стало формирование современного облика Земли.

К твердому виду топлива относят:

- *древесину*, другие продукты растительного происхождения;
- *уголь* (с его разновидностями: каменный, бурый);
- *торф*;
- *горючие сланцы*.

Ископаемые твердые топлива (за исключением сланцев) являются продуктом разложения органической массы растений. Самый мо-

лодой из них *торф*, представляющий собой плотную массу, образовавшуюся из перегнивших остатков болотных растений. Следующими по «возрасту» являются *бурые угли* – землистая или черная однородная масса, которая при длительном хранении на воздухе частично окисляется (выветривается) и рассыпается в порошок. Затем идут *каменные угли*, обладающие, как правило, повышенной прочностью и меньшей пористостью. Органическая масса наиболее старых из них – *антрацитов* – претерпела наибольшие изменения и на 93 % состоит из углерода. Антрацит отличается высокой твердостью.

Горючие сланцы представляют собой полезное ископаемое из группы твердых каустобиолитов, дающее при сухой перегонке значительное количество смолы, близкой по составу к нефти. Залежи горючих сланцев в Беларуси находятся на юге республики (Туровское месторождение в Гомельской области, Любанское – в Солигорском и Любанском районах Минской области). Открыты они в 1963 г. Прогнозные запасы составляют 11 млрд т, в том числе промышленные на глубине 300 м – 3,6 млрд т, что соответствует 792 млн т у. т. Наиболее изученным является Туровское месторождение.

Жидкие виды топлива получают путем переработки нефти. Сырую нефть нагревают до 300–370 °С, после чего полученные пары разгоняют на фракции, конденсирующиеся при различной температуре:

- сжиженный газ (выход около 1 %);
- бензиновую (около 15 %, $t_k = 30\text{--}180$ °С);
- керосиновую (около 17 %, $t_k = 120\text{--}135$ °С);
- дизельную (около 18 %, $t_k = 180\text{--}350$ °С).

Жидкий остаток с температурой начала кипения 330–350 °С называется *мазутом*.

Газообразными видами топлива являются *природный газ*, добываемый как непосредственно, так и попутно с добычей нефти (*попутный газ*). Основным компонентом природного газа является метан CH_4 и в небольшом количестве азот N_2 , высшие углеводороды C_nH_m , диоксид углерода CO_2 . Попутный газ содержит меньше метана, чем природный, но больше высших углеводородов, и поэтому выделяет при сгорании больше теплоты.

Широкое распространение в промышленности и особенно в быту находит *сжиженный газ*, получаемый при первичной переработке нефти. На металлургических заводах в качестве попутных продуктов получают *коксовый* и *доменный газы*. Они используются здесь же на заводах для отопления печей и технологических аппаратов. В районах

расположения угольных шахт своеобразным топливом может служить *метан*, выделяющийся из пластов при их вентиляции. Газы, получаемые путем газификации (*генераторные*) или путем сухой перегонки (нагрев без доступа воздуха) твердых топлив, в большинстве стран практически вытеснены *природным газом*, однако в настоящее время снова возрождается интерес к их производству и использованию.

В последнее время все большее применение находит *биогаз* – продукт анаэробной ферментации (сбраживания) органических отходов (навоза, растительных остатков, мусора, сточных вод и т. д.).

Ядерным топливом является *уран*.

Анализ оценки обеспеченности ТЭР показывает, что наиболее дефицитным видом топлива является нефть. Ее хватит по разным источникам на 250 лет. Затем, через 35–64 года, истощатся запасы горючего газа и урана. Лучше всего обстоит дело с углем, запасы которого в мире достаточно велики, и обеспеченность углем составит 218–330 лет.

В Республике Беларусь собственные топливно-энергетические ресурсы представлены древесиной, нефтью, торфом, бурым углем, горючими сланцами. Общие запасы древесины в стране оцениваются примерно в 1 093,2 млн м³, что составляет около 1 % запасов древесины СНГ. Лесистость территории – 38 %. Запас спелого древостоя составляет около 74,7 млн м³. На душу населения приходится 0,6 га леса и 93 м³ запасов древесины. Средний возраст древостоя – 40 лет, средний прирост – 3,7 м³ на 1 га; средний запас на 1 га в спелых лесах – 205 м³. Основная часть лесов (45 %) приходится на Гомельскую и Минскую области.

Значение древесины в топливном балансе страны пока незначительно, поскольку начавшаяся в 1960 г. и продолжающаяся сейчас повсеместная газификация вытеснила древесину как вид топлива, а работающие на отходах котельные деревообрабатывающих предприятий были переведены на газ. В последнее время в связи с возникшими проблемами в использовании дорогостоящего покупного топлива, в первую очередь газа, на древесное топливо, особенно на отходы деревообработки, переходит все больше субъектов хозяйствования.

Основной нефтегазоносной территорией Беларуси является Припятский прогиб. Известно 55 месторождений нефти, в том числе 53 – в Гомельской и 2 – в Могилевской областях. Разрабатываются 33 месторождения, крупнейшее из которых – Речицкое, эксплуатируется с 1965 г.

Экономические расчеты, сравнение показателей топливоиспользующих устройств между собой и планирование необходимо осуществлять на единой базе. Поэтому введено понятие так называемого *условного топлива*.

Условное топливо представляет собой единицу учета органического топлива, применяемую для сопоставления эффективности различных видов топлива и суммарного учета. Использование условного топлива особенно удобно для сопоставления экономичности различных теплоэнергетических установок.

В качестве единицы условного топлива применяется 1 кг топлива с теплотой сгорания 7 000 ккал/кг (29,3 МДж/кг), что соответствует хорошему малозольному сухому углю. Для сравнения укажем, что бурые угли имеют теплоту сгорания менее 24 МДж/кг, а антрациты и каменные угли – 23–27 МДж/кг. Соотношение между условным топливом и натуральным выражается формулой

$$B_{\text{т}} = \left(\frac{Q_{\text{Н}}^{\text{P}}}{7\,000} \right) B_{\text{н}} = \mathcal{E} B_{\text{н}}, \quad (1.1)$$

где $B_{\text{т}}$ – масса эквивалентного количества условного топлива, кг;
 $Q_{\text{Н}}^{\text{P}}$ – низшая теплота сгорания данного натурального топлива, ккал/кг; $B_{\text{н}}$ – масса натурального топлива, кг.

Соотношение $\mathcal{E} = Q_{\text{Н}}^{\text{P}} / 7\,000$ называется *калорийным коэффициентом*, и его принимают:

- для нефти – 1,43;
- природного газа – 1,15;
- торфа – 0,34–0,41 (в зависимости от влажности);
- торфобрикетов – 0,45–0,6 (в зависимости от влажности);
- дизтоплива – 1,45;
- мазута – 1,37.

Теплотворная способность различных видов топлива составляет примерно:

- нефть – 42,00 МДж/кг;
- природный газ – 33,60 МДж/м³;
- каменный уголь – 29,40 МДж/кг;
- дрова влажностью: 10 % – 16,38 МДж/кг;
- 40 % – 10,08 МДж/кг;

- торф влажности: 10 % – 17,20 МДж/кг;
40 % – 10,50 МДж/кг.

Энергия (от греч. *energeie* – действие, деятельность) представляет собой общую количественную меру движения и взаимодействия всех видов материи. Это способность к совершению работы, а работа совершается тогда, когда на объект действует физическая сила (давление или гравитация). *Работа* – это энергия в действии.

Во всех механизмах при совершении работы энергия переходит из одного вида в другой. Но при этом нельзя получить энергии одного вида больше, чем другого, при любых ее превращениях, так как это противоречит закону сохранения энергии.

Различают следующие виды энергии: механическая, электрическая, тепловая, магнитная, атомная.

Электрическая энергия является одним из совершенных видов энергии. Ее широкое использование обусловлено следующими факторами:

- получением в больших количествах вблизи месторождения ресурсов и водных источников;
- возможностью транспортировки на дальние расстояния с относительно небольшими потерями;
- способностью трансформации в другие виды энергии: механическую, химическую, тепловую, световую;
- отсутствием загрязнения окружающей среды;
- внедрением на основе электроэнергии принципиально новых прогрессивных технологических процессов с высокой степенью автоматизации.

Тепловая энергия широко используется на современных производствах и в быту в виде энергии пара, горячей воды, продуктов сгорания топлива. Преобразование первичной энергии во вторичную, в частности, электрическую, осуществляется на станциях, которые в своем названии содержат указания на то, какой вид первичной энергии преобразуется на них в электрическую:

- на тепловой электрической станции (ТЭС) – тепловая;
- гидроэлектростанции (ГЭС) – механическая (энергия движения воды);
- гидроаккумулирующей станции (ГАЭС) – механическая (энергия движения предварительно наполненной в искусственном водоеме воды);
- атомной электростанции (АЭС) – атомная (энергия ядерного топлива);
- приливной электростанции (ПЭС) – приливов.

В Республике Беларусь более 95 % энергии вырабатывается на ТЭС, которые по назначению делятся на два типа: 1) конденсационные тепловые электростанции (КЭС), предназначенные для выработки только электрической энергии; 2) теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), на которых осуществляется комбинированное производство электрической и тепловой энергии.

Тепловая электростанция включает комплекс оборудования, в котором внутренняя химическая энергия топлива (твердого, жидкого или газообразного) превращается в тепловую энергию воды и пара, преобразующуюся в механическую энергию вращения, которая и вырабатывает электрическую энергию.

Котельная установка представляет собой комплекс устройств для получения водяного пара под давлением или горячей воды. Она состоит из котлоагрегата и вспомогательного оборудования, газо- и воздухопроводов, трубопроводов пара и воды с арматурой, тягодутьевых устройств и др.

Районные, или производственные, котельные предназначены для централизованного теплоснабжения жилищно-коммунального хозяйства или самого предприятия. С вводом в действие ТЭЦ некоторые из них остались без дела и могут использоваться как резервные и пиковые, и тогда их называют резервнопиковыми.

Газотурбинная установка – это двигатель, в лопаточном аппарате которого потенциальная энергия газа преобразуется в кинетическую энергию и затем частично превращается в механическую работу, которая преобразуется в электрическую энергию.

Парогазовая установка – это турбинная теплосиловая установка, в тепловом цикле которой используются два рабочих тела – водяной пар и дымовые газы, поступающие из котлоагрегата.

Гидроэлектростанция представляет собой комплекс гидротехнических сооружений и энергетического оборудования, посредством которых энергия водных потоков или расположенных на относительно более высоких уровнях водоемов преобразуется в электрическую энергию.

Технологический процесс получения электроэнергии на ГЭС включает:

- создание разных уровней воды в верхнем и нижнем бьефах;
- превращение энергии потока воды в энергию вращения вала гидравлической турбины;
- превращение гидрогенератором энергии вращения в энергию электрического тока.

Гидроаккумулирующая электростанция представляет собой такую гидроэлектростанцию, в которой поступление воды в водоем верхнего бьефа обеспечивается искусственно, посредством насосов, работающих за счет электроэнергии из системы. Она оборудована, кроме турбин, насосами (помпами) или только турбинами, которые могут работать в режиме помп (обратные турбины) для подъема воды в часы малых нагрузок в энергосистеме с нижнего бьефа в водохранилище верхнего бьефа за счет подключения к энергосистеме. При больших нагрузках ГАЭС работают как обычные ГЭС.

Тепловые схемы АЭС зависят от типа реактора, вида теплоносителя, состава оборудования и могут быть одно-, двух- и трехконтурными.

Пар вырабатывается непосредственно в реакторе и поступает в паровую турбину. Отработанный пар конденсируется в конденсаторе, и конденсат подается насосом в реактор. Схема проста, экономична. Однако пар (рабочее тело) на выходе из реактора становится радиоактивным, что предъявляет повышенные требования к биологической защите и затрудняет проведение контроля и ремонта оборудования.

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) – это тепловая электростанция, вырабатывающая не только электрическую энергию, но и тепло, отпускаемое потребителям в виде пара и горячей воды для коммунально-бытового потребления. При такой комбинированной выработке тепловой и электрической энергии в тепловую сеть отдается теплота отработавшего в турбинах пара (или газа), что приводит к снижению расхода топлива на 25–30 % по сравнению с отдельной выработкой энергии на КЭС или ГРЭС (государственные районные электростанции) и теплоты в районных котельных.

Тепловая энергия широко используется на современных производствах и в быту в виде энергии пара, горячей воды, продуктов сгорания топлива.

Электрическая энергия является одним из наиболее совершенных видов энергии ввиду ряда достоинств.

Электрическая и тепловая энергия производятся:

- на *тепловых* электрических станциях на органическом топливе (ТЭС) с использованием в турбинах водяного пара (паротурбинные установки – ПТУ), продуктов сгорания (газотурбинные установки – ГТУ), их комбинаций (парогазовые установки – ПГУ);
- *гидравлических* электрических станциях (ГЭС), использующих энергию падающего потока воды, течения, прилива;

– *атомных* электрических станциях (АЭС), использующих энергию ядерного распада.

Тепловые электрические станции можно разделить на *конденсационные* электрические станции (КЭС), производящие только электрическую энергию, они называются также ГРЭС – государственные районные электростанции, и *теплоэлектроцентрали* (ТЭЦ) – электрические станции, которые вырабатывают тепловую и электрическую энергию.

Процесс производства электроэнергии на ТЭС можно разделить на три цикла: химический – процесс горения, в результате которого теплота передается пару; механический – тепловая энергия пара превращается в энергию вращения; электрический – механическая энергия превращается в электрическую.

Общий коэффициент полезного действия (КПД) (η) ТЭС состоит из произведения КПД циклов:

$$\eta_{\text{ТЭС}} = \eta_{\text{Х}} \eta_{\text{М}} \eta_{\text{Э}}; \quad (1.2)$$

$$\eta_{\text{Х}} \approx \eta_{\text{Э}} \approx 90 \%.$$

Коэффициент полезного действия идеального механического цикла определяется так называемым циклом Карно:

$$\eta_{\text{М}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} 100 \%, \quad (1.3)$$

где T_1 и T_2 – температура пара на входе и выходе паровой турбины.

На современных ТЭС $T_1 = 550 \text{ }^\circ\text{C}$ ($823 \text{ }^\circ\text{K}$), $T_2 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ ($296 \text{ }^\circ\text{K}$):

$$\eta_{\text{М}} = \frac{823 - 296}{823} 100 \% = 64 \%.$$

$$\eta_{\text{ТЭС}} = 0,9 \cdot 0,64 \cdot 0,9 = 0,5.$$

Практически с учетом потерь КПД ТЭС составляет 36–39 %.

Теплота сгорания основных видов органического топлива колеблется:

- 6 200–7 500 кДж/кг – многозольные сланцы, высоковлажный торф, бурый уголь;
- 25 000–29 000 кДж/кг – высококалорийный каменный уголь;
- 33 000–42 000 кДж/кг – нефтепродукты и газ.

В расчетах широко используется понятие условного топлива с теплотой сгорания 29 309 кДж/кг (7 000 ккал/кг).

Порядок выполнения работы

Произвести перерасчет в единицы условного топлива (данные по вариантам).

Задача (пример)

Произвести перерасчет в единицы условного топлива 3 т бурого угля с теплотой сгорания 7 500 кДж/кг.

Решение. Произведем перерасчет 3 т бурого угля в условное топливо. Для этого выполним вычисления:

$$K = \frac{7000}{29309} = 0,256;$$

$$3000 \cdot 0,256 = 0,768 \text{ т у. т.}$$

Таблица 1.1

Данные для расчетов

Номер варианта	Вес топлива	Теплота сгорания
1	3 т бурого угля	7 500 кДж/кг
2	2 т торфа	7 000 кДж/кг
3	4 т бурого угля	7 000 кДж/кг
4	2 т торфа	6 900 кДж/кг
5	2 т бурого угля	7 200 кДж/кг
6	3 т торфа	6 700 кДж/кг
7	1 т бурого угля	6 500 кДж/кг
8	4 т торфа	6 950 кДж/кг
9	5 т бурого угля	7 100 кДж/кг
10	5 т торфа	7 000 кДж/кг
11	3,5 т бурого угля	6 800 кДж/кг
12	1 т торфа	6 850 кДж/кг
13	4,2 т бурого угля	7 300 кДж/кг
14	1,5 т торфа	6 900 кДж/кг
15	1,5 т бурого угля	6 700 кДж/кг
16	2 т торфа	7 000 кДж/кг
17	4 т бурого угля	7 100 кДж/кг
18	3 т торфа	6 790 кДж/кг

Практическое занятие № 2

ПРЯМОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВУЮ И ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

Ключевые слова: солнечная энергия, поток излучения, плотность потока излучения, световой поток, освещенность, фотоэффект, солнечный элемент, модуль, батарея, люксметр, коэффициент преобразования, вольт-амперная характеристика.

Цель работы: изучение принципа преобразования солнечной энергии в электрическую; исследование основных технических характеристик солнечного модуля.

