



Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Обработка материалов давлением»

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

по одноименному курсу

для студентов специальности 1-36 01 05

**«Машины и технология обработки материалов
давлением» и 1-36 20 02 «Упаковочное
производство (по направлениям)»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2006

УДК 620.9(075.8)
ББК 31.19я73
О-75

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П.О. Сухого*

Авторы-составители: *М. Ю. Целуев, С. Н. Целуева*

Рецензент: зав. каф. «Промышленная теплоэнергетика и экология» ГГТУ им. П. О. Сухого
А. В. Овсянник

О-75 **Основы энергосбережения** : практ. пособие по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» и 1-36 20 02 «Упаковочное производство (по направлениям)» днев. и заоч. форм обучения / авт.-сост.: М. Ю. Целуев, С. Н. Целуева. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 43 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: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

Практическое пособие составлено в соответствии с типовой учебной программой для высших учебных заведений Республики Беларусь по курсу «Основы энергосбережения». Изложены основные понятия и методики расчетов в области эффективного преобразования, транспортирования и потребления энергии и энергоресурсов. Цель практического пособия – закрепление знаний, полученных в процессе лекционного курса и приобретение навыков практических расчетов по экономии энергии и энергоресурсов.

Для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» и 1-36 20 02 «Упаковочное производство (по направлениям)» ГГТУ им. П.О. Сухого».

**УДК 620.9(075.8)
ББК 31.19я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П.О. Сухого», 2006

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ [18]

Цель дисциплины – формирование у специалиста правильного подхода к постановке и решению проблем эффективного использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на основе мирового опыта и государственной политики в области энергосбережения.

Задачи дисциплины:

дать студентам основные знания по:

- источникам энергии; вопросам производства, распределения и потребления энергии; экономике энергетики; экологическим аспектам энергосбережения;

- организации и управлению энергосбережением на производстве путем внедрения энергетического менеджмента, по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия на основе анализа затрат;

- основным энергосберегающим процессам, технологиям, установкам и аппаратам, применяемым в промышленности;

ознакомить студентов с:

- мировыми и государственными показателями, программами и мероприятиями по эффективному использованию энергетических ресурсов;

- приоритетными направлениями энергосбережения по различным отраслям народного хозяйства;

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ [18]

2.1. ВВЕДЕНИЕ

Энергетика, энергосбережение и энергетические ресурсы (основные понятия).

Роль энергетики в развитии человеческого общества и уровне его цивилизации.

Эффективность использования и потребления энергии в различных странах и Республике Беларусь (РБ). Сравнительные характеристики энергоёмкости валового национального продукта по отраслям в мире и РБ. Энергосбережение – самый дешёвый источник энергии.

2.2. ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Восполняемые и невосполняемые энергетические ресурсы. Виды топлива (твёрдое, жидкое, газообразное, ядерное). Соотношение и калорийность. Условное топливо.

Топливо-энергетический комплекс РБ, перспективы его развития. Анализ потребления ТЭР по отраслям в РБ.

2.3. ВИДЫ, СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ, ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Энергия и ее виды. Назначение и использование. Преимущество электрической энергии.

Тепловые и атомные электрические станции (ТЭС и АЭС), гидроэлектростанции. Котельные. Типовые схемы ТЭС и АЭС. Паротурбинные конденсационные электростанции и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) с комбинированной выработкой тепла и электрической энергии.

Электростанции с газотурбинными и парогазовыми установками, мини ТЭЦ – как наиболее экономичные и перспективные способы получения энергии. Графики электрических и тепловых нагрузок.

Прямое преобразование солнечной энергии в тепловую (солнечные водоподогреватели, коллекторы, теплонагревательные станции и солнечные электростанции). Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую энергию (фотоэлектрические преобразователи).

Ветроэнергетика и малая гидроэнергетика (потенциал и возможности использования в Беларуси). Энергия биомассы (потенциал биоэнергоресурсов в РБ, выращивание быстрорастущей древесины, ТЭЦ и котельные агрегаты на древесных отходах, газогенераторы, анаэробная переработка биомассы, использование бытовых отходов). Энергия других природных явлений (приливов и отливов, волн, геотермальных процессов). Аккумулирование тепловой и электрической энергии.

Транспортирование и потребление тепловой и электрической энергии. Тепловые сети. Электрические сети. Тепловая и электрическая изоляция. Потери энергии при передаче. Структура энергопотребления в РБ. Энергетическое хозяйство промышленных предприятий.

2.4. СТРУКТУРА ЦЕН НА ЭНЕРГОРЕСУРСЫ И ЭНЕРГИЮ

Тарифы на тепловую и электрическую энергию. Влияние стоимости энергии на себестоимость продукции. Нормы потребления энергии на единицу продукции. Стандарты по энергоэффективности.

Расчет экономической эффективности инвестиционных вложений в энергосберегающие мероприятия.

2.5. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В РБ

Структура управления энергосбережения в РБ. Государственная программа РБ «Энергосбережение». Закон и нормативные документы в области энергосбережения.

Планирование энергосберегающих мероприятий. Создание и реализация инновационных проектов в области энергосбережения. Государственная поддержка инновационной деятельности.

2.6. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Эффективность использования и потребления энергии в РБ и других странах.

Потенциал энергосбережения по различным отраслям народного хозяйства: энергетика, промышленность, сельское хозяйство, транспорт и т.д.

Нетрадиционные источники энергии.

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР). Их классификация, объем выхода и использования ВЭР. Экономия топлива за счет использования ВЭР. Использование местных видов топлива.

Использование тепла отходящих газов, вторичного пара, вентиляционных выбросов, сточных вод. Тепловые насосы и трансформаторы тепла.

Теплоиспользующие устройства на тепловых труб.ах.

2.7. УЧЕТ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Учет электрической энергии, системы учета. Учет тепловой энергии и типы приборов, используемых в РБ.

Основные методы и приборы регулирования потребления тепловой энергии, автоматизация этих процессов. Учет расхода холодной и горячей воды, учет расхода газа.

2.8. ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА И МЕНЕДЖМЕНТА

Цели, задачи и организация энергоменеджмента и энергоаудита на предприятии.

Энергетический баланс промышленных предприятий.

Стратегия обследования объектов для проведения энергосберегающих мероприятий. Энергетическое планирование.

2.9. БЫТОВОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Экономичные источники света. Электробытовые приборы и их эффективное использование.

Бытовые приборы регулирования, учета и контроля тепла. Учет холодной и горячей воды, учет газа. Повышение эффективности систем отопления. Автономные энергоустановки.

2.10. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

Тепловые потери в зданиях и сооружениях. Тепловая изоляция зданий и сооружений. Изоляционные характеристики остекления, стеклопакеты. Суточное и сезонное регулирование теплового режима зданий и сооружений.

Пофасадное регулирование теплового режима зданий. Тепловые завесы.

2.11. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ

Экологические проблемы энергетики. Взаимосвязь экологии и энергосбережения. Классификация и основные характеристики атмосферных выбросов при сжигании топлива, их влияние на окружающую среду и человека. Парниковый эффект. Выбросы технологического тепла и влаги. Специфические экологические проблемы ядерной энергетики.

3. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ВИДЫ ЭНЕРГИИ. РАБОТА И МОЩНОСТЬ

Энергия – количественная оценка (мера) различных форм состояния материи. В физике принята Международная система измерений в которой единицей энергии является “джоуль” (1Дж=1Н·1м). В расчетах, связанных с тепловой энергией, часто используют “калорию” (1кал=4,1868Дж), с электрической энергией – “ватт·секунду” (1Вт·с=1Дж) или “киловатт·час” (1кВт·ч=3,6МДж).