Общие сведения

Солнце является основным источником энергии, обеспечивающим существование жизни на Земле. Вследствие реакций ядерного синтеза в активном ядре Солнца достигаются температуры до 10^7 К. При этом поверхность Солнца имеет температуру около 6 000 К. Электромагнитным излучением солнечная энергия передается в космическом пространстве и достигает поверхности Земли. Вся поверхность Земли получает от Солнца мощность около $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт. Это эквивалентно тому, что менее одного часа получения этой энергии достаточно, чтобы удовлетворить энергетические нужды всего населения земного шара в течение года. 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.

В среднем для создания комфортных условий жизни требуется примерно 2 кВт энергетической мощности на человека или примерно 170 МДж энергии в день. Если принять эффективность преобразования солнечной энергии в удобную для потребления форму 10 % и поток солнечной энергии 17 МДж/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 человек на 1 км^2 на одного человека приходится $2 000 \text{ м}^2$ земной поверхности. Таким образом, достаточно всего 5 % этой площади, чтобы за счет снимаемой с нее солнечной энергии удовлетворить энергетические потребности человека.

Для характеристики солнечного излучения используются следующие основные величины.

Поток излучения – величина, равная энергии, переносимой электромагнитными волнами за одну секунду через произвольную поверхность. Единица измерения – Дж/с = Вт.

Плотность потока излучения (энергетическая освещенность) – величина, равная отношению потока излучения к площади равномерно облучаемой им поверхности. Единица измерения – Вт/м².

Световым потоком называется поток излучения, оцениваемый по его воздействию на человеческий глаз. Человеческий глаз неодинаково чувствителен к потокам света с различными длинами волн. Обычно при дневном освещении глаз наиболее чувствителен к свету с длиной волны 555 нм. Поэтому одинаковые по мощности потоки излучения, но разных длин волн вызывают разные световые ощущения у человека. Единицей измерения светового потока с точки зрения восприятия его человеческим глазом (яркости) является люмен (лм). Световой поток в 1 лм белого света равен $4,6 \cdot 10^{-3}$ Вт (или $1 \text{ Вт} = 217 \text{ лм}$).

Освещенность – величина, равная отношению светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. Освещенность измеряется в люксах (лк). $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$. Для белого света $1 \text{ лк} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$ (или $1 \text{ Вт/м}^2 = 217 \text{ лк}$).

Приборы, предназначенные для измерения освещенности, называются **люксметрами**.

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

При этом самым оптимальным представляется прямое преобразование солнечной энергии в наиболее распространенную в использовании электрическую энергию.

Это становится возможным при использовании такого физического явления, как фотоэффект.

Фотоэффектом называется явление, связанное с освобождением электронов твердого тела (или жидкости) под действием электромагнитного излучения. Различают три вида фотоэффекта: внешний, внутренний и вентильный. Внешний фотоэффект заключается в испускании электронов с поверхности вещества, на которую падает свет. Внутренний фотоэффект связан с увеличением электрической проводимости вещества под действием света.

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 %.

Солнечные элементы последовательно соединяются в солнечные модули, которые в свою очередь параллельно соединяются в солнечные батареи.

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.

Широко известны микрокалькуляторы, часы, радиоприемники и многие другие электронные аппараты, работающие на солнечных батареях. Мировая продажа солнечных модулей составила по суммарной мощности 25 МВт в 1986 г. и около 60 МВт в 1991 г.

Полная стоимость солнечных элементов с 1974 по 1984 г. упала примерно со 100 до 4 долл. США на 1 Вт максимальной мощности. Предполагается снижение этой величины до 0,8 долл. США. Однако даже при полной стоимости солнечных элементов 4 долл. США на 1 Вт плюс вспомогательной аппаратуры 2 долл. США на 1 Вт при облученности местности 20 МДж/м^2 в день и долговечности солнечных батарей 20 лет стоимость вырабатываемой ими электроэнергии составляет примерно 16 центов США за 1 кВт ч (4,4 цента за МДж). Это вполне конкурентоспособно с электроэнергией, вырабатываемой дизельными генераторами, особенно в отдаленных районах, где стоимость доставки топлива и обслуживания резко возрастает. Ожидается, что в ближайшие несколько лет солнечные батареи будут широко использоваться развивающимися странами в сельских местностях в осветительных системах и системах водоснабжения.

Основные компоненты солнечной энергетической установки изображены на рис. 2.1.

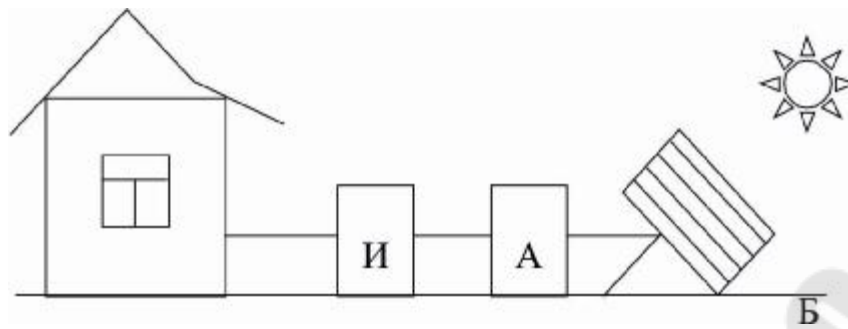


Рис. 2.1. Солнечная энергетическая установка:

И – инвертор для преобразования постоянного тока солнечной батареи в переменный ток промышленных параметров, потребляемый большинством электрических устройств; А – аккумуляторная батарея;
Б – солнечная батарея с приборами контроля и управления

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.

Основным направлением использования солнечной энергии является **теплоснабжение**. Для прямого преобразования солнечной энергии в тепловую разработаны и широко используются на практике установки солнечного теплового отопления или теплоснабжения (СТО) для различных целей (горячее водоснабжение, отопление и кондиционирование воздуха в жилых, общественных, санаторно-курортных зданиях, подогрев воды в плавательных бассейнах и различных процессах сельскохозяйственного производства).

По данным метеорологов в Республике Беларусь 150 дней в году пасмурно, 185 дней – с переменной облачностью и 30 – ясных, а всего число часов солнечного сияния в Беларуси достигает 1 200 ч на севере страны и 1 300 – на юге.

Солнечная электростанция представляет собой сооружение, состоящее из множества солнечных коллекторов, ориентирующихся на Солнце. Каждый коллектор передает солнечную энергию жидкости – теплоносителю, которая, превратившись в пар, от всех коллекторов собирается в центральной энергостанции и поступает на турбину энергогенератора.

Основным элементом солнечной нагревательной системы является приемник, в котором происходит поглощение солнечного излучения и передача энергии жидкости. Опыт эксплуатации этих установок показывает, что в системах солнечного горячего водоснабжения

может быть замещено 40–60 % годовой потребности в органическом топливе в зависимости от района расположения при нагреве воды до 40–60 °С.

Солнечный коллектор включает в себя *приемник*, поглощающий солнечное излучение, и *концентратор*, представляющий собой оптическую систему, собирающую солнечное излучение и направляющую его на приемник. Концентратор представляет собой чаще всего зеркало параболической формы, в фокусе которого располагается приемник излучения. Он постоянно вращается, обеспечивая ориентацию на Солнце.

Фотоэлектрические преобразователи представляют собой устройства, действие которых основано на использовании фотоэффекта, в результате которого при освещении вещества светом происходит выход электронов из металлов (фотоэлектрическая эмиссия или внешний фотоэффект), перемещение зарядов через границу раздела полупроводников с различными типами проводимости (вентильный фотоэффект), изменение электрической проводимости (фотопроводимость). Метод фотоэлектрического преобразования солнечной энергии в электрическую находит применение для питания потребителей в широком интервале мощностей: от минигенераторов для часов и калькуляторов мощностью от несколько ватт до центральных электростанций мощностью несколько мегаватт.

Порядок выполнения работы

А. Определение световой характеристики солнечного модуля.

1. Определение световой характеристики солнечного модуля производится следующим образом:

– устанавливается источник света на прямое излучение на поверхность солнечного модуля;

– люксметром производится измерение освещенности $E_{\text{ср}}$ солнечного модуля;

– по показаниям вольтметра определяется ЭДС, вырабатываемая солнечным элементом;

– проводятся аналогичные измерения при косом падении излучения на поверхность модуля, поворачивая источник света на 10, 20, 30, 40, 50 градусов.

2. Исходные данные, необходимые для расчета световой характеристики солнечного модуля, приведены в табл. 2.2.

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

$$W = 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot E_{\text{ср}} \quad (2.1)$$

4. Вычислить ЭДС, вырабатываемую одним солнечным элементом ЭДС-1, разделив ЭДС на число элементов, входящих в него (36).

5. Все результаты занести в табл. 2.1.

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

Таблица 2.1

Результаты измерений и вычислений

Угол падения излучения, град	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В	W , Вт/м ²	ЭДС-1, В
0				
10				
20				
30				
40				
50				

Таблица 2.2

Исходные данные

Угол падения излучения, град	Вариант задания									
	I		II		III		IV		V	
	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В
0	2960	17,3	2660	17,0	2 360	16,8	2160	16,0	1960	15,8
10	2860	16,5	2580	16,2	2 280	16,0	2080	15,2	1880	15,0
20	2770	15,9	2480	15,6	2 180	15,4	1980	14,6	1780	14,4
30	2710	15,7	2420	15,4	2 120	15,2	1920	14,4	1720	14,2
40	2650	15,5	2360	15,2	2 060	15,0	1860	14,2	1660	14,0
50	2570	15,2	2280	15,0	1 980	14,8	1780	14,0	1580	13,8

Б. Определение вольт-амперной характеристики солнечного модуля.

1. Для определения вольт-амперной характеристики солнечного модуля к цепи модуля подключается нагрузочный резистор 6. С помощью реостата, перемещая его подвижный контакт, изменяется сопротивление нагрузки в цепи и производится измерение напряжения U на солнечном модуле вольтметром 3 и тока I , протекающего по цепи, амперметром 2. Источник света устанавливается на прямое излучение на поверхность солнечного модуля.

С ростом нагрузки увеличивается величина тока и уменьшается напряжение, вырабатываемое модулем.

2. Исходные данные для расчета вольт-амперной характеристики солнечного модуля приведены в табл. 2.4.

3. Для каждого измерения вычислить электрическую мощность в цепи:

$$N = IU. \quad (2.2)$$

4. Все данные занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты измерений и вычислений

Плотность потока излучения, Вт/м ²	Номер измерения	Напряжение U , В	Ток I , А	Мощность N , Вт
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			

5. Построить вольт-амперную характеристику (график зависимости I от U) солнечного модуля при данной плотности потока излучения, значение которой взять из предыдущей серии измерений.

6. Отметить наибольшее значение мощности, вырабатываемой солнечным модулем.

7. Определить коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую:

$$K_{\phi} = W/N. \quad (2.3)$$

Таблица 2.4

Исходные данные

Но- мер изме- рения	Вариант задания									
	I		II		III		IV		V	
	<i>U, В</i>	<i>I, А</i>	<i>U, В</i>	<i>I, А</i>	<i>U, В</i>	<i>I, А</i>	<i>U, В</i>	<i>I, А</i>	<i>U, В</i>	<i>I, А</i>
1	1,5	0,178	2,5	0,170	2,0	0,174	1,0	0,182	3,0	0,168
2	4,0	0,162	5,0	0,155	4,5	0,160	3,0	0,168	6,0	0,150
3	7,5	0,142	7,5	0,137	7,0	0,140	5,0	0,150	9,0	0,127
4	9,0	0,125	10,0	0,120	9,5	0,120	7,0	0,140	11,5	0,105
5	11,0	0,110	12,5	0,095	12,0	0,100	9,0	0,125	13,5	0,085
6	13,0	0,090	15,0	0,065	14,5	0,080	11,0	0,110	15,5	0,060

Практическое занятие № 3

ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ПОТРЕБЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.

Ключевые слова: тепловая энергия, электрическая энергия, система теплоснабжения, электрические сети, линия электропередачи.

Цель работы: изучение методов расчета размера платы за потребление электроэнергии; исследование метода определения потери электроэнергии в линиях.

Общие сведения

Основными потребителями тепловой энергии являются: промышленные предприятия, организации и жилищно-коммунальное хозяйство. Для большинства производственных потребителей требуется тепловая энергия в виде пара либо горячей воды.

Для аграрно-промышленного комплекса потребителями тепловой энергии являются: жилые дома; производственные фонды и административные здания; животноводческие комплексы; тепличные хозяйства; зерносушильные комплексы и агрегаты, а также и другие объекты. Особенностью этих объектов является их рассредоточенность по территории, относительно невысокие потребные мощности, а зачастую – удаленность от централизованных систем теплоснабжения и газопроводов. Эти обстоятельства накладывают специфические требования на используемые системы теплоснабжения.

Система теплоснабжения – это совокупность объектов и устройств по выработке, транспортированию и распределению тепловой энергии. Различают местные и централизованные системы теплоснабжения.

Местные системы теплоснабжения – это системы, обеспечивающие теплом одно или два смежных помещения или один объект. Примером может являться печное отопление сельского дома или система отопления жилого дома с автономной котельной. Централизованные системы отопления обеспечивают тепловой энергией от одного источника (котельная, ТЭЦ) многие объекты.

В жилищно-коммунальном хозяйстве основными потребителями тепловой энергии являются системы отопления жилых и общест-

венных зданий. В жилых и общественных зданиях температура поверхности отопительных приборов в соответствии с требованиями санитарно-гигиенических норм не должна превышать 95 °С, а температура воды в кранах горячего водоснабжения должна быть не ниже 50–60 °С в соответствии с требованиями комфортности и не выше 70 °С по нормам техники безопасности.

Теплоноситель – среда, которая передает теплоту от источника теплоты к нагревательным приборам систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Доставка тепловой энергии от котельных и ТЭЦ к местам ее потребления осуществляется с помощью тепловых сетей. В централизованных системах теплоснабжения в качестве теплоносителя чаще всего используется вода. При этом основным элементом тепловых сетей являются трубопроводы, состоящие из стальных труб, покрытых тепловой изоляцией, из которых сооружаются теплотрассы. В качестве теплоизолирующих материалов используются: минеральная вата, пенобетон, пенополиуретан и др. Лучшими теплоизоляционными и эксплуатационными свойствами обладает пенополиуретан. Промышленностью освоено производство предварительно изолированных труб (ПИ-трубы), которые уже на заводе покрываются пенополиуретаном и защитным слоем. Применение ПИ-труб обеспечивает потери тепла в теплотрассах не более 5–6 %. Срок службы таких труб составляет более 30 лет. В теплотрассах, построенных по старой технологии, потери тепловой энергии для всей республики составляли от 40 до 50 %. Срок службы этих теплотрасс не превышал 10 лет.

Прокладка теплотрасс производится над землей (надземные теплотрассы) и под землей (подземные теплотрассы). При подземной прокладке трубы укладывают либо непосредственно в грунт, либо в бетонированных каналах (канальные теплотрассы). ПИ-трубы допускается укладывать просто в грунт. В 2005 г. за счет применения ПИ-труб для теплотрасс достигнута экономия ТЭР около 28,4 тыс. т у. т. В Государственной программе предусмотрена ежегодная замена 190–200 км трубопроводов тепловых сетей с применением ПИ-труб. В результате будет обеспечено снижение расхода тепла при транспортировании в объеме 25,5 тыс. Гкал в год и снижение износа этих сетей с 78,2 % в 2005 г. до 60,3 % в 2010 г.

Параметры теплоносителей – температура и давление. Вместо давления в практике эксплуатации используется напор Н.

Напор и давление связаны зависимостью

$$H = \frac{P}{\rho g}, \quad (3.1)$$

где H – напор, м; P – давление, Па; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Мощность теплового потока Q (кВт), отдаваемого водой, характеризуется формулой

$$Q = Gc_p(t_1 - t_2), \quad (3.2)$$

где G – массовый расход воды через систему теплоснабжения, кг/с; c_p – удельная теплоемкость воды (4,19 кДж/кг · К); t_1 – температура воды после источника теплоты до системы потребления, °С; t_2 – температура воды после системы потребления до источника теплоты, °С.

В современных системах теплоснабжения применяют следующие значения температур воды: $t_1 = 105$ (95) °С, $t_2 = 70$ °С – в системе отопления жилых и общественных зданий.

Электроэнергетическая система – это объединение электростанций, связанных линиями электропередачи (ЛЭП) и совместно питаемых потребителей электрической энергии. Энергетическая система позволяет рационально использовать оборудование электростанций, более экономно расходовать топливно-энергетические ресурсы и обеспечивает надежное снабжение потребителей электроэнергией.

Электрическая сеть – это совокупность устройств для соединения источников электроэнергии (электростанций) с потребителями. Состоит из ЛЭП, трансформаторных подстанций различного назначения, соединительных кабелей, проводов, коммутационного оборудования и других устройств.

По выполняемым функциям электрические сети делятся на системообразующие, питающие и распределительные.