Для анализа качественно различных форм состояния материи введены различные виды энергии, например:

1) кинетическая энергия поступательно движущегося тела:

$$E = \frac{mu^2}{2}, \quad (1)$$

где m – масса тела;

u – скорость тела;

2) кинетическая энергия вращающегося тела:

$$E = \frac{J\omega^2}{2}, \quad (2)$$

где J – момент инерции тела относительно оси вращения;
 ω – угловая скорость вращения тела;

3) потенциальная энергия тела в гравитационном поле:

$$E = mgh, \quad (3)$$

где $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;
 h – высота тела над нулевым уровнем;

4) потенциальная энергия упруго деформированного тела:

$$E = \frac{kx^2}{2}, \quad (4)$$

где k – коэффициент жесткости (упругости) тела;
 x – величина упругой деформации тела;

5) тепловая энергия накопленная (отданная) телом при нагреве (охлаждении) без фазового перехода:

$$E = mc(t_1 - t_2), \quad (5)$$

где c – теплоемкость материала тела;
 t_1, t_2 – соответственно начальная и конечная температура тела;

6) тепловая энергия фазового перехода (плавление, испарение и т.д.):

$$E = \lambda m, \quad (6)$$

где λ – теплота фазового перехода;

7) энергия электрического поля конденсатора:

$$E = \frac{CU^2}{2}, \quad (7)$$

где C – емкость конденсатора;
 U – напряжение между пластинами конденсатора;

8) энергия электромагнитного поля катушки индуктивности:

$$E = \frac{LI^2}{2}, \quad (8)$$

где L – индуктивность катушки;

I – сила тока в проводнике катушки.

Таблица 1

Приставки для образования десятичных кратных единиц

Наименование приставки	Обозначение приставки	Множитель
экса	Э	10^{18}
пета	П	10^{15}
тера	Т	10^{12}
гига	Г	10^9
мега	М	10^6
кило	к	10^3

Для количественного описания процесса обмена энергией между взаимодействующими телами пользуются понятием “работа”. Единицы измерения работы и энергии одинаковы. Для характеристики работы, совершаемой в единицу времени, пользуются понятием “мощность”:

$$P = \frac{A}{t}, \quad (9)$$

где A – работа, выполненная в течение времени t .

Единицей мощности является “ватт” ($1\text{Вт}=1\text{Дж}/1\text{с}$).

Для образования десятичных кратных единиц энергии, работы и мощности используют приставки указанные в таблице 1.

4. СОСТАВ ТОПЛИВА. ВЫСШАЯ И НИЗШАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА. УСЛОВНЫЙ ЭКВИВАЛЕНТ ТОПЛИВА

Топливо (топливный энергоресурс) – углеродистое или углеводородное сырье энергия из которого выделяется в процессе термохимической переработки (при горении). Топливо делят на твердое (уголь, торф, древесина и т.д.), жидкое (нефть, мазут, бензин и т.д.) и газообразное (природный, искусственный газ).

В топливе содержатся горючая и негорючая составляющие. Горючая составляющая состоит из углерода (C), водорода (H), серы (S) и их органических соединений. К негорючей составляющей, или балласту топлива, относятся кислород (O), азот (N), влага (W) и минеральные примеси (A), называемые золой топлива.

Топливо по составу делят на массы: рабочую, сухую, горючую и органическую. Для расчетов теплоты сгорания обычно используют состав рабочей массы топлива. Для пересчета состава топлива с одного на другой пользуются коэффициентами, приведенными в таблице 2.

Таблица 2

Коэффициенты пересчета топлива с одного состава на другой [25]

Масса топлива заданного состава	Масса топлива на состав которой ведется пересчет			
	органическая	горючая	сухая	рабочая
органическая	1	$\frac{100 - S^z}{100}$	$\frac{100 - S^c - A^c}{100}$	$\frac{100 - S^p - A^p - W^p}{100}$
горючая	$\frac{100}{100 - S^z}$	1	$\frac{100 - A^c}{100}$	$\frac{100 - A^p - W^p}{100}$
сухая	$\frac{100}{100 - S^c - A^c}$	$\frac{100}{100 - A^c}$	1	$\frac{100 - W^p}{100}$
рабочая	$\frac{100}{100 - S^p - A^p - W^p}$	$\frac{100}{100 - A^p - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p}$	1

Примечание: индексы p (рабочая), c (сухая), z (горючая), o (органическая) при символах обозначают принадлежность к тому или иному составу топлива.

Теплота сгорания Q определяет качество топлива и измеряется количеством тепла, выделяющемся при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м³ нормального (при нормальных условиях) газообразного топлива. Различают высшую Q_v^p и низшую Q_n^p рабочую теплоту сгорания топлива. Высшей теплотой сгорания топлива называют количество тепла, выделяющегося при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м³ газообразного топлива, с учетом тепла выделяющегося при конденсации водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания топлива. Низшей теплотой сгорания топлива называют количество тепла, выделяющегося при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м³ газообразного топлива, без учета тепла конденсации водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания топлива.

Определение теплоты сгорания твердого и жидкого топлива расчетным методом выполняется по формулам Д.И. Менделеева, ккал/кг, [25]:

$$Q_g^p = 81C^p + 300H^p - 26(O^p - S^p), \quad (10)$$

$$Q_n^p = 81C^p + 300H^p - 26(O^p - S^p) - 6(9H^p + W^p), \quad (11)$$

а для газообразного топлива по формулам, которые получены путем суммирования произведений тепловых эффектов горения газов на их процентное содержание, ккал/м³, [25]:

$$Q_g^p = 30,5CO + 30,5H_2 + 95,3CH_4 + 152,5C_2H_4 + 60H_2S, \quad (12)$$

$$Q_n^p = 30,5CO + 25,8H_2 + 85,9CH_4 + 143C_2H_4 + 55,2H_2S. \quad (13)$$

Различные виды топлива обладают разной теплотой сгорания, в связи с чем существуют трудности их количественного сравнения в натуральном эквиваленте. Для соизмерения количества различных видов топлива введено понятие эквивалентного количества условного топлива. В качестве эквивалентной единицы топлива принят 1 кг условного топлива с теплотой сгорания 7000 ккал (29,3 МДж).

Для топливных энергоресурсов эквивалентное количество условного топлива определяют по формуле, кг.у.т., [25]:

$$B_{усл} = \frac{Q_n^p B_{нат}}{7000}, \quad (14)$$

где $B_{нат}$ – натуральное количество топлива (твердое и жидкое – кг, газообразное – м³);

Q_n^p - низшая рабочая теплота сгорания топлива (твердое и жидкое – ккал/кг, газообразное – ккал/м³).

Безразмерное соотношение [25]:

$$k = \frac{Q_n^p}{7000} \quad (15)$$

называют калорийным коэффициентом топлива.

5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

Устройства, преобразующие энергию ветра в полезную механическую, электрическую или тепловую виды энергии, называются ветроэнергетическими установками (ВЭУ), или ветроустановками. Большая часть ВЭУ используется для производства электроэнергии и содержит в своей конструкции ветроколесо, приводящее в действие генератор электрического тока.

Механическая мощность, развиваемая ветроколесом, определяется по формуле, Вт, [26]:

$$P = C_p \rho S \frac{u^3}{2}, \quad (16)$$

где C_p – коэффициент мощности, характеризующий использование ветроколесом энергии ветрового потока;
 S – ометаемая площадь ветроколеса (площадь покрываемая лопастями ветроколеса при вращении), м^2 ;
 $\rho = 1,23 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха;
 u – скорость набегающего потока ветра, м/с .

Коэффициент мощности C_p зависит от конструкции ветроколеса и его быстроходности, равной отношению скорости края лопасти к скорости ветра, [26]:

$$z = \frac{\omega R}{u}, \quad (17)$$

где ω – угловая скорость вращения ветроколеса, с^{-1} ;
 R – радиус ветроколеса, м .

Влияние быстроходности на коэффициент мощности C_p для различных конструкций ветроколес представлено на рисунке 1.

Скорость набегающего потока ветра изменяется в зависимости от высоты расположения ветроколеса ВЭУ над поверхностью земли. Среднюю скорость ветра на заданной высоте h можно определить по формуле Хелмана, [26]:

$$u = u_1 \left(\frac{h}{h_1} \right)^\alpha, \quad (18)$$

где u , u_1 – соответственно скорость ветра на высоте h и h_1 .

α - показатель степени, характеризующий вертикальный профиль скорости ветра (для районов побережья $\alpha=0,14$; для лесных и холмистых районов $\alpha=0,2 \dots 0,4$).

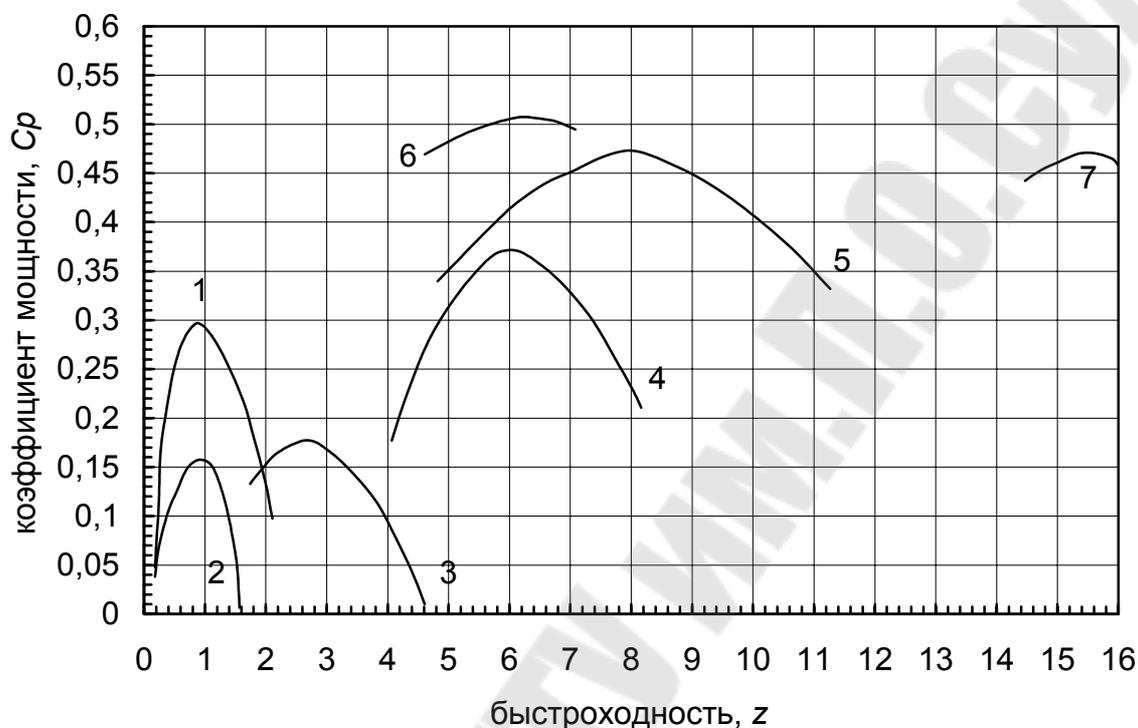


Рис. 1. Влияние быстроходности на коэффициент мощности C_p для различных типов ВЭУ (1 – многолопастный, 2 – ротор Савониуса, 3 – четырехлопастный, 4 – ротор Дарье, 5 – ортогональный, 6 – трехлопастный, 7 – монопланер)

Характеристику вертикального профиля скорости ветра на территории РБ можно определить по экспериментальным данным для города Минска, приведенным в таблице 3.

Таблица 3
Среднегодовые скорости ветра для города Минска [26]

Высота флюгера, м	Среднегодовая скорость ветра, м/с
5	3,2
10	3,5
15	3,6

Ометаемая площадь ветроколеса для горизонтально-осевых колес, [12]:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (19)$$

где D – диаметр ветроколеса;

для вертикально-осевых колес, [12]:

$$S = hD, \quad (20)$$

где h – высота ветроколеса.

Расчетная номинальная электрическая мощность ветроэнергетической установки, кВт, [26]:

$$W = 10^{-3} C_p^{\max} \rho S \frac{u_{\text{расч}}^3}{2} \eta_m \eta_g, \quad (21)$$

где C_p^{\max} – максимальный коэффициент отбора мощности для заданной конструкции ветроколеса;

$u_{\text{расч}}$ – расчетная скорость ветра, м/с;

η_m, η_g – соответственно КПД механических передач от вала ветроколеса к валу электрогенератора и электрогенератора.

Таблица 4

Ветротехнические показатели ВЭУ,
рекомендованных к внедрению на территории РБ [1]

Зональная среднегодовая скорость ветра, м/с	Диапазон рабочих скоростей ветра, м/с	Расчетная скорость ветра, соответствующая номинальной мощности, м/с
до 4,5	3...20	8
4,5...5,5	4...24	9
выше 5,5	4...24	10...12

Расчетная скорость набегающего потока воздуха для большинства случаев может быть определена из соотношения, [26]:

$$u_{\text{расч}} = (1,2...1,6)u_{\text{ср}}, \quad (22)$$

где $u_{\text{ср}}$ – среднегодовая скорость ветра.

Для ВЭУ, рекомендуемых к внедрению на территории РБ, расчетная скорость ветра может быть определена из таблицы 4.

Таблица 5

Повторяемость t скоростей ветра u на высоте 10 метров [26]

Скорость ветра u , м/с	Повторяемость t (отн. ед. $\times 10^{-3}$) скоростей ветра u в зависимости от среднегодовой скорости u_{cp} (м/с)			
	3	4	5	6
0,5	61	40	13	11
1	232	165	68	48
2	226	178	124	89
3	178	162	155	119
4	124	133	161	133
5	79	103	146	133
6	47	74	118	122
7	25	52	85	103
8	14	34	58	81
9	7	24	34	58
10	3	14	19	40
11	2	8	10	26
12	1	4	4,5	16
13	1	3	2	9
14		2	1,5	5
15		2	1	3
16		1		2
17		1		1
18				1

При скоростях ветра отличных от расчетной мощность W определяют по выражению аналогичному (21), причем коэффициент мощности C_p для каждого нового значения скорости ветра u корректируют в зависимости от быстроходности z , определяемой по формуле (17) при расчетном значении угловой скорости вращения $\omega_{расч}$ ветроколеса.