Системообразующие сети (обычно напряжением 330 кВ и больше) осуществляют функции формирования объединенных энергосистем, включающих мощные электростанции и обеспечивают передачу электроэнергии от этих электростанций (ЛЭП 110–750 кВ и ТП2).

Питающие сети предназначены для передачи электроэнергии от подстанций системообразующей сети к центрам питания распределительных сетей – районным подстанциям. Напряжение питающих сетей 110–220 кВ.

Распределительная сеть обеспечивает передачу электроэнергии на небольшие расстояния от шин нижнего напряжения районных подстанций к промышленным, городским и сельским потребителям. Различают распределительные сети высокого и низкого напряжения. Высокое напряжение обычно имеет значение 6–35 кВ. Распределительные сети подают электроэнергию на потребительские сети, имеющие в своем составе потребительские подстанции (ТП4), на выходе которых получают напряжение 0,4 или 0,66 кВ. Электрические сети сельскохозяйственного назначения в настоящее время выполняются на напряжение 0,4–110 кВ.

Воздушные ЛЭП в качестве основных конструктивных элементов содержат провода, закрепленные на изоляторах, и опоры, к которым прикрепляются провода. Наиболее распространены провода: алюминиевые, сталеалюминевые и из сплавов алюминия. Силовые кабели состоят из одной или нескольких изолированных токопроводящих жил, отделенных от земли защитной изоляцией.

Сельскохозяйственные электрические сети обслуживают сельскохозяйственных потребителей и отличаются большой протяженностью при сравнительно небольшой передаваемой мощности. Это обстоятельство приводит к увеличению потерь электрической энергии на ее передачу и распределение между потребителями, а также увеличивает стоимость передаваемой энергии. Причины потерь: омическое сопротивление проводов; потери в изоляции; коронный разряд; электромагнитное излучение и др. Несколько снизить эти негативные показатели позволит строительство мини-ТЭЦ, работающих на местных видах топлива, а также строительство малых ГЭС, ВЭУ, способных в основном обеспечить электроэнергией близко расположенные сельскохозяйственные потребители. В целом по республике потери на передачу и распределение электроэнергии составляют около 9 %. Снижению этой цифры будут способствовать модернизация существующих и ввод новых электростанций в составе Белорусской энергосистемы, реконструкция ЛЭП и в целом – более равномерное распределение генерирующих мощностей по территории страны.

Наряду с этим имеет место также неравномерность потребления электроэнергии – суточная, месячная и сезонная. Это происходит по причине непостоянства режима работы отдельных потребителей по часам суток и по сезонам.

Режимы работы электростанций и трансформаторных подстанций также меняются с соответствием с изменением потребляемой

мощности всеми энергоприемниками. Это обстоятельство приводит к невозможности соблюдать оптимальные режимы работы электрогенераторов, паровых котлов, трансформаторов на подстанциях. КПД этих устройств снижается, что приводит к перерасходу ТЭР на получение электроэнергии. Уменьшить эти негативные явления возможно двумя путями. Первый путь предполагает использование «демпфирующих» электростанций, в частности ГЭС, которые способны эффективно менять уровень генерируемой мощности и «сглаживать» максимумы и минимумы потребления электроэнергии. Второй путь – равномерное распределение потребляемой мощности по временам суток. Полной равномерности потребления электроэнергии при этом достичь невозможно, так как жизнедеятельность людей связана со сменой дня и ночи. Однако разумное планирование времени работы различных социальных и производственных объектов на протяжении суток может существенно «сгладить» суточную неравномерность потребления электроэнергии. Здесь очень большую роль могут сыграть многоуровневые тарифы на оплату за потребляемую электроэнергию.

Линии электропередач (ЛЭП) вместе с трансформаторными и преобразующими электростанциями (ЭПС) составляют электросеть – основное звено энергетической системы. Общая длина ЛЭП в Беларуси около 270 тыс. км, из них длина самой мощной (750 кВ) Смоленская АЭС – Белорусская ЭПС (возле г. Старые Дороги) только на территории страны составляет 309,5 км. Общая длина ЛЭП мощностью 220–330 кВ – 6 885,3 км. В Беларуси распределение электроэнергии между ее потребителями осуществляет 41 ЭПС мощностью 220 кВ и выше. Самая мощная ЭПС – Белорусская. Всего же насчитывается около 1 300 ЭПС.

Электрические сети. Электроэнергетическая (электрическая) система – это совокупность электрических частей электростанций, электрических сетей и потребителей электроэнергии, связанных общностью режима и непрерывностью процесса производства, распределения и потребления электрической энергии.

Линия электропередачи (воздушная или кабельная) – электроустановка, предназначенная для передачи электрической энергии. Передача электрической энергии от электростанций по линиям электропередачи осуществляется при напряжениях 110–750 кВ.

Определение потери электроэнергии в линиях. Для определения потерь электроэнергии применяют метод, основанный на понятиях времени максимальных потерь (τ) и времени использования максимума нагрузки (T_{\max}).

На основании статистических данных определено среднее число часов использования максимальной нагрузки T_{\max} для характерных групп потребителей:

- внутренне электрическое освещение – 1 500–2 000 ч;
- наружное электрическое освещение – 2 000–3 000 ч; – пром-предприятия, работающие:
 - в одну смену – 2 000–2 500 ч;
 - в две смены – 3 000–4 500 ч;
 - в три смены – 3 000–7 000 ч.

На практике величину максимальных потерь τ определяют по кривым зависимости этого времени от продолжительности использования максимума нагрузки и коэффициента мощности $\cos \varphi$, полученных на основании графиков нагрузки.

Потери энергии в линиях. Эти потери (в кВт · ч и квар · ч) можно определить следующим образом:

$$\Delta W_a = 3I^2 R_{\text{л}} \tau \cdot 10^{-3}; \quad (3.3)$$

$$\Delta W_p = 3I^2 X_{\text{л}} \tau \cdot 10^{-3}, \quad (3.4)$$

где $R_{\text{л}}$ и $X_{\text{л}}$ – соответственно активное и реактивное сопротивление линии, Ом.

При расчетах электрических сетей активное сопротивление R для медных и алюминиевых проводов определяют по формуле

$$R = \frac{l}{\gamma s}, \quad (3.5)$$

где l – длина участка линии (провода), м; γ – удельная проводимость материала жил проводов при данной температуре, м/(Ом · мм²) (для медных проводников = 53; для алюминиевых = 32); s – площадь поперечного сечения, мм².

Индуктивное сопротивление трехфазных линий X можно определить по табл. 3.1.

Индуктивное сопротивление линий

Сечение $S, \text{ мм}^2$	Линия напряжением, кВ							
	Воздушные				Кабельные			
	до 1	6–10	35	до 220	до 1	6	10	35
4–6	–	–	–	–	0,09	–	–	–
10–25	0,36	0,41	–	–	0,07	0,10	0,11	–
35–70	0,38	0,38	0,42	–	0,06	0,08	0,09	–
95–120	0,30	0,35	0,40	–	0,06	0,08	0,08	0,12
150–240	–	–	–	0,40	0,06	0,08	0,08	0,11

Пример 1. Произвести расчет потерь электроэнергии в линии электропередачи, имеющей нижеприведенные параметры.

Исходные данные: линия, питающая наружное освещение; напряжение – 380 В; ток – 99 А; коэффициент мощности ($\cos \varphi = 8$); длина линии – 2 км; сечение кабеля – 35 мм²; материал жил – алюминий.

Решение. Для наружного освещения среднее число часов использования максимальной нагрузки $T_{\max} = 2\ 000$ часов, тогда время потерь $\tau = 1\ 500$ часов.

Вычислим потери электроэнергии в линии. Для этого определим активное сопротивление кабельной линии:

$$R_{\text{л}} = \frac{2\ 000}{32 \cdot 35} = 1,78 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление определим из табл. 3.1:

$$X_{\text{л}} = 0,06 \text{ Ом.}$$

$$\Delta W_a = 3,99^2 \cdot 1,78 \cdot 1500 \cdot 10^{-3} = 64881 \text{ КВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W_p = 3,99^2 \cdot 0,06 \cdot 1500 \cdot 10^{-3} = 2187 \text{ КВт} \cdot \text{ч.}$$

Порядок выполнения работы

Произвести расчет потерь электроэнергии в линии электропередачи, имеющей нижеприведенные параметры.

Исходные данные: линия, питающая наружное освещение; напряжение – 380 В; ток – 99 А; коэффициент мощности ($\cos \varphi = 8$).

Исходные данные

Номер варианта	Длина участка линии (провода), км	Площадь поперечного сечения, мм ²	Удельная проводимость материала жил
1	1	5	53
2	1,5	35	32
3	5	45	53
4	3	55	32
5	2	60	53
6	1	14	32
7	5	106	53
8	3	120	32
9	2	200	53
10	4	35	32
11	2	55	53
12	3	80	32

Расчет размера платы за потребление электроэнергии. В Республике Беларусь для расчетов с потребителями за электрическую энергию применяются одно- и двухставочные тарифы.

Одноставочные тарифы используют для расчета с населением, государственными учреждениями, маломощными промышленными потребителями (мощностью до 750 кВт · А), сельским хозяйствам, электрифицированным транспортом.

Размер платы определяется как произведение цены за 1 кВт · ч на общее потребленное ее количество за данное время (сутки, месяц, квартал, год):

$$П = T_{э\text{э}} \cdot \mathcal{E}_{\text{потр}}, \quad (3.6)$$

где $T_{э\text{э}}$ – тариф на электроэнергию, р./кВт · ч; $\mathcal{E}_{\text{потр}}$ – объем потребления энергии, кВт · ч.

Двухставочный тариф состоит из двух частей основной ставки за 1 кВт мощности, участвующей в максимуме нагрузки энергосистемы, и дополнительной – за 1 кВт · ч потребленной энергии, как при расчетах по одноставочному тарифу.

Плата равна:

$$\Pi = aP_M + v\mathcal{E}_{\text{потр}}, \quad (3.7)$$

где a – ставка максимума нагрузки, р./кВт; P_M – максимум нагрузки; v – ставка за 1 кВт · ч потребленной активной энергии, р./кВт · ч; $\mathcal{E}_{\text{потр}}$ – энергия, потребленная и учтенная по счетчику, кВт · ч.

Пример 2. Произвести расчет платы за пользование электроэнергией по двухставочному тарифу.

Исходные данные: заявленная мощность участия в максимуме энергосистемы – $P_M \cdot 3\,200$ кВт; предприятие потребляет электроэнергию в год – $\mathcal{E}_{\text{потр}} = 8\,600$ тыс. кВт · ч; ставка за 1 кВт заявленной мощности – $a = 13\,508$ р./кВт за месяц.; ставка за 1 кВт · ч потребляемой активной электроэнергии – $v = 125,5$ р./кВт · ч.

Решение. Определим ставку за заявленную мощность:

$$P_p = 3\,200 \cdot 13\,580 \cdot 12 \cdot 518\,707 \text{ тыс. р.}$$

Оплата за потребленную электроэнергию составит:

$$P_3 = 8\,600\,000 \cdot 125,5 \cdot 1\,079\,300 \text{ тыс. р.}$$

Плата энергосистеме за пользование электроэнергией будет равна:

$$\Pi = 518\,707 + 1\,079\,300 \cdot 1\,598\,007 \text{ тыс. р.}$$

Порядок выполнения работы

Произвести расчет платы за пользование электроэнергией по двухставочному тарифу.

Таблица 3.3

Исходные данные

Номер варианта	P_M (кВт)	$\mathcal{E}_{\text{потр}}$ (тыс. кВт · ч)	a (р./кВт за месяц)	v (р./кВт · ч)
1	3 200	8 600	13 508	125,5
2	3 000	8 000	13 000	120
3	3 100	8 500	13 200	115,5
4	3 250	8 400	12 500	130,5

Окончание табл. 3.3

Номер варианта	P_m (кВт)	$\Delta_{\text{потр}}$ (тыс. кВт · ч)	a (р./кВт за месяц)	b (р./кВт · ч)
5	2 800	7 500	12 000	135,5
6	2 900	7 900	13 300	145,5
7	3 000	7 800	11 500	125,8
8	2 700	8 100	10 000	140
9	2 600	8 200	12 680	115
10	2 850	8 300	14 000	129
11	2 950	8 550	12 800	125
12	3 150	8 300	13 550	125,7

Практическое занятие № 4

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

Ключевые слова: энергия ветра, ветроэнергетические установки, ветроколесо, подъемная сила, сила лобового сопротивления, ометаемая площадь, площадь лобового сопротивления, коэффициент мощности.

Цель работы: изучение принципа преобразования энергии ветра в электрическую энергию и устройства ветроколеса; определение коэффициента мощности ветроэнергетической установки.

Общие сведения

Ветер представляет собой движение воздушных масс земной атмосферы, вызванное перепадом температуры в атмосфере из-за неравномерного нагрева ее Солнцем. Таким образом, энергия ветра является преобразованной в механическую энергией Солнца.

Устройства, преобразующие энергию ветра в полезную механическую, электрическую или тепловую энергии, называются ветроэнергетическими установками (ВЭУ).

Энергия ветра в механических установках, например, на мельницах и в водяных насосах используется уже несколько столетий. После резкого скачка цен на нефть в 1973 г. интерес к таким установкам резко возрос. Большая часть существующих ветроустановок построена в конце 70-х – начале 80-х гг. на современном техническом уровне при широком использовании последних достижений аэродинамики, механики, микроэлектроники для контроля и управления ими.

Белорусская энергетическая программа основными направлениями использования ветроэнергетических ресурсов на ближайший период предусматривает их применение для привода насосных установок и в качестве источников энергии для электродвигателей автономного обеспечения. Эти области применения характеризуются минимальными требованиями к качеству электрической энергии, что позволяет резко упростить и удешевить ветроэнергетические установки.

При правильной организации использования ветроэнергетики такой дешевый и неиссякаемый источник энергии, как ветер, может удовлетворить большую часть потребностей в любой отрасли народ-

ного хозяйства. Установки, преобразующие энергию ветра в электрическую, тепловую и механическую, могут обеспечить:

- автономное энергоснабжение различных локальных объектов (оросительные системы, механизмы животноводческих ферм, вентиляцию, устройства микроклимата и т. п.);
- горячее водоснабжение, отопление, энергообеспечение холодильных агрегатов;
- подъем воды для садовых участков, на пастбищах и т. п.;
- откачку воды из систем вертикального и горизонтального дренажа и прочих систем.

По сравнению с другими видами источников энергии ветроэнергетические установки имеют следующие преимущества:

- отсутствие затрат на добычу и транспортировку топлива;
- снижение более чем в 10 раз трудозатрат на сооружение ветроэнергетической установки по сравнению со строительством тепловых или атомных станций;
- широкий технологический диапазон прямого использования энергии ветроустановок (автономность или совместная работа с централизованными сетями, совместимость с другими источниками возобновляемой энергетики и т. п.);
- минимальные сроки ввода мощностей в эксплуатацию;
- улучшение экологической обстановки за счет снижения уровня загрязнения окружающей среды.

Принцип действия и классификация ветроэнергетических установок. В ветроэнергетических установках энергия ветра преобразуется в механическую энергию их рабочих органов. Первичным и основным рабочим органом ВЭУ, непосредственно принимающим на себя энергию ветра и, как правило, преобразующим ее в кинетическую энергию своего вращения, является ветроколесо.

Вращение ветроколеса под действием ветра обуславливается тем, что в принципе на любое тело, обтекаемое потоком газа со скоростью U_0 , действует сила F , которую можно разложить на две составляющие: вдоль скорости набегающего потока, называемую силой лобового сопротивления F_c , и в направлении, перпендикулярном скорости набегающего потока, называемую подъемной силой F_n .

Величины этих сил зависят от формы тела, ориентации его в потоке газа и от скорости газа. Действием этих сил рабочий орган ветроустановки (ветроколесо) приводится во вращение.

Ветроустановки классифицируются по двум основным признакам: геометрии ветроколеса и его положению относительно направления ветра.

Если ось вращения ветроколеса параллельна воздушному потоку, то установка называется горизонтально-осевой, если перпендикулярна – вертикально-осевой.

Ветроколеса с горизонтальной осью вращения, использующие подъемную силу (двух- или трехлопастное ветроколесо), имеют линейную скорость концов лопастей, существенно превышающую скорость ветра.

Ветроустановки, использующие силу лобового сопротивления, состоят из укрепленных вертикально оси лопастей различной конфигурации. Они, как правило, вращаются с линейной скоростью, меньшей скорости ветра.

Каждое ветроколесо характеризуется:

– **ометаемой площадью** S , т. е. площадью, покрываемой его лопастями при вращении, и равной (для горизонтально-осевых ветроколес) $S = \pi D^2/4$, где D – диаметр ветроколеса, либо **площадью лобового сопротивления** (для вертикально-осевых ветроколес) $S = hd$, где h и b – соответственно высота ротора и его средний диаметр;

– **геометрическим заполнением**, равным отношению площади проекции лопастей на плоскость, перпендикулярную потоку, к ометаемой площади (так, при одинаковых лопастях четырехлопастное колесо имеет вдвое большее геометрическое заполнение, чем двухлопастное);

– **коэффициентом мощности** C_N , характеризующим эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока и зависящим от конструкции ветроколеса;

– **коэффициентом быстроходности** Z , представляющим собой отношение скорости конца лопасти к скорости ветра.