Расчетная угловая скорость вращения ветроколеса, [26]:

$$\omega_{расч} = \frac{z_{ном} u_{расч}}{R}, \quad (23)$$

где $z_{ном}$ — номинальная быстроходность ветроколеса, соответствующая максимальному коэффициенту мощности C_p^{max} по аэродинамической характеристике.

Годовая выработка электроэнергии ветроэнергетической установкой, кВт·ч, [26]:

$$E = T_z \sum_{i=1}^n W_i t_i, \quad (24)$$

где $T_z=8760$ ч – продолжительность календарного года в часах;

W_i – электрическая мощность ВЭУ при соответствующей скорости ветра, кВт;

t_i – повторяемость соответствующей скорости ветра в долях от единицы (таблица 5);

n – количество диапазонов рабочих скоростей ветра.

Расчет годовой выработки электроэнергии проводят для ряда значений угловой скорости вращения, изменяющейся в пределах $\pm 20\%$ от скорости вращения, выбранной первоначально. По значениям годовой выработки энергии E ВЭУ, полученным при различных $\omega_{расч}$, строят график зависимости $E=f(\omega)$. Вариант дающий максимальное значение E определяет оптимальный аэродинамический режим работы и соответствующую угловую скорость вращения ветроколеса.

6. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Передача тепловой энергии от теплоснабжающих организаций до потребителя производится путем транспортирования теплоносителя (горячей воды, пара) по тепловым сетям (надземным или подземным), основными элементами которых являются: труб.опровод, состоящий из стальных труб., соединенных между собой с помощью сварки; изоляционная конструкция, предназначенная для защиты труб.опровода от наружной коррозии и тепловых потерь; и несущая конструкция, воспринимающая вес труб.опровода и усилия, возникающие при его эксплуатации.

Тепловая энергия передается с низкой эффективностью в виду ее значительных потерь в окружающую среду. Потери тепловой мощности в сетях для пара и воды, кВт, [23]:

$$\Delta P = 10^{-3} \frac{t_m - t_{cp}}{R} L(1 + \beta), \quad (25)$$

где t_m – средняя температура теплоносителя, °С;

t_{cp} – температура окружающей среды, °С;

R – термическое сопротивление теплопровода, $\text{м}\cdot\text{°C}/\text{Вт}$;
 L – длина теплопровода, м ;
 β – коэффициент учитывающий местные потери тепла в задвижках, вентилях, фланцах, опорных конструкциях и т.д. (для неизолированного теплопровода $\beta=0$, для изолированного – $\beta=0,2\dots 0,3$).

Термическое сопротивление неизолированного теплопровода, $\text{м}\cdot\text{°C}/\text{Вт}$, [23]:

$$R_n = \frac{1}{\pi d \alpha}, \quad (26)$$

где d – диаметр неизолированного теплопровода, м ;
 α – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплопровода, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$.

Для повышения эффективности передачи тепловой энергии на труб.опровод накладывают тепловую изоляцию (сегментную, оберточную, набивную, литую, мастичную и т.д.) в результате чего потери теплоты в окружающую среду снижаются в несколько раз.

Термическое сопротивление трубопровода с однослойной тепловой изоляцией, [23]:

$$R = R_n + R_u, \quad (27)$$

где R_u – термическое сопротивление одного слоя изоляции.

Термическое сопротивление одного слоя изоляции определяется по формуле, [23]:

$$R_u = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right), \quad (28)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала изоляции (таблица 6);
 d_2, d_1 – наружный и внутренний диаметр изоляции соответственно.

Термическое сопротивление трубопровода с многослойной изоляцией, [23]:

$$R = R_n + \sum_{i=1}^n R_{ui}, \quad (29)$$

где R_{ui} – термическое сопротивление i -го слоя изоляции;
 n – количество слоев изоляции.

Таблица 6
 Теплофизические характеристики теплоизоляционных материалов [23]

Наименование материала	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
минеральная вата	0,046
вулканит	0,093...0,11
совелит	0,09...0,093
стеклянная вата	0,037
пенорезина	0,048
пенополиуретан	0,039

Коэффициент теплоотдачи α от наружной поверхности теплопровода к окружающему воздуху является суммой двух слагаемых - коэффициента теплоотдачи излучением α_u и коэффициента теплоотдачи конвекцией α_k [23]:

$$\alpha = \alpha_u + \alpha_k. \quad (30)$$

Коэффициент теплоотдачи излучением может быть подсчитан по формуле Стефана-Больцмана, Вт/(м²·°C), [23]:

$$\alpha_u = c \frac{\left(\frac{t + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{cp} + 273}{100}\right)^4}{t - t_{cp}}, \quad (31)$$

где c – коэффициент излучения, зависящий от степени “черноты” поверхности теплопровода (обычно $c=4,4...5,0$ Вт/(м²·°C⁴);

t, t_{cp} – соответственно температура излучающей поверхности (для неизолированного теплопровода $t=t_m$, для изолированного – $t=40...60$ °C) и окружающего воздуха, °C;

Коэффициент теплоотдачи при естественной конвекции можно определить по формуле Нуссельта, Вт/(м²·К), [23]:

$$\alpha_k = 1,16 \sqrt[4]{(t - t_{cp}) / d_n}, \quad (32)$$

где d_n – наружный диаметр теплопровода, м.

При вынужденной конвекции воздуха или ветре коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К), [23]:

$$\alpha_k = 4,65 \frac{u^{0,7}}{d_n^{0,3}}, \quad (33)$$

где u – скорость воздуха, м/с.

При определении коэффициента теплоотдачи поверхности изолированного теплопровода может быть использована формула, Вт/(м²·К), [23]:

$$\alpha = 11,6 + 7\sqrt{u}. \quad (34)$$

Передача электроэнергии от электростанций к потребителям осуществляется по электрическим сетям, представляющим собой совокупность подстанций (повышающих и понижающих), распределительных устройств и соединяющих их электрических линий (воздушных или кабельных). Потери активной мощности в электрических сетях можно определить по формуле, кВт, [11]:

$$\Delta P = 1,1 \cdot 10^{-3} m \rho l^2 \frac{I}{s}, \quad (35)$$

где m – число фаз линии;

I – ток нагрузки, А;

ρ – удельное электросопротивление материала провода, Ом·мм²/м (для алюминия $\rho=0,026\dots0,029$, для меди $\rho=0,017\dots0,018$, для стали $\rho=0,1\dots0,14$ Ом·мм²/м);

l – длина линии, м;

s – сечение провода, мм².

Поскольку передаваемая мощность электроэнергии определяется соотношением:

$$P = IU, \quad (36)$$

где U – напряжение передачи;

с целью снижения потерь электроэнергии ее транспортировку целесообразно осуществлять при повышенном напряжении (до 750 кВ), кроме того эффективны: использование материала проводов с низким удельным электросопротивлением, увеличение сечения проводов, сокращение длины линии и т.д.

Экономия тепловой (электрической) энергии за расчетный период времени при транспортировке после проведения энергосберегающего мероприятия может быть определена по формуле:

$$\Delta E = (\Delta P_1 - \Delta P_2)t, \quad (37)$$

где ΔP_1 , ΔP_2 – соответственно потери тепловой (электрической) мощности до и после проведения энергосберегающего мероприятия;
 t – расчетный период времени.

7. АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Для повышения эффективности использования ТЭР применяют различные экономические и технические методы выравнивания графика нагрузки (зависимости потребляемой мощности от времени) энергосистемы. Эффективной технической мерой выравнивания графиков нагрузок служит аккумулирование различных видов энергии.