Ветроэнергетические установки с большим геометрическим заполнением ветроколеса развивают значительную мощность при относительно слабом ветре и максимум мощности достигается при небольших оборотах колеса. Ветроэнергетические установки с малым заполнением достигают максимальной мощности при больших оборотах и дольше выходят на этот режим. Поэтому первые используются, например, в водяных насосах и даже при слабом ветре сохраняют работоспособность, а вторые – в качестве электрогенераторов, где требуется высокая частота вращения.

Экспериментальная установка. Работа выполняется на аэродинамической трубе 1 (рис. 4.1). В трубе воздушный поток создается осевым вентилятором (на рис. 4.1 не показан). Величина скорости потока в трубе регулируется изменением тока питания вентилятора. Скорость воздушного потока в рабочей области трубы определяется с помощью трубки Пито-Прандтля 2 и микроманометра 3. В рабочую зону трубы 1 установлено ветроколесо 4 с электрическим генератором 5. К генератору подключена нагрузка 6. В цепь нагрузки подключены также вольтметр 7 и амперметр 8.

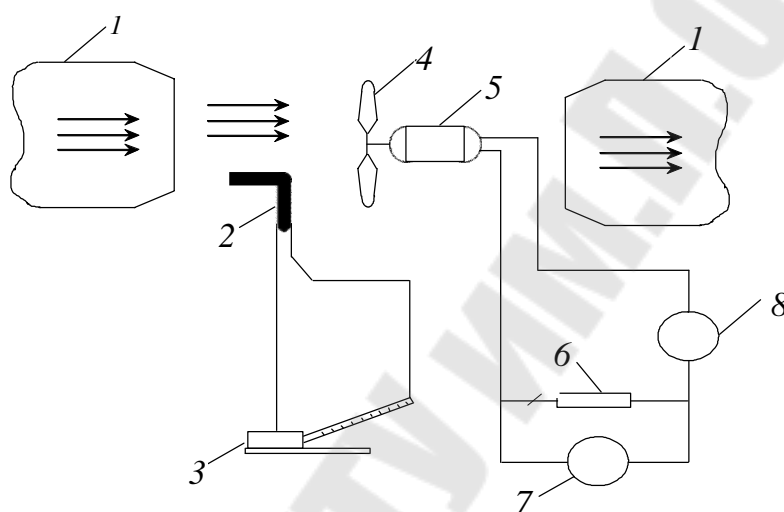


Рис. 4.1. Схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с разными типами ветроколес.
2. Установить репеллерное ветроколесо.
3. Включить блок питания аэродинамической трубы. Установить необходимое значение скорости воздушного потока в рабочей зоне путем изменения тока питания вентилятора.
4. С помощью трубки Пито-Прандтля измерить значение скорости воздушного потока U_0 . Для этого необходимо снять показания микроманометра 3. Данные занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты измерений и вычислений

Тип ветроколеса	Номер опыта	Показания микроманометра $l - l_0$, м	u_0 , м/с	Параметры генератора ветроустановки			c_N
				U , В	I , А	N , Вт	
Репеллерное	1						
	2						
	3						
	4						
Савониуса	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

5. Измерить напряжение U , создаваемое электрическим генератором, и ток I в нагрузке $б$.

6. Изменить величину скорости воздушного потока в аэродинамической трубе. Произвести все вышеперечисленные измерения.

7. Заменить репеллерное ветроколесо на ветроколесо Савониуса и выполнить измерения, описанные в пп. 3–6.

Обработка экспериментальных данных

1. Вычислить скорость потока воздуха U_0 по формуле

$$U_0 = \sqrt{2gK(l - l_0) \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{в}}}}, \quad (4.1)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность спирта в микроманометре ($809,5 \text{ кг/м}^3$); $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха ($1,2 \text{ кг/м}^3$); $l - l_0$ – разность показаний микроманометра, м; K – синус угла наклона трубки микроманометра ($K = 0,2$).

2. Вычислить электрическую мощность генератора $N = UI$.

3. Определить ометаемую площадь для репеллерного ветроколеса по формуле

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (4.2)$$

где D – диаметр ветроколеса ($D = 0,17$ м).

Площадь лобового сопротивления для ветроколеса Савониуса

$$S = hb = 0,012 \text{ м}^2. \quad (4.3)$$

4. Определить коэффициент мощности ветроколеса:

$$c_N = 2N / (S \rho_V u_0^3). \quad (4.4)$$

5. Сравнить коэффициенты мощности различных типов ветроколес при разных скоростях воздушного потока. Провести анализ полученных результатов и построить графики зависимости c_N от u_0 .

6. Исходные данные, необходимые для расчета коэффициента мощности различных типов ветроколес, приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные для расчета

Параметры		Но- мер вари- анта	Тип ветроколеса								
			Репеллерное				Савониуса				
			1	2	3	4	1	2	3	4	5
Показания микроманомет ра $l - l_0$, мм		I	8	15	20	25	5	10	13	19	25
		II	9	14	21	26	6	11	14	18	26
		III	10	15	22	27	7	10	15	20	27
		IV	9	14,5	21	28	6	12	14,5	19	28
		V	10	16	23	29	8	13	16	22	29
Параметры генератора ветроколеса	U, В	I	4,10	9,50	12,2	19,5	3,4	7,1	8,1	10,8	12,8
		II	4,20	10,0	12,6	20,0	3,6	7,6	8,5	11,0	13,1
		III	4,50	9,80	12,9	22,0	3,8	7,1	9,0	11,5	13,4
		IV	4,25	10,0	12,7	23,5	3,65	8,1	8,7	10,9	13,9
		V	4,52	11,0	17,0	25,0	4,1	8,2	9,5	12,1	14,5
	I, мА	I	9,5	20,0	26,0	41,5	7,5	15,5	17,5	23,0	27,5
		II	10,0	19,0	27,5	45,0	8,0	16,5	19,0	22,7	28,5
		III	11,0	20,5	30,5	47,5	9,0	16,0	19,5	23,0	29,5
		IV	10,0	20,0	27,5	53,0	8,5	17,0	20,0	23,5	30,5
		V	11,0	23,0	33,5	60,5	9,5	18,0	22,5	26,5	33,0

Практическое занятие № 5

ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Ключевые слова: тепловые ВЭР, ВЭР избыточного давления, горючие (топливные) ВЭР.

Цель работы: изучение понятия ВЭР; определение экономии топлива за счет использования ВЭР.

Общие сведения

Одним из важных факторов экономии ТЭР является использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), образующихся в одних технологических установках, процессах и направляемых для энергоснабжения других агрегатов и процессов.

По видам энергии ВЭР подразделяются на горючие, тепловые и избыточного давления (табл. 5.1).

Горючие (топливные) ВЭР – это горючие газы и отходы одного производства, которые могут быть применены непосредственно в виде топлива в других производствах. Это доменный газ в металлургии; щепка, опилки, стружка в деревообрабатывающей промышленности; твердые, жидкие промышленные отходы в химической и нефтеперерабатывающей промышленности и т. д.

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

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

**Классификация вторичных энергетических ресурсов
по видам и направлениям их использования**

Вид ВЭР	Носители ВЭР	Энергетический потенциал	Направление и использование способов утилизации
Горючие	Твердые, жидкие, газообразные отходы	Низшая теплота сгорания	Топливное сжигание в топливо-использующих установках
Тепловые	Отходящие газы, охлаждающая вода, отходы производств, промежуточные продукты, готовая продукция	Энтальпия	Тепловое. Выработка в тепло-утилизационных установках водяного пара, горячей воды, использование для покрытия потребности в тепле
Тепловые	Отработанный и попутный пар	Энтальпия	Тепловое и комбинированное покрытие потребности, выработка электроэнергии в конденсационном или теплофикационном турбоагрегате
ВЭР избыточного давления	Газы с избыточным давлением	Работа изотропного расширения	Электроэнергетическое. Выработка электроэнергии в газовом утилизационном турбоагрегате

Температура отходящих газов различных промышленных печей и нагревательных устройств колеблется от 800–900 °С (в печах с регенераторами) до 900–1 200 °С (в термических, прокатных и кузнечных (без регенерации)), что позволяет в котлах-утилизаторах вырабатывать пар высоких параметров для технологических нужд. Кроме того, нагревательные печи, как правило, оборудованы системой охлаждения отдельных элементов конструкции, поэтому при испарительном охлаждении можно получить пар давлением до 4,5 МПа, который используется и в энергетических целях. Так как температура уходящих газов после котлов-утилизаторов все еще достаточно высока (около 200–250 °С), их теплоту целесообразно применять для коммунально-бытовых нужд или отопления (нагрева воды). На предприятиях машиностроения в настоящее время тепловыми отходами являются физическая теплота уходящих газов, теплота охлаждения нагревательных и термических печей, вагранок и др.

В промышленности строительных материалов тепловые ВЭР образуются при обжиге цементного клинкера и керамических изделий, производстве стекла, кирпича, извести, огнеупоров, выплавке теплоизоляционных материалов. К ним относятся физическая теплота уходящих газов различных печей (туннельных, шахтных, вращающихся) и т. д.

Крупными потребителями пара различных параметров, электроэнергии, горячей и тепловой воды, а также холода являются почти все отрасли пищевой промышленности, поэтому и тепловые ВЭР предприятий пищевой промышленности также весьма разнообразны. Это, прежде всего, теплота отходящих горячих газов и жидкостей; жидких и твердых отходов производства; отработанного пара силовых установок и вторичного пара, который получается при выпаривании растворов, ректификации и высушивании; тепловых установок; теплота, содержащаяся в продуктах производства.

Вторичные энергоресурсы имеются также на тепло- и гидроэлектростанциях. На гидроэлектростанциях отходы теплоты образуются в результате тепловыделения в электрогенераторах. Для тепловых электростанций наиболее существенный источник ВЭР – низкопотенциальная теплота нагретой охлаждающей воды конденсационных устройств, с которой может теряться до 50 % теплоты топлива, расходуемого на электростанции. Источником ВЭР считаются также дымовые газы котельных установок на паротурбинных станциях или отходящие продукты сгорания на газотурбинных установках.

Для использования ВЭР применяются утилизационные установки, представляющие собой устройства для выработки энергоносителей (водяного пара, горячей и охлажденной воды, электроэнергии) за счет снижения энергетического потенциала ВЭР. К основным видам *оборудования, применяемого для утилизации ВЭР*, относятся: котлы-утилизаторы; установки испарительного охлаждения; экономайзеры; утилизационные абсорбционные холодильные установки; теплообменники; водоподогреватели; тепловые насосы; утилизационные турбогенераторы и др.

Порядок выполнения работы

Определение объемов выхода и использования ВЭР. Выход и использование ВЭР можно рассчитать:

- 1) в единицу времени (1ч) работы агрегата источника ВЭР;
- 2) в удельных показателях на единицу продукции (сырья).

Удельный (часовой) выход ВЭР определяется произведением удельного (часового) количества энергоносителя на его энергетический потенциал.

Энергетический потенциал энергоносителей можно определить:

- для горячих ВЭР – низшей теплоты сгорания Q_H^P ;
- для тепловых ВЭР – перепадом энтальпий Δh ;
- для ВЭР избыточного давления – работой изоэнтропного расширения l .

В качестве единиц измерения потенциала приняты единицы измерения энергии (кДж, кВт).

Единицы измерения количества энергоносителя служат единицы массы (кг, т); для газообразных теплоносителей – единицы объема (m^3 при нормальных физических условиях ($P \cdot 760$ мм рт. ст. и $t \cdot 0$ °С).

Удельный общий выход ВЭР определяется по формулам:

- для горючих ВЭР

$$q^Г = mQ_H^P, \text{ кДж/ч}; \quad (5.1)$$

- для тепловых ВЭР

$$q^Т = mc(t - t_0) = mh, \text{ кДж/ч}; \quad (5.2)$$

- для ВЭР избыточного давления

$$q^И = ml, \text{ кДж/ч}; \quad (5.3)$$

- общий объем выхода ВЭР

$$Q_{\text{ВЫХ}} = qM = q_x \tau, \quad (5.4)$$

где m – удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов, $\text{кг}(m^3)/\text{ч}$; Δh – располагаемый перепад энтальпий энергоносителя, кДж/кг ; l – работа изоэнтропного расширения, кДж/кг ; Q – общий объем выхода ВЭР за рассматриваемый период, кДж ; M – выход основной продукции или расход сырья (топлива) за рассматриваемый период; τ – число часов работы установки – источника ВЭР за указанный период; q – удельный выход ВЭР.

В расчетах ВЭР обычно определяют средний выход ВЭР для установившегося технологического режима.

Выход ВЭР за рассматриваемый период (сутки, месяц, квартал, год) определяют исходя из удельного или часового выхода, по формуле

$$Q_{\text{ВЫХ}} = q\Pi 10^{-6}, \text{ Г} \quad (5.5)$$

или

$$Q_{\text{ВЫХ}} = q_{\text{ч}}\tau 10^{-6}, \text{ ГДж}, \quad (5.6)$$

где q – удельный выход ВЭР, кДж/ед. продукции; Π – выпуск основной продукции (расход сырья, топлива), к которой отнесен удельный выход ВЭР, за рассматриваемый период, ед. продукции; $q_{\text{ч}}$ – часовой выход ВЭР, кДж/ч; τ – время работы агрегата-источника ВЭР за рассматриваемый период, ч.

Определение экономии топлива за счет использования ВЭР.

Экономия топлива в целом зависит от направления использования ВЭР и схемы энергоснабжения предприятия, где они используются.

Различают направления: тепловое, электроэнергетическое, комбинированное и тепловое.

При тепловом направлении использования и отдельной схеме энергоснабжения предприятия экономию топлива определяют по формуле

$$B_{\text{ЭК}} = b_3 Q_{\text{И}} = b_3 Q_{\text{Т}} \sigma, \text{ т у. т.}, \quad (5.7)$$

где b_3 – удельный расход топлива на выработку тепловой энергии в замещающей котельной установке, т у. т./ГДж (Гкал); $Q_{\text{И}}$ – использование тепловых ВЭР, ГДж (Гкал); $Q_{\text{Т}}$ – выработка тепловой энергии за счет ВЭР в утилизационной установке, ГДж (Гкал); σ – коэффициент использования тепловой энергии, выработанной за счет ВЭР.

Для расчетов используйте данные, приведенные в теоретической части курса.

Практическое занятие № 6

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БЫТУ

Ключевые слова: энергосбережение, системы отопления, электроэнергия.

Цель работы: изучение понятия «энергосбережение»; определение размера платы за электроэнергию населением.

Общие сведения

В жилищном хозяйстве потребляется около 30 % тепловой энергии, получаемой от сжигания твердого и газообразного топлива, добываемого в стране и ввозимого из России. Поэтому экономия теплоты является важнейшей народнохозяйственной задачей. Суммарная потребность эксплуатируемых жилых зданий в тепловой энергии примерно в 30 раз больше этой потребности для новых жилых зданий.

Существующий перерасход тепловой энергии в эксплуатируемых жилых зданиях по сравнению с расчетным расходом сейчас оценивается в среднем в 25 % и более.

Причины перерасхода тепла:

- пониженные теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций – стен, заполнение световых проемов (окон, балконных дверей), совмещенных покрытий зданий;
- перерасход теплоты, расходуемой на нагрев наружного воздуха, проникающего в помещения через неплотности в притворах оконных проемов, балконных и входных дверей (из-за большой щелистости);
- отсутствие регуляторов систем отопления, что приводит к перегреву ряда помещений зданий;
- работа котельных с низким коэффициентом полезного действия; перерасход горячей воды, поступающей из системы горячего водоснабжения в зданиях повышенной этажности.

Потребление электроэнергии в быту с каждым годом увеличивается, и эта тенденция сохранится, поскольку население в последние годы активно приобретает бытовую технику (стиральные машины, кухонные комбайны, пылесосы, электрочайники, электромясорубки, электрокофеварки и т. д.), являющуюся одним из главных потребителей электроэнергии в домах и квартирах.

Использование электроэнергии в квартирах можно условно разделить на следующие подгруппы:

- обогрев помещений;
- охлаждение и замораживание;
- освещение;
- стирка белья и мойка посуды (с помощью стиральных машин и посудомоющих аппаратов);
- аудио- и видеоаппаратура;
- приготовление пищи (с помощью электроплит);
- использование других электроприборов (пылесосов, утюгов, фенов и т. д.).

В различных домах использование электроэнергии по каждой из вышеперечисленных категорий может варьироваться. Например, в одних домах установлены электрические плиты, в других – газовые, для поддержания оптимальной температуры в одной квартире достаточно центрального отопления, в другой – никак не обойтись без электронагревателя.

Много тепла бесполезно теряется от радиаторов через стены и открываемые иногда окна. Уменьшить эти потери можно установкой отражающего экрана из блестящей пленки, алюминиевой фольги или оцинкованной жести, наклеенной на фанеру, картон или древесноволокнистую плиту за радиатором под подоконником. Лучшим способом регулирования температуры в квартире является установка кранов и терморегуляторов на радиаторах, которые не следует загораживать мебелью во избежание затруднения циркуляции теплого воздуха в комнате.

Ориентировочный расход электроэнергии различными бытовыми приборами приведен в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Потребление электроэнергии электроприборами в быту

Прибор	Потребление, кВт · ч/год
Лампа накаливания 60 Вт	263 (из расчета 12 ч работы в сутки)
Энергосберегающая лампа 9–11 Вт	44 (из расчета 12 ч работы в сутки)
Морозильный аппарат	427
Посудомоечный аппарат	475
Электрическая печь	440

Прибор	Потребление, кВт · ч/год
Стиральная машина	275
Холодильник	584
Телевизор	180
Видеомагнитофон	150
Кофемолка	65
Компьютер	40
Аудиоаппаратура	35
Утюг	30

Если рассматривать жилой дом как энергопотребляющий объект, то доля теплопотерь в нем в зимний период составляет: через неутепленные или разбитые окна и двери подъездов – 24 %, стены – 26 %, подвал, перекрытия, лестничные клетки – 11 %, вентиляционные отверстия и дымоходы – 39 %.

Теплопотери происходят не только через стены здания. Они могут иметь место во время аварий на трассах и тепловых узлах жилых домов.

Большое количество тепловой энергии уходит из-за некачественного строительства: щели у оконных рам, швы между панелями, крыши и т. п., а также в домах со вставленными обогревательными устройствами в стенах (на 30 % больше, чем с обычными отопительными приборами). До 15–20 % тепловой энергии теряется в тепловых сетях, свидетельством чего является зеленая трава, растущая зимой над тепло-трассами.

На коммунально-бытовые нужды в Республике Беларусь расходуется примерно 65 % тепловой энергии. В то же время потери тепла при производстве и передаче тепловой энергии в отопительных котельных республики достигает 30 %. На 1 м² отапливаемой площади в нашей стране затрачивается в 2 раза больше условного топлива, чем в Германии и Дании.

Годовой расход тепловой энергии в нашей стране на отопление и вентиляцию 1 м² общей площади в 5-этажном доме составляет 150–170 кВт, в Скандинавских странах – 70–90 Вт. На Западе после энергетического кризиса 1972–1973 и 1995 гг. передовые европейские страны уменьшили расход тепловой энергии на отопление жилых домов в 2 раза. А это не только экономия денежных средств, но, главное, – изменение самого мышления граждан и руководителей.

Согласно санитарным нормам горячая вода в квартиры должна подаваться не ниже 50 °С, подается же она с температурой 37–38 °С. Температура воздуха в квартире должна поддерживаться на уровне 18–20 °С (комфортная зона), а на кухнях – 16–18 °С. Семья оплачивает лишь 16–17 % от общих затрат на отопление дома, а от стоимости вырабатываемой тепловой и электрической энергии – лишь 20 %. Имеющийся в нашей стране опыт децентрализованного теплоснабжения показывает высокую его эффективность. Местные котельные, построенные в столице (гостиница «Беларусь», несколько жилых домов и т. п.), окупают себя за 1,5–3 года. В 1998 г. для обеспечения нужд страны было произведено 77 млн Гкал, в 1999 г. – 70 млн Гкал тепловой энергии. Для того чтобы удовлетворить потребность республики в год достаточно 50 млн Гкал.

Системы отопления жилых и общественных зданий являются одними из самых значительных потребителей тепловой энергии. Расход тепловой энергии на эти цели составляет более 30 % энергоресурсов, потребляемых народным хозяйством. При этом многоквартирные дома, построенные в 1950–1960 гг., расходуют на нужды отопления от 350 до 600 кВт/ч на 1 м². Для сравнения укажем, что этот показатель составляет в Германии 260 кВт · ч, в Швеции и Финляндии – 135 кВт · ч.

Наиболее перспективными направлениями энергосбережения являются: внедрение автономных систем тепло- и энергоснабжения; устройство напольного отопления; установки, использующие возобновляемые источники энергии и теплоутилизаторы.

Опыт работы автономных котельных показывает, что они надежны и экономичны. При теплоснабжении от этих котельных потребитель получает тепловую энергию по тарифам в 3 раза ниже действующих. За счет этого строительство таких котельных окупается практически за один сезон.

Во всех промышленно и энергетически развитых странах наблюдается очень быстрый рост применения электроотопления, выполняемого, как правило, путем укладки нагревательных кабелей в пол. Применение электроотопления допускается СНиП 2.04.05–91. Для помещений с постоянным пребыванием людей установлено, что средняя температура подогреваемого пола не должна превышать 26 °С, а для дорожек вокруг бассейнов – не более 30 °С. Одной из таких систем электроотопления является кабельная система «Теплолюкс». Она устанавливается в толще пола, что превращает всю обогреваемую поверхность в источник тепла, температура которого лишь

на несколько градусов превышает температуру воздуха. Эта система, как и другие, подобные ей, используется как основная в отдельно стоящих зданиях, коттеджах и в тех случаях, когда нет возможности выполнить подключение центрального водяного отопления. Она может применяться как дополнительная система отопления (совместно с другими) для получения комфортной температуры.

Совершенно новый способ отопления помещений различного назначения разработан в БНТУ профессором В. П. Лысовом. Созданная им полимерная греющая электропроводка, состоящая из сотен тончайших полимерных волокон, обработанных по оригинальной технологии специальным раствором и соединенных в пучок, обеспечивает при одинаковом расходе электроэнергии гораздо более высокий, чем у металлического проводника, рост температуры, поскольку волокна постоянно греют друг друга. Эту проводку, а точнее, комплект проводов раскладывают по схеме на подготовленное бетонное основание и цементируют. Можно размещать провода и под плиткой, линолеумами, ковровыми покрытиями, дощатым настилом и паркетом. В том или ином случае будет обеспечена рекомендованная медиками температура пола 25 °С, воздуха 20–22 °С. Для надежности можно включить в сеть и автоматический терморегулятор.

Затраты на отопление и эксплуатацию этим способом в 1,5–2 раза ниже по сравнению с другими известными способами, в том числе и аналогичными зарубежными системами греющего пола, где используются металлические проводники. Недостатком металлических проводников являются сопровождающие его нежелательные для организма вихревые токи. Полимерный проводник генерирует электромагнитное поле в 2–10 раз более слабое.

Сфера применения этого способа обогрева очень широка: дома, квартиры, офисы, животноводческие помещения и др. Его достоинства оценены руководители совхозов, где новинка применяется уже более 3 лет и, кроме экономии энергоресурсов на отопление, во многом способствует сохранению поголовья скота и их привесу. Согласно проведенным учеными БелНИИ животноводства исследованиям в местах содержания животных с обогреваемыми полами, сохранность и привесы поросят повышаются, при этом расход электроэнергии сокращается с 250 Вт при ламповом обогреве до 120–130 Вт при обогреваемых полах на одно скотоместо. Такой способ обогреваемых полов внедрен во многих хозяйствах страны.

Простоту устройства и эксплуатацию греющих полов, невысокую стоимость и расход электроэнергии в сравнении с традиционны-

ми технологиями обогрева оценили владельцы более 1,5 тыс. квартир и частных домов, дач и гаражей, офисов и магазинов республики, повысив для себя комфортность проживания и труда. К этому следует добавить, что расходы по обустройству обогрева составляют 10–12 долл. США и компенсируются достигаемой экономией за 5–6 месяцев эксплуатации в холодное время года.

Для обеспечения общественных, жилых и производственных помещений дешевым теплом с использованием местных видов топлива экономически выгодно применять воздушное отопление на базе теплогенераторов.

Системы воздушного отопления. Под *воздушным квартирным отоплением* следует понимать отопительную систему квартиры с самостоятельным генератором тепла, которая обслуживается жильцами. Таких систем в одном доме может быть несколько, если дом многоквартирный, и одна, если многоквартирный.

В воздушных системах отопления теплоносителем является воздух, нагретый в воздухонагревателе до температуры, превышающей температуру помещения и определяемой расчетом. От нагревателя подогретый воздух каналами разводится по отапливаемым помещениям, в которых охлаждается до температуры помещения. Воздух отдает свою теплоту для возмещения теплопотерь, после чего поступает обратно в воздухонагреватель.

Воздух в системах перемещается за счет естественного (теплого) или искусственного (вентиляционного) побуждения. Применяются воздухонагреватели, работающие на твердом, жидком, газообразном и комбинированных видах топлива. Воздухонагреватели бывают трех типов:

- с нагревом воздуха горячими газами через металлическую стенку (огневоздушные);
- с нагревом воздуха горячими газами через воду (водовоздушные);
- подсоединенные к тепловым и электрическим сетям.

В квартирных системах при небольшой протяженности воздухопроводов используется преимущественно естественное (гравитационное) побуждение движения греющего воздуха как более простое и бесшумное в эксплуатации. При большой протяженности распределительных воздухопроводов используются системы воздушного отопления с механическим перемещением греющего воздуха.

Для нагрева 1 м^3 воздуха на $10 \text{ }^\circ\text{C}$ требуется в 4,19 раза меньше тепловой энергии, чем для нагревания такого же количества воды. При этом самое дешевое тепло дают теплогенераторы, в которых

сжигается твердое топливо (дрова, брикет, торф, отходы деревообработки). Область их применения очень велика: производственные помещения (например, цеха по разливу безалкогольных напитков), магазины, жилые дома, теплицы, сушилки зерна и пиломатериалов и т. п. Такие теплогенераторы выпускает ряд предприятий, среди них Мозырский завод сельскохозяйственного машиностроения.

В Беларуси системы поквартирного воздушного отопления в многоэтажных жилых домах не получили широкого распространения из-за отсутствия серийного выпуска опробированных конструкций воздухоподогревателей. Второй причиной является возможность использования в многоэтажных многоквартирных домах только электроэнергии и газа, т. е. покупаемых, но не местных видов топлива (дров, брикетов кускового торфа, отходов деревообработки). Поэтому наиболее перспективным видится внедрение теплоагрегатов на указанных твердых видах топлива для обогрева индивидуальных жилых домов, теплиц, сушилок зерна и пиломатериалов, тем более что необходимое оборудование для таких объектов в Беларуси серийно производится многими предприятиями, а эффективность такой системы довольно высока. Так, стоимость отопления двухэтажного жилого дома площадью 150 м^2 со стенами толщиной 40 см из силикатных блоков, обложенных кирпичом, составляет 50 у. е. на сезон. Для этого необходимо 28 м^3 дров и 5 м^3 опилок.

Основными мероприятиями, позволяющими сократить перерасход тепловой энергии в жилых зданиях, являются:

- оснащение систем отопления и горячего водоснабжения приборами, позволяющими автоматически регулировать их параметры и работу (выполнение этого мероприятия потребует больших капиталовложений и его осуществление связано с рядом сложностей);

- приведение в исправное состояние всех контрольно-измерительных приборов и арматуры систем отопления и горячего водоснабжения; выполнение ремонта и регулировка задвижек на всем протяжении тепловых сетей от котельных до ввода в здание;

- выявление и устранение избыточных поверхностей нагрева (радиаторы), установленных самовольно жильцами;

- выявление и устранение всех неисправностей наружных ограждающих конструкций зданий (утепление окон и дверей на отопительный период).

Энергосбережение при освещении зданий. В настоящее время около 40 % генерируемой в мире электрической энергии используется в жилых и общественных зданиях. Сокращение расхода электроэнергии на эти цели возможно двумя основными путями:

- снижением номинальной мощности освещения;
- уменьшением времени использования светильников.

Снижение номинальной (установленной) мощности освещения в первую очередь означает переход к более эффективным источникам света, дающим нужные потоки при существенно меньшем энергопотреблении. Такими источниками могут быть компактные люминесцентные лампы. В общественных зданиях также можно применять более эффективные светильники.

Уменьшение времени использования светильников достигается внедрением современных систем управления, регулирования и контроля осветительных установок. Применение регулируемых люминесцентных светильников позволяет эксплуатировать их при сниженной (по сравнению с номинальной) мощности. А это значит, что при неизменной установленной мощности освещения снижается фактически потребляемая мощность и энергопотребление.

Управление осветительной нагрузкой осуществляется двумя основными способами:

- отключением всех или части светильников (дискретное управление);
- плавным изменением мощности светильников (одинаковым для всех или индивидуальным).

К системам дискретного управления в первую очередь относят различные фотореле (фотоавтоматы) и таймеры. Принцип действия первых основан на включении и отключении нагрузки по сигналам датчика наружной естественной освещенности. Вторые осуществляют коммутацию осветительной нагрузки в зависимости от времени суток по предварительно заложенной программе. К системам дискретного управления освещения относятся также автоматы, оснащенные датчиками присутствия. Они отключают светильники в помещении спустя заданный промежуток времени после того, как из него уходит последний человек. Это наиболее экономичный вид систем дискретного управления, однако к побочным эффектам их использования относится возможное сокращение срока службы ламп за счет частых включений и выключений.

Системы автоматического управления освещением можно разделить на два основных класса: локальные и централизованные.

Локальные системы управления освещением помещений представляют собой блоки, размещаемые за полостями подвесных потолков или конструктивно встраиваемые в электрораспределительные щиты. Системы этого типа, как правило, осуществляют одну функ-

цию либо их фиксированный набор. В число этих функций входит, например, учет присутствия людей и уровня естественной освещенности в помещении, а также работа с системами беспроводного дистанционного управления. Локальные системы управления светильниками в большинстве случаев не требуют дополнительной проводки, а иногда даже сокращают необходимость в прокладке проводов. Конструктивно они выполняются в малогабаритных корпусах, закрепляемых непосредственно на светильниках или на колбе одной из ламп.

Централизованные системы управления освещением, наиболее полно отвечающие названию «интеллектуальных», строятся на основе микропроцессоров, обеспечивающих возможность практически одновременного многовариантного управления значительным (до нескольких сотен) числом светильников. Такие системы могут применяться либо для управления освещением, либо для взаимодействия с другими системами зданий (например, с телефонной сетью, системами безопасности, вентиляции, отопления и солнцезащитных ограждений).

Со стороны потребителей электроэнергии может производиться конкретная работа по рациональному использованию энергоресурсов с пользой для себя и государственной системы электроснабжения: применение новейших технических энергосберегающих средств и изменение привычек.

Некоторые технические возможности, позволяющие рационально использовать электрическую энергию и экономить денежные средства за потребленную электроэнергию, состоят в следующем:

- применение более экономичных осветительных приборов, в настоящее время отечественная и зарубежная электротехническая промышленность освоила технологию и наладила выпуск энергосберегающих источников света и осветительных приборов (галогенных ламп накаливания, компактных люминесцентных ламп), которые при сравнительно меньшей мощности создают не меньшую освещенность, чем лампы накаливания (технические данные ламп накаливания, люминесцентных и компактных люминесцентных ламп приведены в табл. 6.2–6.4);

- применение автоматических выключателей с пневматическим замедлителем, позволяющих после включения отключать осветительные приборы с замедлением по истечении определенной выдержки времени до нескольких минут, которые могут быть установлены для управления электрическим освещением ступеней лестниц частных домов, а также в местах, не требующих постоянного освещения;

- применение управления электрическим освещением с двух мест (коридор, ступени лестницы и т. д.);

– применение комбинированного освещения, например, верхнее общее освещение и настольная лампа, общее освещение и торшер, общее освещение и бра и т. д.

Изменение привычек даст немалую возможность для экономии электроэнергии:

– отключать ненужные в данный момент электроосветительные приборы;

– отключать бытовые электрические приборы и аппаратуру от сети на ночь и при длительном не использовании, так как блоки питания телевизоров с дистанционным управлением, компьютеров, аудио- и видеоаппаратуры, радиотелефонов остаются включенными в электрическую сеть и потребляют некоторое количество электроэнергии, даже после выключения их кнопкой автономного выключателя, так называемый режим ожидания «Stand – by». Отключая эти приборы из розетки электрической сети, можно экономить не только электроэнергию, но и сохранить работоспособными электробытовые приборы и снизить риск возникновения пожара;

– в настоящее время широко используются электрические чайники мощностью 1800–2000 Вт для быстрого кипячения воды, так как мощность электронагревательного прибора большая, то заполнять емкость чайника следует необходимым для употребления количеством воды, этим самым можно быстро вскипятить воду и сэкономить электроэнергию.