В системах теплоснабжения для выравнивания графиков нагрузок путем аккумулирования тепловой энергии используют как естественную аккумулирующую способность отдельных элементов системы теплоснабжения (строительные конструкции отапливаемых зданий, труб.опроводы тепловых сетей и т.д.), так и специальные тепловые аккумуляторы, устанавливаемые у потребителей или в отдельных узлах системы теплоснабжения.

Требуемую емкость специальных аккумуляторов для выравнивания заданного графика тепловой нагрузки можно определить графическим методом, предложенным А.В. Хлудовым [23]. Сущность метода заключается в следующем. На основании графика расхода теплоносителя (рис. 2) строится интегральный график расхода (рис. 3), каждая ордината которого равна суммарному расходу теплоносителя от начала потребления до текущего момента, т.е.:

$$V(t) = \int_0^t W(t)dt, \quad (38)$$

где $V(t)$ – интегральный расход теплоносителя;
 $W(t)$ – тепловая нагрузка системы.

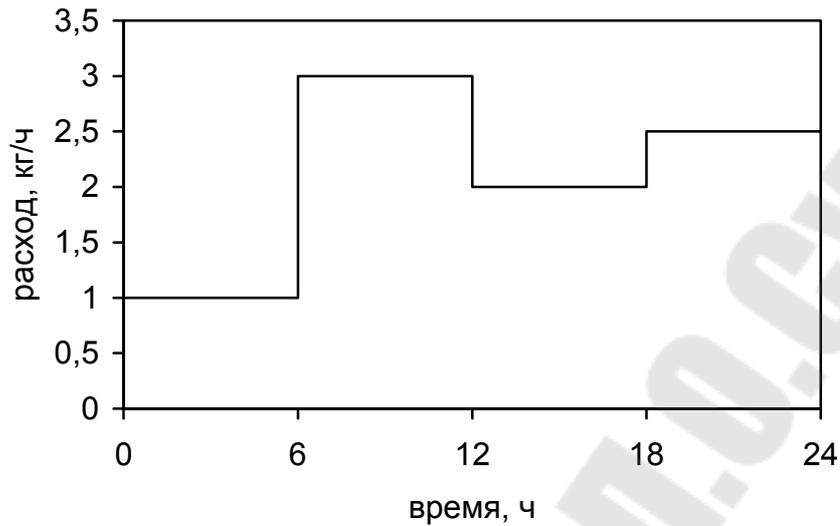


Рис. 2. График расхода теплоносителя

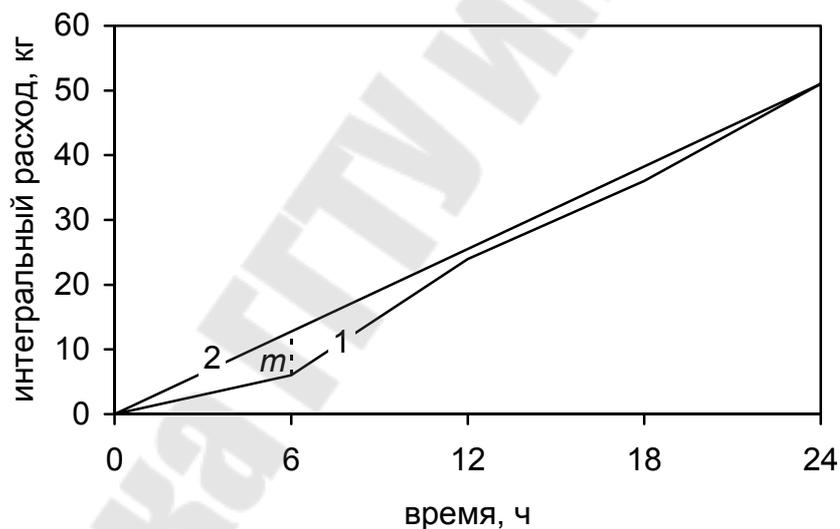


Рис. 3. Интегральный график расхода (1) и подачи (2) теплоносителя.

Интегральным графиком подачи при выравнивании расхода теплоносителя является прямая, соединяющая начало координат с конечной точкой графика интегрального расхода (рис. 3). Емкость аккумулятора m , требующаяся для выравнивания заданного графика нагрузки, равна максимальной разнице ординат интегральных графиков подачи и расхода (рис. 3).

Аккумулирующая способность теплового аккумулятора, кДж, [23]:

$$E = mc(t_2 - t_x), \quad (39)$$

где m – массовая емкость аккумулятора, кг;
 $c=4,19$ кДж/(кг·°С) – теплоемкость воды;
 t_2, t_x – соответственно температура горячей и холодной (водопроводной) воды, °С.

Требуемая подача теплоносителя после выравнивания графика нагрузки:

$$W = \frac{V}{t}, \quad (40)$$

где V – суммарная подача теплоносителя за время t .

Экономия тепловой энергии при установке в системе теплоснабжения аккумулятора:

$$\Delta E = c(W_1 - W_2)(t_2 - t_x)t + E_{нок}, \quad (41)$$

где W_1, W_2 – соответственно массовая подача теплоносителя до и после установки аккумулятора энергии;
 $E_{нок}$ – количество купленной тепловой энергии в часы пика нагрузки;
 t – расчетный период времени.

8. ТАРИФЫ НА ТЕПЛОВУЮ И ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

Электрическая и тепловая энергия реализуется потребителям по тарифам, представляющим собой разновидность цен.

В настоящее время для расчетов с потребителями в Республике Беларусь в основном применяют одно- и двухставочные тарифы на электроэнергию. Одноставочные тарифы служат для расчетов с населением, учреждениями, организациями, маломощными промышленными потребителями с присоединенной мощностью до 750 кВт, с предприятиями сельского хозяйства и электрифицированным транспортом. Размер оплаты по одноставочному тарифу определяется по формуле, руб., [3]:

$$C = cE, \quad (42)$$

где c – тариф на электроэнергию, руб/(кВт·ч);
 E – количество потребленной энергии, кВт·ч.

Недостаток одноставочного тарифа – экономическая незаинтересованность потребителей в выравнивании частного графика нагрузки, что может улучшить энергоэкономические показатели энергосистемы в целом.

Для расчетов с промышленными потребителями с присоединенной мощностью 750 кВт и выше применяется двухставочный тариф. Размер оплаты по двухставочному тарифу определяется по формуле, руб., [3]:

$$C = c_1 E + c_2 P_{\max}, \quad (43)$$

где c_1 – тарифная ставка за потребленную активную энергию, руб/(кВт·ч);
 c_2 – тарифная ставка участия в максимуме нагрузки энергосистемы, руб/кВт;
 P_{\max} – заявленная мощность участия в максимуме нагрузки энергосистемы, кВт.

Использование двухставочного тарифа экономически поощряет потребителей к выравниванию частного графика нагрузки, что положительно влияет на энергоэкономические показатели энергосистемы в целом.

С 1996 г в Республике Беларусь введены зонные тарифы на электроэнергию как альтернативные для промышленных предприятий использовавших двухставочный тариф. Согласно этим тарифам, плата устанавливается только за потребленную электроэнергию, но при разных тарифных ставках в зависимости от времени потребления энергии в течение суток: для ночных часов минимума нагрузки тариф имеет коэффициент 0,6 относительно базового тарифа; для дневных, или часов полупика – 1,15; а для часов пика – 2,05. Размер оплаты по зонному тарифу, руб., [3]:

$$C = \sum_{i=1}^n c_i E_i, \quad (44)$$

где c_i – тарифная ставка за потребленную энергию в i -той зоне, руб/(кВт·ч);
 E_i – количество потребленной энергии в i -той зоне, кВт·ч.
 n – количество зон потребления энергии.

По сравнению с одноставочным и двухставочным тарифами зонный тариф более точно отражает реальный график энергопотребления и позволяет снизить суммарные энергозатраты энергосистемы и потребителей. Дифференциация тарифов на электроэнергию по зонам графика электрической нагрузки стимулирует потребителей к снижению потребления энергии в период максимума нагрузки энергосистемы, т.е. способствует выравниванию графика нагрузки энергосистемы.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Мероприятия по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов требуют для своей реализации дополнительных капитальных затрат. Целесообразность этих затрат должна быть подтверждена технико-экономическими расчетами.

Основным показателем эффективности энергосберегающего мероприятия служат приведенные годовые затраты, определяемые по формуле, [11]:

$$C = E_n K + I = K / T_n + I, \quad (45)$$

где $E_n = 1/T_n$ – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений;

K – капитальные затраты на единицу продукции;

I – суммарные эксплуатационные затраты;

T_n – нормативный срок окупаемости капитальных вложений.

Приведенные затраты определяются по каждому рассматриваемому варианту данного мероприятия. Тот вариант, для которого полученная сумма будет наименьшей, является более эффективным с экономической точки зрения.

Формула приведенных затрат позволяет получить несколько производных при решении технико-экономических задач. Так, если при сравнении двух вариантов окажется, что осуществление второго варианта связано с увеличением капитальных и снижением текущих затрат, то необходимо определить его экономическую эффективность, [11]:

$$\mathcal{E} = (I_1 - I_2) - E_n (K_2 - K_1). \quad (46)$$

где I_1, I_2 – соответственно суммарные эксплуатационные затраты до и после осуществления энергосберегающего мероприятия;

K_1, K_2 – соответственно капитальные затраты на единицу продукции до и после осуществления энергосберегающего мероприятия.

При сравнении вариантов может оказаться, что при внедрении нового энергетического оборудования капитальные и текущие затраты возрастут, но тем не менее второй вариант будет более эффективным за счет дополнительного дохода D (улучшение качества продукции, сокращение численности обслуживающего персонала и т.д.). Тогда [11]:

$$\mathcal{E} = D - (I_1 - I_2) - E_n (K_2 - K_1). \quad (47)$$

При оценке эффективности двух сравниваемых вариантов можно определять срок окупаемости капитальных затрат [11]:

$$T = \frac{K_2 - K_1}{I_1 - I_2}, \quad (48)$$

или коэффициент эффективности капитальных вложений [11]:

$$E = \frac{I_1 - I_2}{K_2 - K_1}. \quad (49)$$

Экономически целесообразным является мероприятие имеющее минимальный срок окупаемости капитальных затрат (который должен не превышать аналогичный нормативный показатель) или максимальный коэффициент эффективности капитальных вложений (который должен превышать аналогичный нормативный показатель).

Наряду с вышперечисленными критериями для оценки экономической эффективности инвестиционных вложений в энергосберегающие мероприятия может использоваться объективный экономический критерий, который называется чистой дисконтированной стоимостью [2]:

$$Z = \sum_{t=1}^T (D_t - C_t - K_t)(1 + E)^{-t} - K_o + L(1 + E)^{-T}, \quad (50)$$

где D_t – денежные поступления в t -ом году (выручка от реализации продукции, дивиденды и т.д.);

C_t – годовые эксплуатационные расходы в t -ом году (без амортизации) и другие платежи (налоги, пошлины и т.д.);

K_t – капиталовложения в t -ом году;

K_o – первоначальные капиталовложения;

L – ликвидная стоимость по истечении срока службы;

E – процентная ставка.

Данный критерий сопоставляет инвестиционные затраты с достигаемым экономическим эффектом. Если значение данного критерия положительно, то это означает, что доход за период T превышает все затраты, и вариант эффективен. Если рассматриваются несколько вариантов, то наиболее целесообразным считается вариант, имеющий максимальное значение данного критерия.

10. ОБЪЕМ ВЫХОДА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР. ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР

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

ВЭР разделяют на три основные группы: избыточного давления, горючие и тепловые.

Горючие ВЭР – это горючие газы одного производства, которые могут быть применены непосредственно в виде топлива в других производствах.

ВЭР избыточного давления – это потенциальная энергия покидающих установку газов, воды, пара с повышенным давлением, которая может быть еще использована перед выбросом в атмосферу.

Тепловые ВЭР – это физическая теплота отходящих газов, основной и побочной продукции производства; теплота золы и шлаков; теплота горячей воды и пара, отработанных в технологических установках; теплота рабочих тел систем охлаждения технологических установок.

Применительно к ВЭР вводятся следующие основные термины:

1. Выход ВЭР – масса вторичных энергоресурсов, которые образовались в данной установке за определенный период времени (час, сутки, месяц, квартал, год) и пригодны к использованию в этот период;

2. Использование ВЭР – это масса вторичных энергоресурсов какого-либо агрегата, употребленных в других установках и системах;

3. Выработка за счет ВЭР – это количество теплоты, холода, электроэнергии и механической работы, полученной в утилизационной установке;

4. Экономия топлива за счет ВЭР – количество первичного топлива, которое экономится за счет использования вторичных энергетических ресурсов.

Объем выхода ВЭР за рассматриваемый период времени (рекомендуется определять годовой выход ВЭР) определяется по формулам, ГДж, [6, 7]:

$$Q_{\text{в}} = 10^{-6} q_{\text{в}}^{\text{уд}} M, \quad (51)$$

или

$$Q_{\text{в}} = 10^{-6} q_{\text{в}}^{\text{час}} t, \quad (52)$$

где $q_e^{y\partial}$, $q_e^{час}$ - соответственно удельный (на единицу продукции или сырья), кДж/ед.пр., и часовой, кДж/ч, выход ВЭР;
 M – объем выпуска основной продукции или расход сырья за рассматриваемый период, ед. пр.
 t – время работы агрегата-источника ВЭР за рассматриваемый период, ч.

Удельный (часовой) выход ВЭР определяется произведением удельного (часового) количества энергоносителя на его энергетический потенциал, кДж/ед. пр. (кДж/ч), [6, 7]:

1) для горючих ВЭР:

$$q_e = mQ_n^p, \quad (53)$$

где m – удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых (жидких), кг/ед. пр. (кг/ч), или газообразных, м³/ед. пр. (м³/ч), продуктов;

Q_n^p - низшая рабочая теплота сгорания энергоносителя (твердого (жидкого) – кДж/кг, газообразного – кДж/м³);

2) для тепловых ВЭР:

$$q_e = m\Delta h, \quad (54)$$

где Δh – перепад энтальпий энергоносителя (твердого (жидкого) – кДж/кг, газообразного – кДж/м³);

3) для ВЭР избыточного давления:

$$q_e = ml, \quad (55)$$

где l – работа изэнтропного расширения энергоносителя (жидкого – кДж/кг, газообразного – кДж/м³);

Перепад энтальпий энергоносителя в общем случае рассчитывается по формуле, кДж/кг (кДж/м³), [7]:

$$\Delta h = c_1 t_1 - c_0 t_0, \quad (56)$$

где t_1 , t_0 – соответственно температура энергоносителя на выходе из агрегата-источника ВЭР и температура окружающей среды, °С;

c_1, c_0 – соответственно теплоемкости энергоносителя (твердого (жидкого) – кДж/(кг·°C), газообразного – кДж/(м³·°C)) при температурах t_1 и t_0 .