Таблица 6.2

Технические данные ламп накаливания

Тип лампы	Потребляемая мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Тип цоколя
B215-225-15	15	120	8,0	Резьбовой E27/27
B215-225-25	25	220	8,8	
B215-225-40	40	430	10,8	
BK215-225-40	40	475	11,9	
B215-225-60	60	730	12,2	
BK215-225-60	60	800	13,3	
B215-225-75	75	960	12,8	
BK215-225-75	75	1030	13,7	
B215-225-100	100	1380	13,8	
BK215-225-100	100	1500	15,0	

Окончание табл. 6.2

Тип лампы	Потребляемая мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Тип цоколя
Б215-225-150	150	2220	14,8	E27/30
Б215-225-150-1	150	2220	14,8	
Г215-225-150-1	150	2090	13,9	
Б215-225-200	200	3150	15,7	
Г215-225-200	200	2950	14,7	
Г215-225-300-1	300	4850	16,1	

Таблица 6.3

Технические данные люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Световой поток, лм			
	ЛБ	ЛДЦ	ЛЕЦ	ЛТБЦЦ
4	140	–	–	–
6	270	–	–	–
8	380	–	305	245
13	830	–	570	500
15	835	600	–	–
16	–	–	830	–
18	1250	850	850	735
20	1200	850	865	700
30	2180	1500	1400	–
36	3050	2200	2150	–
40	3200	2200	2190	1750
60	–	–	–	–
58	4700	–	3330	–
65	4800	3160	3400	–
80	5400	3800	–	–

Таблица 6.4

Технические данные компактных люминесцентных ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Размеры, мм		Световой поток, лм	Тип цоколя
		длина	диаметр		
КЛ7,ТБЦЦ	7	135	28	400	G23
КЛ9,ТБЦЦ	9	167	28	600	G23

Тип лампы	Мощность, Вт	Размеры, мм		Световой поток, лм	Тип цоколя
		длина	диаметр		
КЛ11, ТБЦП	11	235	28	900	G23
КЛС9, ТБЦ	9	150	85	425	E27
КЛС13, ТБЦ	13	160	85	600	E27
КЛС18, ТБЦ	18	170	85	900	E27
КЛС25, ТБЦ	25	180	85	1200	E27

Мероприятия по энергосбережению в быту можно условно разделить на три группы:

– малозатратные, к которым относятся ремонт и утепление дверей и окон в подъездах, установка приборов учета, в том числе и терморегуляторов, применение местных систем теплоснабжения, использование солнечных коллекторов предварительного нагрева воды и систем отопления с тепловыми насосами;

– средnezатратные, к которым относится использование качественной тепловой изоляции для трубопроводов и внутренних инженерных систем, замена оконных рам на стеклопакеты;

– высокзатратные – это утепление стен, кровли, в том числе и так называемых «хрущевок».

За счет ремонта и надстройки мансард и еще одного этажа на них вместе с утеплением значительно снижается стоимость приращенной таким образом жилплощади.

Порядок выполнения работы

Определение размера платы за электроэнергию населением.

Размер платы за потребленную электроэнергию населением производится по одноставочному тарифу и определяется как произведение цены за 1 кВт · ч на общее потребленное ее количество за данное время (месяц, квартал, год).

Под *тарифом* понимается система отпускных цен за электроэнергию, дифференцированных для различных групп потребителей.

Таблица 6.5

Тарифы на тепловую и электрическую энергию для населения

Тарифы с 01.07.2016 г.	Объем потребления, кВт · ч в месяц	Тариф, рублей за 1 кВт · ч
Для граждан, проживающих в домах, оборудованных электрическими плитами (I группа)	До 250 кВт · ч	0,1009
	От 250 до 400 кВт · ч	0,1312 (коэффициент 1,3)
	Свыше 400 кВт · ч (экономическое обоснование)	0,19
Для граждан, проживающих в домах, не оборудованных электрическими плитами (II группа)	До 150 кВт · ч	0,1188
	От 150 до 300 кВт · ч	0,1544
	Свыше 300 кВт · ч (экономическое обоснование)	0,19
Для граждан, проживающих в домах, не оборудованных электроплитами и системами централизованного горячего водоснабжения и снабжения природным газом (III группа)	До 300 кВт · ч	0,1188
	Свыше 300 кВт · ч	0,1544

$$\Pi = T_{\text{эз}} + \mathcal{E}_{\text{потр}}, \quad (6.1)$$

где $T_{\text{эз}}$ – тариф на электроэнергию, р./кВт · ч; $\mathcal{E}_{\text{потр}}$ – объем потребления энергии, кВт · ч.

Пример. Показания счетчика у гражданина, проживающего в доме не оборудованном электрическими плитами на 01.10.16 – 3945,0 кВт · ч; на 01.11.16 – 4045,0 кВт · ч. Определим количество электроэнергии, потребленное за июль:

$$\mathcal{E}_{\text{потр}} = 4045,0 - 3945,0 = 100 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Определим плату за электроэнергию:

$$\Pi = 0,1188 \cdot 100 = 11,88 \text{ р}.$$

Используя данные табл. 6.5 и 6.6, рассчитайте плату за электроэнергию для разных групп лиц:

Данные для расчетов по вариантам

Номер варианта	Условия задания
1	на 01.08.16 – 3845,0 кВт · ч; на 01.09.16 – 4145,0 кВт · ч (I группа)
2	на 01.08.16 – 3045,0 кВт · ч; на 01.09.16 – 4145,0 кВт · ч (II группа)
3	на 01.08.16 – 3645,0 кВт · ч; на 01.09.16 – 4145,0 кВт · ч (III группа)
4	на 01.08.16 – 3945,0 кВт · ч; на 01.09.16 – 4145,0 кВт · ч (I группа)
5	на 01.08.16 – 3845,0 кВтм · ч; на 01.09.16 – 4245,0 кВт · ч (II группа)
6	на 01.08.16 – 3845,0 кВт · ч; на 01.09.16 – 3945,0 кВт · ч (III группа)
7	на 01.08.16 – 3945,0 кВт · ч; на 01.09.16 – 4245,0 кВт · ч (I группа)
8	на 01.08.16 – 3845,0 кВт · ч; на 01.09.16 – 4245,0 кВт · ч (II группа)
9	на 01.08.16 – 3845,0 кВтмч; на 01.09.16 – 4145,0 кВт · ч. (III группа)
10	на 01.08.16 – 3845,0 кВт · ч; на 01.09.16 – 4005,0 кВт · ч (I группа)
11	на 01.08.16 – 3845,0 кВт · ч; на 01.09.16 – 4155,0 кВт · ч (II группа)
12	на 01.08.16 – 3845,0 кВт · ч; на 01.09.16 – 4345,0 кВт · ч (III группа)

Практическое занятие № 7

ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Ключевые слова: отопительные котлы, работающие на твердом топливе, низкотемпературные котлы, конденсационные отопительные котлы.

Цель работы: изучить принцип работы энергосберегающих отопительных приборов.

Теоретическая часть

Источником тепла в доме являются одноконтурные (только для отопления) и двухконтурные (отопления и горячее водоснабжение) котлы. С повышением герметичности окон и уровня теплозащиты наружных ограждений в последние 2–3 года появилась тенденция к снижению удельных нагрузок теплоснабжения в индивидуальной застройке.

Котлы, работающие на твердом топливе. В отопительных котлах, работающих на твердом топливе, топочное пространство является также пространством для хранения топлива. Отсюда следует, что для продолжительного горения необходимо предусмотреть дополнительный объем, т. е. топочное пространство должно быть сконструировано более объемным. Горение происходит, как правило, без подведения дополнительной энергии.

При применении твердого топлива регулирование мощности является невозможным, что может привести к избыточной выработке теплоты. По этой причине в котлах, работающих на твердом топливе, предусматривают аккумуляторы теплоты.

Конденсационные отопительные котлы. Конденсационные отопительные котлы (рис. 7.1) отличаются от низкотемпературных котлов тем, что в них используется скрытая теплота конденсации водяного пара, который содержится в отходящих газах.

При конденсации (рис. 7.2) теплота отдается нагреваемой поверхности. Теплоотдача происходит, как правило, на поверхности теплообменника. Основным принципом является то, что для охлаждения отходящих газов ниже температуры точки росы используется обратная линия отопительной системы. Интенсивность передачи

теплоты зависит от вида топлива. Применяемые газы имеют следующие соотношения высшей H_v (с учетом теплоты конденсации водяных паров) и низшей теплоты сгорания H_n (без учета теплоты конденсации водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания газа): природный газ – 1,11; пропан – 1,09; бутан – 1,08; нефтепродукты – 1,06.

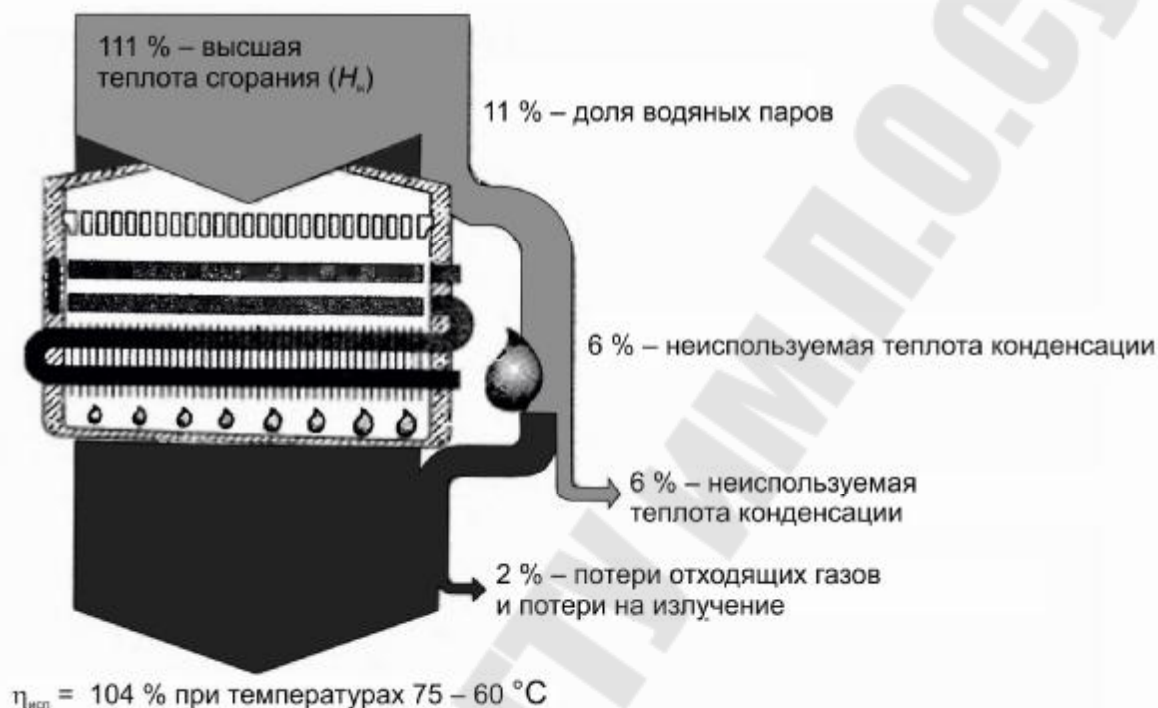


Рис. 7.1. Конденсационный котел

Эффективность использования теплоты конденсации зависит также от температуры точки росы. Из приведенных данных следует, что природный газ дает более широкие возможности использования теплоты конденсации, так как, с одной стороны, происходит прирост мощности, а с другой – отходящие газы не требуют слишком сильного охлаждения. Отходящие газы и вода обратной линии отопительной системы движутся в теплообменнике встречными потоками. При этом конденсат выпадает вниз в направлении отходящих газов.

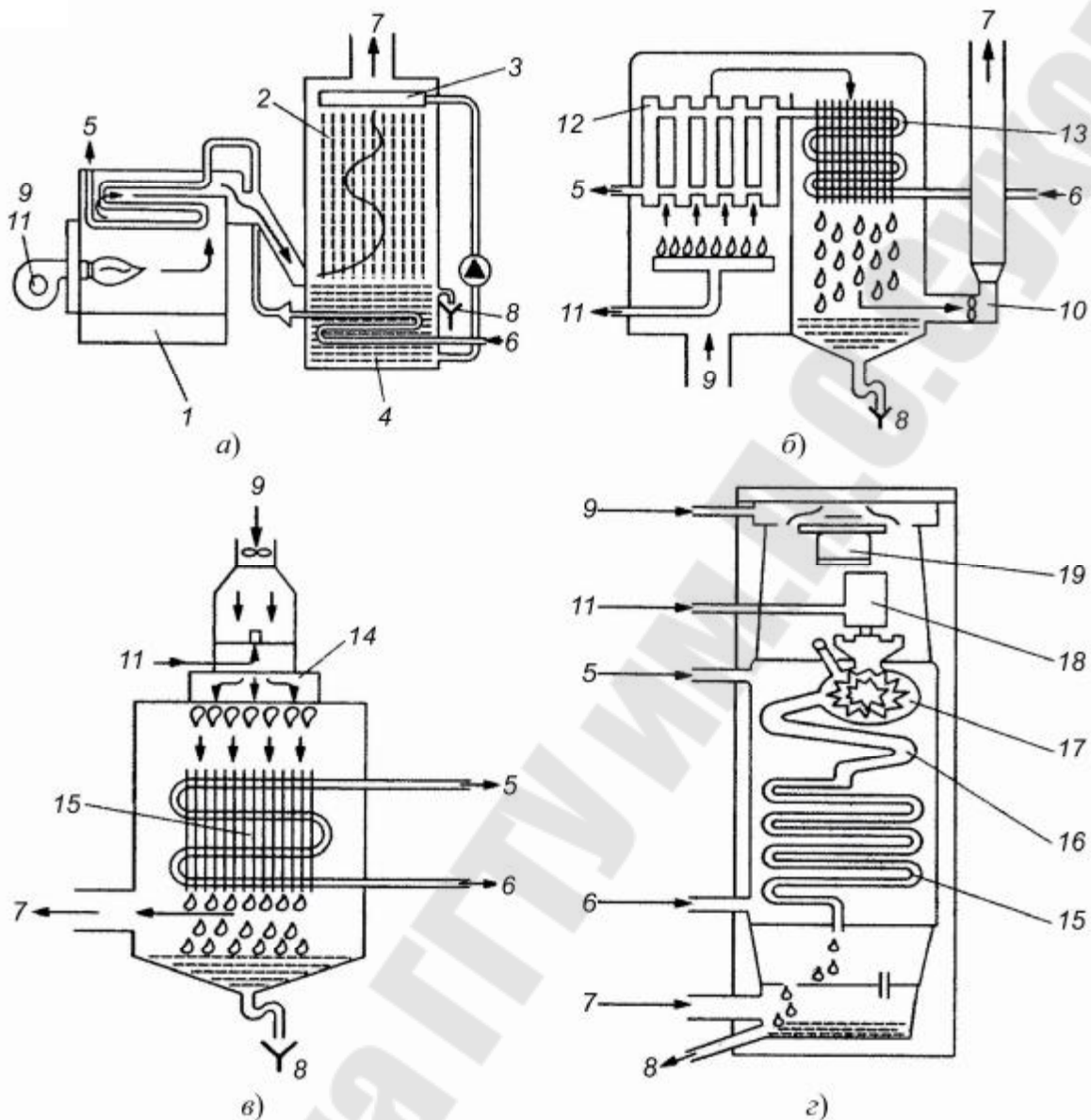


Рис. 7.2. Принципиальная схема использования теплоты, выделяемой при конденсации в котлах:

а – с прямым теплообменником; *б* – с последовательно подключенным теплообменником; *в* – со встроенным теплообменником;

г – с пульсационной горелкой: 1 – отопительный котел;

2 – прямой теплообменник; 3 – система орошения; 4 – резервуар с водой; 5 – подающий трубопровод отопительной системы; 6 – обратный трубопровод отопительной системы; 7 – отходящие газы; 8 – отвод конденсата; 9 – подача воздуха, необходимого для горения; 10 – вентилятор отходящих газов; 11 – газ; 12 – первый теплообменник; 13 – последовательно подключенный второй теплообменник; 14 – горелка предварительного смешивания; 15 – теплообменник; 16 – качающаяся труба; 17 – камера сгорания пульсационной горелки; 18 – газовый буфер; 19 – пусковой вентилятор

Низкотемпературные котлы. В низкотемпературных котлах (рис. 7.3) для достижения максимального эффекта необходимо использовать теплоту конденсации при низких температурах обратного контура, т. е. пониженная температура обратного контура позволяет более эффективно использовать теплоту конденсации паров. Из этого также следует, что нужно избегать повышения температуры обратного трубопровода с помощью смешанного подключения и т. д., как это необходимо в некоторых типах низкотемпературных котельных установок. При этом достигается КПД от 108 до 109 % от низшей теплоты сгорания природного газа.