Теплоемкости твердых и жидких энергоносителей определяются по соответствующим справочникам, а теплоемкости для дымовых газов c_2 типового состава и воздуха c_6 при температуре t приближенно можно вычислить по следующим соотношениям, кДж/(м³·°C), [6]:

$$c_2 = 1,34 + 0,00016t, \quad (57)$$

$$c_6 = 1,3 + 0,000109t. \quad (58)$$

Работа изоэнтропного расширения:

1) для жидкого энергоносителя, МДж/кг, [7]:

$$l = \frac{p_1 - p_2}{\rho}, \quad (59)$$

где p_1, p_2 – давление энергоносителя на входе в утилизационную установку и на выходе из нее, МПа;

ρ – плотность энергоносителя, кг/м³;

2) для газообразного энергоносителя, кДж/м³, [7]:

$$l = h_1 - h_2, \quad (60)$$

где h_1 – энтальпия газа перед расширением при давлении p_1 и температуре t_1 , кДж/м³;

h_2 – энтальпия газа в конце изоэнтропного расширения до давления p_2 и температуры t_2 , кДж/м³.

Температура газа в конце изоэнтропного расширения [7]:

$$t_2 = t_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1-k}{k}}, \quad (61)$$

где k – средний показатель изоэнтропии в интервале температур $t_1 \dots t_2$.

Совместно с выходом ВЭР следует учитывать возможное использование ВЭР. При непосредственном использовании ВЭР без изменения вида энергоносителя возможное использование равно выходу ВЭР за вычетом неизбежных потерь. Если ВЭР используется с преобразованием энергоносителя в утилизационной установке, то возможное использование ВЭР равно возможной выработке энергии за счет ВЭР.

Возможная выработка тепла в утилизационной установке за счет тепловых ВЭР [7]:

$$Q_m = Q_6 \beta (1 - \xi) = Q_6 \eta_y, \quad (62)$$

где β – коэффициент, учитывающий несоответствие режима работы агрегата-источника ВЭР и утилизационной установки;

ξ – коэффициент, учитывающий теплоотвод в окружающую среду;

η_y – условный КПД утилизационной установки.

Возможная выработка холода [7]:

$$Q_x = Q_m \varepsilon, \quad (63)$$

где ε – холодильный коэффициент (отношение количества выработанного холода к количеству затраченного тепла).

Выработка электроэнергии в утилизационной турбине за счет ВЭР избыточного давления [7]:

$$W = Q_6 \eta_m \eta_э, \quad (64)$$

где η_m – КПД турбины;

$\eta_э$ – КПД электрогенератора.

Выработка электроэнергии при поступлении пара высоких параметров из теплоутилизационной установки на конденсационную турбину [7]:

$$W = \frac{Q_m}{q_k}, \quad (65)$$

где q_k – удельный расход теплоты на производство электроэнергии в конденсационной турбине, ГДж/(кВт·ч).

В случае комбинированного (одновременно выработка теплоты и электроэнергии) использования ВЭР при получении в теплоутилизационной установке пара высоких параметров:

1. возможная выработка электроэнергии в теплофикационной турбине [7]:

$$W = \frac{\mathcal{E}Q_m}{1 + \mathcal{E}q_m}, \quad (66)$$

где \mathcal{E} – удельная выработка электроэнергии на единицу отпущенной теплоты, кВт·ч/ГДж;

q_m – удельный расход теплоты на производство электроэнергии при тепловом потреблении, ГДж/кВт·ч;

2. отпуск (выработка) теплоты [7]:

$$Q_o = \frac{Q_m}{1 + \mathcal{E}q_m}. \quad (67)$$

Основой экономической эффективности использования ВЭР является достигаемая экономия первичного топлива, которая определяется в зависимости от выбранного направления использования ВЭР: теплового, электроэнергетического, комбинированного и топливного.

При тепловом направлении использования ВЭР экономия первичного топлива за счет ВЭР составит, т.у.т./г., [7]:

$$B_3 = \frac{0,0341Q_u}{\eta_{зам}} = \frac{0,0341Q_m\sigma}{\eta_{зам}}, \quad (68)$$

где Q_u – количество использованных тепловых ВЭР, ГДж/г.;

σ – коэффициент использования выработанной теплоты, представляющий собой долю используемой потребителями выработки и зависящий от несовпадения режимов выхода ВЭР и потребления утилизационного тепла во времени;

$\eta_{зам}$ – КПД энергетической установки, с показателями которой сопоставляется эффективность использования ВЭР.

При выработке холода, т.у.т./г., [7]:

$$B_3 = \frac{0,0341Q_x}{\eta_{зам}\varepsilon}. \quad (69)$$

При электроэнергетическом использовании ВЭР избыточного давления экономия топлива составит, т.у.т./г., [7]:

$$B_э = b_э W, \quad (70)$$

где $b_э$ – удельный расход топлива на выработку электроэнергии в энергосистеме или на замещаемой установке, с показателями которой сравнивается эффективность утилизации ВЭР, кг.у.т./кВт·ч);
 W – выработка электрической энергии за счет ВЭР на утилизационных установках, МВт·ч/г.

При топливном направлении использования горючих ВЭР экономия топлива определяется из выражения, т.у.т./г., [7]:

$$B_э = \frac{0,0341 Q_u \eta_{ВЭР}}{\eta_m}, \quad (71)$$

где $\eta_{ВЭР}$ – КПД топливоиспользующего агрегата при работе на горючих ВЭР;

η_m – КПД топливоиспользующего агрегата при работе на первичном топливе;

Q_u – величина использования горючих ВЭР, ГДж/г.

При комбинированном направлении использования ВЭР экономия топлива определяется по формуле, т.у.т./г., [7]:

$$B_э = \frac{0,0341 Q_u}{\eta_{зам}} + b_э W. \quad (72)$$

11. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ОТОПЛЕНИИ И ОСВЕЩЕНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Здания и сооружения всех типов являются крупнейшими потребителями энергии в РБ. Они используют около 30...40 % энергии, потребляемой в стране, причем эффективность ее использования крайне низка. По оценкам отечественных и заруб.ежных экспертов потенциал экономии тепловой энергии в зданиях и сооружениях составляет около 50 %, а электроэнергии – равен 30...40 %.

Основными мероприятиями по экономии тепловой энергии в зданиях являются:

1. повышение теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций (стен, крыши, окон и т.д.);
2. снижение количества поступающего в помещения холодного наружного воздуха через неплотности в наружных ограждениях;
3. применение систем автоматического регулирования систем отопления и вентиляции зданий и т.д.

При отоплении зданий подводимая теплота расходуется на возмещение тепловых потерь через строительные ограждения, а также теплопотерь, вызываемых инфильтрацией (проникновением) наружного воздуха через неплотности в наружных ограждениях и периодически открываемые двери. Расчетный годовой расход тепла на отопление здания можно определить по формуле, ГДж, [23]:

$$E = 86,4 \cdot 10^{-6} qV(t_{в.р.} - t_{ср.о.})(1 + \mu)n, \quad (73)$$

где q – удельная отопительная характеристика здания, Вт/(м³·К);

V – наружный строительный объем здания, м³;

$t_{в.р.}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, (таблица 7);

$t_{ср.о.}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С, (таблица 8);

n – продолжительность отопительного периода, сут., (таблица 8);

μ – коэффициент инфильтрации, представляющий собой отношение теплопотерь инфильтрацией к теплопотерям теплопередачей через наружные ограждения (для жилых и общественных зданий $\mu=0,03\dots0,06$, для производственных зданий $\mu=0,25\dots0,3$).

Удельную отопительную характеристику здания расчетным путем определяют по формуле, Вт/(м³·°С), [23]:

$$q = \frac{P}{S}(k_c + \varphi(k_{ок} - k_c)) + \frac{1}{H}(\psi_1 k_{нт} - \psi_2 k_{нл}), \quad (74)$$

где k_c , $k_{ок}$, $k_{нт}$, $k_{нл}$ – соответственно коэффициенты теплопередачи стен, окон, потолка верхнего этажа, пола нижнего этажа, Вт/(м²·°С), (таблица 9);

φ – коэффициент остекления, т.е. отношение площади окон к площади вертикальных ограждений (стен);

ψ_1, ψ_2 – соответственно поправочные коэффициенты на расчетный перепад температур для верхнего и нижнего горизонтального ограждения здания (обычно $\psi_1=0,75\dots0,9$, $\psi_2=0,5\dots0,7$);

P – периметр здания в плане, м;

S – площадь здания в плане, м²;

H – высота здания, м.

Таблица 7

Расчетная температура внутреннего воздуха [23]

Тип помещения	Расчетная температура внутреннего воздуха, °С
Классные помещения и аудитории учебных заведений	18
Лабораторные корпуса	15

Таблица 8

Климатологические данные города Минска в течение отопительного периода [23]

Продолжительность отопительного периода, сут.	средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С
203	-1,2

Коэффициент инфильтрации [23]:

$$\mu = b \sqrt{2gH \left(1 - \frac{t_{cp.o.}}{t_{в.п.}} \right) + u_в^2}, \quad (75)$$

где b – постоянная инфильтрации (для промышленных зданий $b=(35\dots40) \cdot 10^{-3}$ с/м, для жилых и общественных зданий $b=(8\dots10) \cdot 10^{-3}$ с/м);

$u_в$ – скорость ветра, м/с;

$g=9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

Таблица 9

Теплофизические характеристики строительных ограждений
и заполнений световых проемов [23]

Наименование	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·°С)	Сопротивление теплопередаче, м ² ·°С/Вт
кирпич	0,73		
железобетон	1,4		
каменная вата	0,039		
пол (5 см теплоизоляция)		0,68	
пенобетон (30...36 см) или легкий кирпич	0,19	0,66	
потолок (12 см теплоизоляция)		0,35	
оконный блок (деревянный) с одним стеклом			0,17
оконный блок (деревянный) с двойным остеклением			0,31...0,36
оконный блок (деревянный) с одним стеклопакетом			0,6
оконный блок (деревянный) с тройным остеклением или стеклом и стеклопакетом			0,8
окна из ПВХ-профиля			0,6...0,75
окна из алюминиевого профиля			0,35...0,42

При практических расчетах часто используют сопротивление теплопередаче, м²·°С/Вт:

$$R = \frac{1}{k}, \quad (76)$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С).

Общее термическое сопротивление теплопередачи ограждающей многослойной конструкции определяется по формуле [23]:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n R_{ki}, \quad (77)$$

где α_g, α_n – соответственно коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхности конструкции, Вт/(м²·°С);

R_{ki} – термическое сопротивление i -го однородного слоя конструкции, м²·°С/Вт.

Коэффициент теплоотдачи наружной (внутренней) поверхности конструкции рассчитывают по формуле, Вт/(м²·°С), [23]:

$$\alpha_n = 3,5 + 11,6\sqrt{u}, \quad (78)$$

где u – скорость воздуха снаружи (внутри) помещения, м/с (в помещении $u=0,2\dots0,4$ м/с).

Термическое сопротивление плоского однородного слоя конструкции определяется по формуле, м²·°С/Вт, [23]:

$$R_k = \frac{h}{\lambda}, \quad (79)$$

где h – толщина слоя, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/ м·°С.

Существенную долю (около 40...60 %) в потреблении электроэнергии зданий составляют затраты на их освещение. Сокращение расхода электроэнергии на освещение возможно следующими основными путями:

- 1) применение экономичных источников света (ИС);
- 2) рациональный выбор системы освещения помещения;
- 3) использование автоматических систем управления освещением;
- 4) более полное использование естественного освещения и т.д.

При замене ИС на более экономичный тип, необходимо произвести расчет его необходимого светового потока, в соответствии с зависимостью, лм, [24, 28]:

$$F_p = \frac{E_{\min} Skz}{Nn\eta_l\eta} \quad (80)$$

где E_{\min} – минимальная (нормируемая) освещенность на рабочем месте, лк, (таблица 10);

S – площадь освещаемого помещения, м²;

k – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности от запыления перекрытий помещения и осветительных приборов и от старения ламп по мере эксплуатации осветительной установки (для общественных зданий $k_s=1,3 \dots 1,5$);

z – поправочный коэффициент, равный отношению средней освещенности к минимальной на нормируемой поверхности (рекомендуется принимать $z=1,15$ для ЛН и ламп типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, КЛЛ и т.п.; $z=1,1$ для трубчатых ЛЛ при расположении осветительных приборов в линию; $z=1$ при отраженном освещении);

N – количество осветительных приборов (ОП), шт.;

n – количество ламп в осветительном приборе, шт., (таблица 11);

η_l – КПД осветительного прибора (таблица 11);

η – коэффициент использования осветительного прибора, равный отношению светового потока, падающего на поверхность, к световому потоку, испускаемому осветительным прибором.

Таблица 10

Нормы освещенности, рекомендуемые ИС и ОП для характерных помещений учебных заведений [24]

Тип помещения	Рекомендуемый тип ИС	Освещенность	Рекомендуемый тип ОП
Учебные аудитории	ЛЛ (ЛБ)	300	ЛПО02
Кабинеты технического черчения	ЛЛ (ЛБ, ЛЕ, ЛХЕ)	500	ЛСО02
Учебные лаборатории	ЛЛ (ЛБ)	300	Л2010М
Спортивные залы	ЛЛ (ЛБ, ЛХЕ), допускаются ЛН	300	УСП, ЛПО30

При определении количества ОП принять, что их оптимальное расположение имеет место в случае:

$$\frac{l}{h} = 0,8 \dots 1,2, \quad (81)$$

где l – расстояние между соседними светильниками.

h – высота подвеса светильников общего освещения над рабочей поверхностью.

Таблица 11
Основные параметры некоторых ОП для общего освещения помещений общественных зданий [24]

Наименование серии, типа	Количество ламп, шт.	Мощность ламп, Вт	Тип КСС	КПД
ОП с ЛЛ				
УСП	2	20	Г-2	0,45
	2	40	Г-2	0,5
	2	20, 40	Г-1	0,5
	2	20	Г-2	0,63
	2	40	Г-2	0,67
Л2010М	2	20, 40, 65	Д-2	0,5
	2	20, 40, 65	Д-1	0,55
	2	20, 40, 65	Д-1	0,7
	2	20, 40, 65	Д-2	0,65
	2	20, 40, 65	Г-1	0,6
	2	20, 40, 65	Г-1	0,6
ЛПО02	2	20, 40, 65