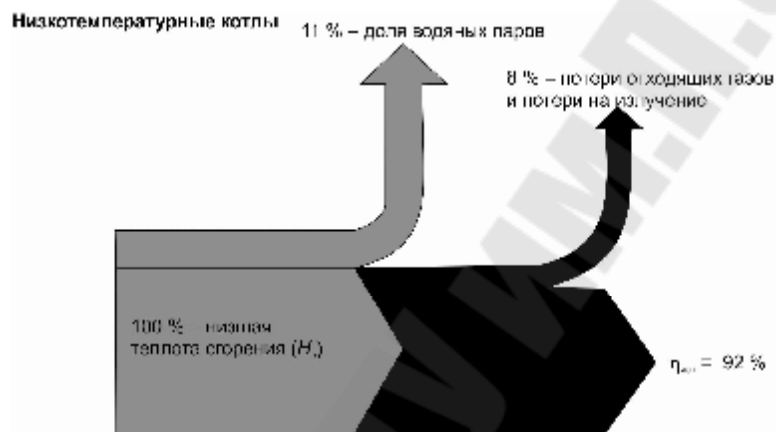


Рис. 7.3. Низкотемпературные котлы

Сравнение конденсационных и низкотемпературных котлов представлено на рис. 7.4

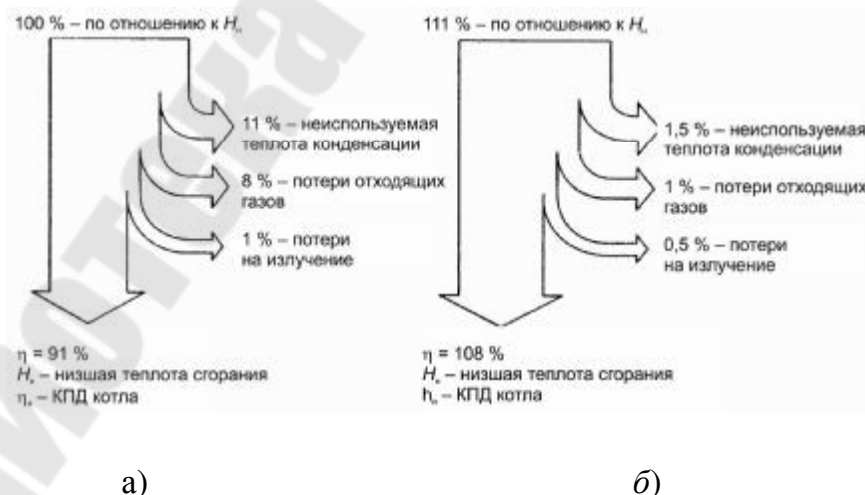


Рис. 7.4. Сравнение энергетических балансов:

а – низкотемпературные отопительные котлы; энергетический баланс при температуре воды 40/30 °С; б – конденсационные котлы; энергетический баланс при температуре воды 40/30 °С

Котлы, использующие газ и нефтепродукты. Котлы, использующие в качестве топлива газ или нефтепродукты, оборудованы дутьевой горелкой. Необходимый для горения воздух и топливо нагнетаются через форсунку с помощью вентилятора. При применении жидкотопливных горелок топливо должно быть подготовлено в горелке специальным образом, т. е. оно должно быть преобразовано в горючие пары. Этого можно достичь с помощью распыления или испарения (рис. 7.5).

Через специальное смешивающее устройство, состоящее из головки горелки с воздухопроводной и подающей частями, форсунки и подводной трубы, топливо смешивается с воздухом при минимальном избытке воздуха. Чаще всего все оборудование помещается в один блок. Если предварительное смешение происходит в смесительной трубе, например, как в реактивной смесительной системе, то возникает голубое пламя. Поэтому существует такое обозначение – «горелка голубого пламени». Благодаря рециркуляции отработанных газов в топливно-воздушной смеси достигается значительное уменьшение выбросов оксида азота. При этом в горелке образуется только один факел пламени. Поэтому важной предпосылкой для оптимального сжигания является конструкция топочного пространства, т. е. его оптимальная геометрия. Теплоотдача в топочном пространстве происходит в основном посредством лучеиспускания.

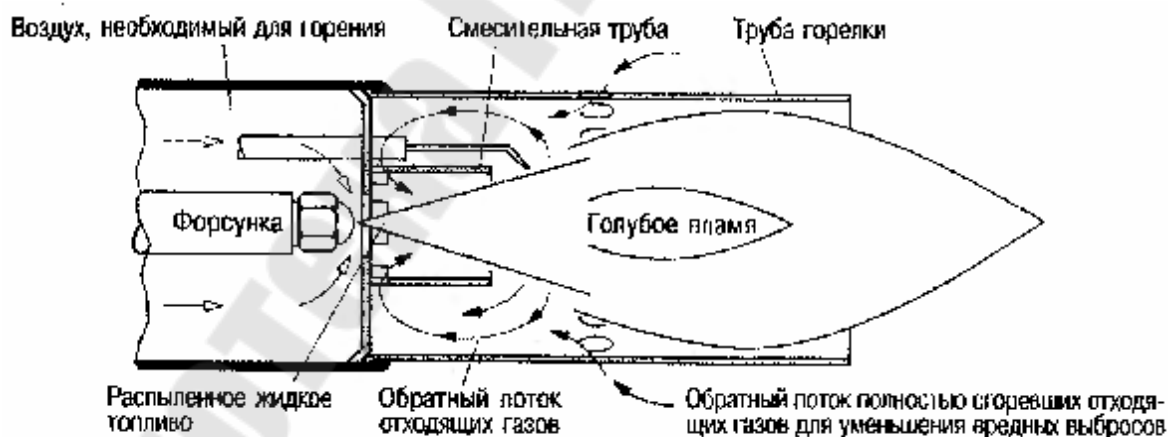


Рис. 7.5. Реактивный принцип смешения с обратным потоком отходящих газов

Газовые котлы без поддува. Газовые котлы без поддува, обозначаемые как котлы с атмосферными горелками, предназначены, прежде всего, для малых и средних диапазонов мощности, примерно

до 200 кВт. По принципу действия горелки подразделяют на диффузионные и инжекционные. В последнее время применяют только инжекционные горелки.

Инжекционная горелка. В инжекционной горелке (рис. 7.6), в блоке горелки топливо течет под давлением через форсунку и при этом подсасывается необходимый для горения воздух (первичный воздух). Образуется смесь из воздуха и газа. Затем смесь поджигается. Необходимый дополнительно воздух (вторичный воздух) диффундирует в пламя. В противоположность дутьевым горелкам образуется другая форма пламени, и поэтому к топочному пространству предъявляются другие требования. Как правило, горение происходит на стволе горелки с отверстиями, т. е. образуется много коротких языков пламени, которые образуют так называемый «ковёр пламени».

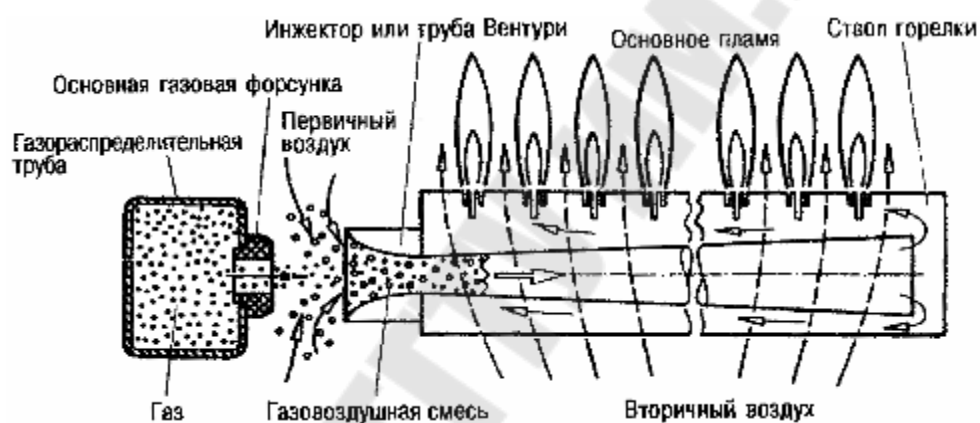


Рис. 7.6. Принцип работы инжекционной горелки

По этой причине топочное пространство может быть небольшим. Но необходимо следить за тем, чтобы все языки пламени могли свободно сгорать и был обеспечен свободный доступ вторичного воздуха, необходимого для полного сгорания.

Небольшая нагрузка на ствол горелки в 5–20 кВт способствует сгоранию с минимальными выбросами оксидов азота.

Охлаждение пламени. С точки зрения сокращения количества оксидов азота, которые образуются при температурах сгорания более 1400 °С, различают несколько вариантов охлаждения пламени: охлаждение ствола горелки с помощью обратной линии; установка охлаждающей трубы (при низком содержании оксидов азота в отходящих газах); получение большего количества меньших языков пламени с более высокой долей излучения; каталитическое сжигание, например, над керамической поверхностью (альцетная горелка, монолитная горелка).

Порядок выполнения работы

По вариантам выполнить описание определенного энергосберегающего отопительного прибора. Сделать вывод о преимуществах данного прибора перед другими. Описать недостатки (если имеются). Предложить использование такого прибора для конкретной отрасли хозяйства (промышленности).

Варианты:

1. Котлы, работающие на твердом топливе.
2. Конденсационные отопительные котлы.
3. Низкотемпературные котлы.
4. Котлы, использующие газ и нефтепродукты.
5. Газовые котлы без поддува.

Практическое занятие № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЮ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Ключевые слова: энергоэффективность, удельная отопительная характеристика.

Цель работы: изучение принципа расчета расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию; определение коэффициента мощности ветроэнергетической установки.

Общие сведения

Расчет расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию. Тепловая энергия, потребляемая на отопление и вентиляцию, нормируется на суммарный объем отапливаемых зданий и сооружений, количество суток отопительного периода, разницу между температурой внутри помещений и средней температурой наружного воздуха за отопительный период. Расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период определяется по формуле

$$Q_0 = q_0 V (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) n z_0 \cdot 0,000001, \text{ Гкал/год}, \quad (8.1)$$

где q_0 – удельная тепловая отопительная характеристика, $\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ч})$; V – объем отапливаемых зданий по наружному обмеру, м^3 ; $t_{\text{в}}$ – нормируемая температура внутри помещений, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{н}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, для Гомельской области равна -1 $^\circ\text{C}$; n – продолжительность отопительного периода для Гомельской области принимается равной 188 суток; z_0 – время работы системы отопления или вентиляции в сутках.

Аналогично определяется расход тепловой энергии на вентиляцию.

Удельная норма расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию $Q_{\text{уд}}$ определяется следующим образом:

$$Q_{\text{уд}} = \frac{(Q_0 + Q_{\text{в}}) 1\,000\,000}{V n (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}, \text{ Мкал}/(\text{тыс. м}^3 \cdot \text{сут} \cdot ^\circ\text{C}). \quad (8.2)$$

Пример. Расчет годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию предприятия.

Дано: суммарный объем отапливаемых помещений по наружному обмеру равен 3 660 м³, в том числе 752 м³ – помещения офиса и 2 908 м³ – помещения цеха.

Удельная отопительная характеристика составила для помещений офиса – 0,43, для помещений цеха – 0,6 ккал/(м³ · °С · ч).

Удельная вентиляционная характеристика составила для помещений офиса – 0,09, для помещений цеха – 0,6 ккал/(м³ · °С · ч).

Внутренняя температура для помещений офиса – 20 °С, для производственных помещений – 16 °С.

Число часов работы системы отопления в сутки – 24 ч, число часов работы вентиляции производственных помещений – 8 ч.

На основании указанных исходных данных определяется расчетная тепловая нагрузка системы отопления за отопительный период. Исходные данные и результаты расчета представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Расчет годового расхода тепловой энергии на обогрев и вентиляцию зданий

Наименование зданий и сооружений	Объем помещений, м ³	q_0	q_v	Температура внутри помещения, °С	z_0 , ч	z_v , ч	Расход тепла на отопление, Гкал	Расход тепла на вентиляцию, Гкал
		ккал/(м ³ · ч · °С)						
Помещения офиса	650	0,43	0,09	20	24	8	26	2
Производственные помещения	2 700	0,60	0,60	16	24	8	124	41
<i>Всего</i>	3 350			16,8			150	43

Удельная норма расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, отнесенная на кубический метр зданий, сутки и разницу температур (средняя температура внутри помещений составила 16,8 °С), равна:

$$Q_{уд} = \frac{(150 + 43)1\,000\,000}{3\,350 \cdot 188(16,8 - (-1))} = 17,2 \text{ Мкал}/(\text{тыс. м}^3 \cdot \text{сут} \cdot \text{°С}).$$

Расчет расхода тепловой энергии на горячее водоснабжение. Тепловая энергия на горячее водоснабжение нормируется на одного

работающего в год с разбивкой по кварталам. Годовое количество тепловой энергии на горячее водоснабжение определяется как:

$$Q_{г.в} = \frac{Hmc_{в}n(t_{г} - t_{х})}{1\,000\,000}, \text{ Гкал/год}, \quad (8.3)$$

где H – норма расхода горячей воды на одного потребителя, например, равна 24 кг в смену на одного рабочего и 7 кг на ИТР; m – число работающих; c – теплоемкость воды, равна 1 ккал/(кг · °С); n – количество суток работы одного работающего в году, принимается по данным предприятия. При отсутствии данных можно принять 250–230 дней; $t_{г}$ – температура горячей воды, равна 55 °С; $t_{х}$ – температура холодной воды: зимой равна 5 °С, летом 15 °С, для упрощения в среднем может приниматься равной 10 °С.

Годовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение душевых установок определяется по формуле

$$Q_{душ} = G_{в}c_{в}(t_{г} - t_{х})KTn \cdot 0,000001, \text{ Гкал}, \quad (8.4)$$

$G_{в}$ – часовой расход горячей воды на одну душевую установку, равен 270 кг/ч; K – количество душевых установок; T – продолжительность работы душевых в сутки, ч.

Пример. Расчет тепловой энергии на горячее водоснабжение для условного предприятия.

Дано: среднесписочная численность работающих на предприятии – 63 человека (из них ИТР 24 человека). На предприятии имеется 3 душевые установки, продолжительность работы которых в сутки составляет в среднем 2 часа. Норма расхода горячей воды равна 24 кг в смену на одного рабочего и 7 кг на ИТР.

Тогда годовое количество тепловой энергии на горячее водоснабжение производственного персонала равно:

$$Q_{г.в} = (24 \cdot 39 + 7 \cdot 24)1 \cdot 250 (55 - 10)/1\,000\,000 = 12,4 \text{ Гккал/год},$$

$$Q_{душ} = 270 \cdot 1(55 - 10) 3 \cdot 2 \cdot 250 \cdot 0,000001 \text{ Гккал/год}.$$

Суммарное количество тепла на горячее водоснабжение равно:

$$Q_{г.с.в} = Q_{г.в} + Q_{душ} = 12,4 + 18,2 = 30,6 \text{ Гккал/год}.$$

Удельная норма расхода теплоты на горячее водоснабжение на одного работающего равна:

$$C_{г.с.в} = Q_{г.с.в} / m = 30,6/63 \cdot 1000 \cdot 486 \text{ Мккал}/(\text{чел. год}).$$

Расчет энергоэффективности термореновации стен зданий. Экономический эффект от термореновации ограждающих конструкций зданий обусловлен увеличением термосопротивления ограждающих конструкций и уменьшением тепловых потерь через них. Снижение тепловых потерь через стены достигается устройством дополнительной (внешней или внутренней) тепловой изоляции. Для климатических условий Беларуси предпочтительна, с теплофизической точки зрения, внешняя тепловая изоляция.

Для повышения сопротивления теплопередаче стен до нормативных уровней согласно ТКП 45-2.04-43–2006 необходимо проведение утепления стен. Одним из путей уменьшения теплопроводности строительных конструкций является утепление наружных стен методом «Термошуба».

Система «Термошуба» позволяет:

- утеплять стены зданий любой этажности и огнестойкости как при новом строительстве, так и при реконструкции существующих эксплуатируемых зданий без усиления стен и фундаментов;
- экономить эксплуатируемые площади за счет размещения утепления снаружи стен;
- защитить наружные поверхности стен от разрушения;
- выполнять работы по утеплению при любых погодных условиях в диапазоне температур от 25 °С до –12 °С;
- применять специально предназначенную для стен высококачественную экономную плиту.

Таблица 8.2

Материалы для выполнения теплоизоляции зданий

Наименование материала	Единицы измерения	Расход на 1 м ²
Плита фасадная (утеплитель)	м ²	1,06
Смесь клеевая	кг	12
Защитно-отделочная штукатурка	кг	4
Стеклосетка	м ²	1,35
Дюбеля L-120, не более	шт	8
Фасадная краска (в два слоя)	кг	0,6

Тепловая энергия расходуется на возмещение тепловых потерь через ограждающие конструкции здания и на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха.

Потери тепла через ограждающие конструкции зданий, обусловленные конвективным теплообменом, определяются по формуле

$$Q_{\text{огр}} = \frac{F(t_{\text{вн}} - t_{\text{н.ср}})(1 + \sum \beta)n}{R_{\text{T}}}, \quad (8.5)$$

где F – расчетная площадь ограждающей конструкции, м^2 ; $t_{\text{вн}}$ – расчетная температура воздуха внутри помещения, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н.ср}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, $^{\circ}\text{C}$; β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху; R_{T} – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Величина сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции R_{T} определяется по формуле

$$R_{\text{T}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\text{к}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (8.6)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$; $R_{\text{к}}$ – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Значения величин $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ принимаются по [7].

Термическое сопротивление ограждающей конструкции $R_{\text{к}}$ определяется по формуле

$$R_{\text{к}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (8.7)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления отдельных слоев конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Термическое сопротивление слоя конструкции определяется по формуле

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (8.8)$$

где δ – толщина слоя, м; λ – коэффициент теплопроводности материала слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации, Вт/м · °С.

Значения коэффициента λ принимаются по [7] в зависимости от материала слоя многослойной ограждающей конструкции.

Согласно [7] нормативное сопротивление теплопередаче для наружных стен из штучных материалов при реконструкции (модернизации) здания должно быть $R_{т.норм} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{С/Вт}$.

Расчет энергоэффективности замены окон зданий. Сопротивление теплопередаче окон с двойным остеклением в деревянных раздельных переплетах согласно [12] составляет $R_T = 0,42 \text{ м}^2 \cdot \text{С/Вт}$, а в металлических раздельных переплетах $R_T = 0,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$; витражи в металлических раздельных переплетах – $R_T = 0,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$. Нормативное сопротивление теплопередаче для заполнений световых проемов при реконструкции (модернизации) должно быть $R_{т.норм} = 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$.

Экономический эффект от внедрения энергоэффективных оконных блоков достигается за счет:

- увеличения термосопротивления оконных блоков и уменьшения расхода тепловой энергии на компенсацию потерь тепла;
- увеличения коэффициента воздухопроницания и уменьшения расхода тепловой энергии на нагревание наружного воздуха, поступающего путем инфильтрации через щели оконных проемов;
- увеличения срока службы и отсутствия эксплуатационных затрат (оклейка, покраска).

Расход теплоэнергии на компенсацию потерь тепла через оконные проемы определяется следующим образом:

$$Q = Q_{от} + Q_{и}, \text{ Гкал.} \quad (8.9)$$

Основной годовой расход теплоэнергии на компенсацию потерь тепла через ограждающие конструкции оконных проемов рассчитывается по формуле

$$Q_{от} = \frac{F_o}{R_m} (t_{вн} - t_{н}) n T_{от} \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал,} \quad (8.10)$$

где F_o – площадь ограждающих конструкций оконных проемов, m^2 ; R_T – сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций оконных проемов, $m^2 \cdot ^\circ C$ ч/ккал; $t_{вн}$, t_n – расчетные температуры воздуха внутри помещения и наружного воздуха, $^\circ C$; n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающих конструкций оконных проемов по отношению к наружному воздуху; $T_{от}$ – длительность отопительного периода, суток.

Добавочный годовой расход теплоэнергии на нагревание наружного воздуха, поступающего путем инфильтрации через щели ограждающих конструкций оконных проемов рассчитывается по формуле

$$Q_{и} = 0,24AGF_o(t_{вн} - t_n)T_{от} \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал}, \quad (8.11)$$

где A – коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока, для окон и балконных дверей с отдельными переплетами $A = 0,8$, со спаренными переплетами $A = 1,0$; G – количество воздуха, поступающего в помещения жилых и общественных зданий путем инфильтрации через окна и балконные двери, определяемое по формуле

$$G = \frac{\Delta P}{R_{и}}, \text{ кг}/(m^2 \cdot \text{ч}), \quad (8.12)$$

где ΔP – разность давления воздуха у наружной и внутренней поверхностей ограждающих конструкций оконных проемов (Па), $R_{и}$ – сопротивление воздухопроницанию оконных блоков $m^2 \cdot \text{ч}$ Па/кг; определяемая по формуле

$$\Delta P = 0,55H(p_n - p_v) + 0,03p_n \cdot V_{ср}^2, \text{ Па}, \quad (8.13)$$

где H – высота здания от поверхности земли до верха карниза, м; p_n , p_v – удельный вес внутреннего и наружного воздуха, H/m^3 ; $V_{ср}^2$ – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, м/с.

Годовая экономия тепловой энергии от внедрения энергоэффективных оконных блоков:

$$\Delta Q = Q_{сущ} - Q_{зам}, \text{ Гкал}, \quad (8.14)$$

где $Q_{сущ}$ – годовой расход теплоэнергии на компенсацию потерь тепла через существующие ограждающие конструкции оконных про-

емов, подлежащие замене, Гкал; $Q_{\text{зам}}$ – годовой расход теплоэнергии на компенсацию потерь тепла через ограждающие конструкции оконных проемов, предлагаемые в качестве замены, Гкал.

Внедрение эффективных пластинчатых теплообменников вместо кожухотрубных. Экономический эффект от внедрения пластинчатых теплообменников достигается за счет:

- увеличения коэффициента теплопередачи;
- уменьшения потерь тепловой энергии по сравнению с кожухотрубным теплообменником вследствие уменьшения наружной поверхности теплообменника (при равной тепловой нагрузке) и более полного использования тепла в процессе теплообмена;
- наличия возможности изменения параметров теплообменника (площади поверхности теплообмена, коэффициента теплопередачи);
- увеличения срока службы, удешевления и простоты обслуживания, отсутствия необходимости в теплоизоляции.

Определение годовой экономии тепловой энергии при установке пластинчатого теплообменника за счет снижения потерь определяется следующим образом:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{кож}} - Q_{\text{пласт}}, \text{ Гкал}, \quad (8.15)$$

где $Q_{\text{кож}}$ – потери тепловой энергии кожухотрубным теплообменником, Гкал; $Q_{\text{пласт}}$ – потери тепловой энергии пластинчатым теплообменником, Гкал.

Определяем площади наружных поверхностей теплообмена кожухотрубного ($S_{\text{кож}}$) теплообменника:

$$S_{\text{кож}} = \pi D L n, \text{ м}^2, \quad (8.16)$$

где D – наружный диаметр корпуса (секции); L – длина корпуса (секций); n – количество корпусов (секций).

Расчет и подбор пластинчатых теплообменников производится организацией-производителем с помощью специальной компьютерной программы на основании данных, предоставляемых заказчиком, при этом для каждой модели и типа теплообменника площадь поверхности теплообмена указана в каталогах выпускаемого оборудования. При отсутствии данных для пластинчатого ($S_{\text{пласт}}$) теплообменника, можно рассчитать его площадь по формуле

$$S_{\text{пласт}} = S_{\text{пласт}} n, \text{ м}^2, \quad (8.17)$$

где $S_{\text{пласт}}$ – площадь наружной поверхности пластины (равна толщине пластины, умноженной на длину ее наружного периметра), м^2 ; n – количество пластин.

Определяем годовые потери тепловой энергии каждым теплообменником ($Q_{\text{кож}}$ и $Q_{\text{пласт}}$) по формуле

$$Q = Sq(t_1 - t_2)nT, \text{ Гкал}, \quad (8.18)$$

где S – площадь наружной поверхности теплообмена, м^2 ; q – плотность теплового потока, $\text{ккал}/\text{м}^2$ (СНИП 2.04.14–88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»); $(t_1 - t_2)$ – разность температур наружной поверхности теплообменника и внутреннего воздуха в помещении, $^{\circ}\text{C}$; n – продолжительности периода работы теплообменника в году, суток; T – число часов работы теплообменника в сутки, ч/сутки.

Определение экономии тепловой энергии за счет увеличения коэффициента теплопередачи:

$$\Delta Q_T = Q_{\text{потр}} \frac{(k_{\text{пласт}} - k_{\text{кож}})}{k_{\text{кож}}}, \text{ Гкал}, \quad (8.19)$$

где $Q_{\text{потр}}$ – годовая потребность в тепловой энергии; $k_{\text{пласт}}$, $k_{\text{кож}}$ – коэффициенты теплопередачи.

Коэффициент теплопередачи у пластинчатых теплообменников, как правило, на 5–10 % выше, чем у кожухотрубных.

Определение годовой экономии тепловой энергии:

$$\Delta Q = \Delta Q_{\text{пот}} + \Delta Q_T, \text{ Гкал}, \quad (8.20)$$

где $\Delta Q_{\text{пот}}$ – снижение годового расхода теплоэнергии на компенсацию ее потерь при замене кожухотрубного теплообменника на пластинчатый, Гкал; ΔQ_T – годовая экономия теплоэнергии за счет увеличения коэффициента теплопередачи, Гкал.

Расчет энергоэффективности внедрения регуляторов расхода тепловой энергии. Эффект от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии имеет следующие составляющие:

– поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях путем соблюдения заданного графика зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха;

- ликвидация весенне-осенних перетопов зданий;
- автоматическое снижение потребления тепловой энергии системой отопления здания в нерабочее время, в выходные и праздничные дни;
- поддержание требуемой температуры горячей воды в системе ГВС;
- автоматическое снижение температуры горячей воды в ночное время, в выходные и праздничные дни, вплоть до полной остановки системы ГВС;
- поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях путем автоматического изменения расхода теплоносителя, поступающего на калорифер вентиляционной установки;
- автоматическое включение вентиляционной установки в рабочее время и отключение в нерабочее время, в выходные и праздничные дни;
- ограничение температуры теплоносителя, возвращаемого в тепловую сеть.

Экономия тепловой энергии за счет поддержания комфортной температуры воздуха в помещениях жилых, общественных и производственных зданий путем соблюдения заданного графика зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление:

$$\Delta 1Q_o^{\text{год}} = 0,02Q_o^{\text{год}}, \text{ ккал.} \quad (8.21)$$

Экономия тепловой энергии за счет ликвидации весенне-осенних перетопов в помещениях жилых, общественных и производственных зданий составляет 12 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление:

$$\Delta 2Q_o^{\text{год}} = 0,12Q_o^{\text{год}}, \text{ ккал.} \quad (8.22)$$

Экономия тепловой энергии за счет автоматического снижения потребления тепловой энергии системой отопления общественных и производственных зданий в нерабочее время, в выходные и праздничные дни составляет 23 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление:

$$\Delta 3Q_o^{\text{год}} = 0,23Q_o^{\text{год}}, \text{ ккал.} \quad (8.23)$$

Для систем отопления жилых зданий не практикуется автоматическое снижение потребления тепловой энергии.

Экономия тепловой энергии за счет поддержания требуемой температуры горячей воды в системе ГВС жилых, общественных и производственных зданий составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на горячее водоснабжение:

$$\Delta 1Q_{Г.В}^{\text{год}} = 0,02Q_{Г.В}^{\text{год}}, \text{ ккал.} \quad (8.24)$$

Экономия тепловой энергии за счет автоматического снижения температуры горячей воды в ночное время в жилых зданиях составляет 13 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на горячее водоснабжение. Экономия тепловой энергии за счет автоматического снижения температуры горячей воды в ночное время, в выходные и праздничные дни, вплоть до полной остановки системы ГВС, общественных и производственных зданий составляет 21 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на горячее водоснабжение:

$$\Delta 2Q_{Г.В}^{\text{год}} = (0,13 \text{ или } 0,21)Q_{Г.В}^{\text{год}}, \text{ ккал.} \quad (8.25)$$

Экономия тепловой энергии за счет поддержания комфортной температуры воздуха в помещениях путем автоматического изменения расхода теплоносителя, поступающего на калорифер вентиляционной установки, составляет 9 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на вентиляцию:

$$\Delta 1Q_{В}^{\text{год}} = 0,09Q_{В}^{\text{год}}, \text{ ккал.} \quad (8.26)$$

Экономия тепловой энергии за счет автоматического включения вентиляционной установки в рабочее время и отключения в нерабочее время, в выходные и праздничные дни составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на вентиляцию:

$$\Delta 2Q_{В}^{\text{год}} = 0,02Q_{В}^{\text{год}}, \text{ ккал.} \quad (8.27)$$

Годовая экономия тепловой энергии $\Delta Q^{\text{год}}$ составит:

$$\begin{aligned} \Delta Q^{\text{год}} = & \Delta 1Q_{О}^{\text{год}} + \Delta 2Q_{О}^{\text{год}} + \Delta 3Q_{О}^{\text{год}} + \\ & + \Delta 1Q_{Г.В}^{\text{год}} + \Delta 2Q_{Г.В}^{\text{год}} + \Delta 1Q_{В}^{\text{год}} + \Delta 2Q_{В}^{\text{год}}, \text{ ккал.} \end{aligned} \quad (8.28)$$

Порядок выполнения работы

В соответствии с вариантом задания (табл. 8.3) выполнить расчет тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение объектов (расположение объектов в Гомельской и Брестской областях).

Выполнить анализ полученных результатов и подготовить предложения по возможному снижению расхода тепловой энергии (исходные данные по ограждающим конструкциям и системам теплоснабжения взять у преподавателя).

Таблица 8.3

Задание для самостоятельной работы

Номер задания	Наименование здания, объем V , м ³	Численность работающих/ИТР, человек	Количество душевых сеток
1	Ремонтный цех – 3 500, компрессорная – 1 300	78/15	5
2	Деревообрабатывающий цех – 3 500, гараж – 2 000, компрессорная – 700	150/25	6
3	Гальванический цех – 6 000, ремонтный участок – 2 500, компрессорная – 600	150/25	8
4	Деревообрабатывающий цех 5 500, ремонтный участок – 2 500, компрессорная – 500	56/10	4
5	Клуб – 6 500, кинотеатр – 4 000, баня – 2 500, деревообрабатывающий цех – 4 500	34/5	1
6	Гальванический цех – 2 500, ремонтный участок – 1 500	100/30	4
7	Деревообрабатывающий цех – 3 000, гараж – 1 500, компрессорная – 750	134/28	4
8	Кинотеатр – 5 500, магазин – 1 500, баня – 1 500, кузнечный цех – 3 500, ремонтный участок – 1 500	150/23	6

Окончание табл. 8.3

Номер задания	Наименование здания, объем V, м³	Численность работающих/ ИТР, человек	Количество душевых сеток
9	Ремонтный цех – 3 500, компрессорная – 1 800	58/13	2
10	Деревообрабатывающий цех – 3 500, ремонтный участок – 1 200, компрессорная – 800	98/10	2
11	Подразделение предприятия (по предложению слушателя)	Фактические данные	Фактические данные

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ хозяйственной деятельности в промышленности / под общ. ред. В. И. Стражева. – Минск : Выш. шк., 2003. – 208 с.
2. Андриевский, А. П. Основы энергосбережения : учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-70 05 01 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» / А. П. Андриевский. – Новополоцк : ПГУ, 2011. – 200 с.
3. Богданович, П. Ф. Основы энергосбережения : учеб. пособие / П. Ф. Богданович, Д. А. Григорьев, В. К. Пестис. – Гродно : ГГАУ, 2007. – 174 с.
4. Ванюшин, Ю. Н. Утилизация тепла на компрессорных станциях магистральных газопроводов / Ю. Н. Ванюшин, В. И. Глушков. – М. : Недра, 1978. – 160 с.
5. Инструкция по расчету целевых показателей по энергосбережению (утв. Председателем Госстандарта Респ. Беларусь 07.02.2011 г.).
6. Инструкция по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий : утв. постановлением М-ва экономики Респ. Беларусь, М-во энергетики Респ. Беларусь и ком. по энергоэффективности при Совете Министров Респ. Беларусь 24 дек. 2003 г. № 252/45/7.
7. Конюхова, Е. А. Электроснабжение объектов / Е. А. Конюхова. – М. : Мастерство, 2002. – 320 с.
8. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий (с изменениями и дополнениями). / Ком. по энергоэффективности при Совете Министров Респ. Беларусь, Минск, 2003.
9. Ольшанский, А. И. Основы энергосбережения : курс лекций / А. И. Ольшанский, В. И. Ольшанский, Н. В. Беляков. – Витебск : ВГТУ, 2007. – 223 с.
10. Основы энергосбережения: цикл лекций / под ред. Н. Г. Хутской. – Минск : Тэхналогія, 1999.
11. Основы энергосбережения : учеб. пособие / Б. И. Врублевский [и др.]. – Гомель : Развитие, 2002. – 190 с.
12. Пospelова, Т. Г. Основы энергосбережения / Т. Г. Пospelова. – Минск : Технопринт, 2000. – 350 с.
13. Рациональное использование газа в энергетических установках : справ. рук. / Р. Б. Ахмедов [и др.]. – Л. : Недра, 1990. – 423 с.
14. Самойлов, М. В. Основы энергосбережения : учеб. пособие / М. В. Самойлов – Минск : БГЭУ, 2002. – 198 с.

15. Энергосберегающие технологии газовой индустрии: аналитический альбом / под ред. проф. А. И. Гриценко. – М. : ВНИИГАЗ, 1995. – 272 с.

16. Управление инвестициями : в 2 т. / В. В. Шеремет [и др.]. – М. : Высш. шк., 1998.

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Терлецкая Наталья Сергеевна

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Практикум

**по одноименной дисциплине
для студентов специальности**

**1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор
Компьютерная верстка

*Н. Г. Мансурова
И. П. Минина*

Подписано в печать 22.05.2018.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,94.

Изд. № 405/2.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель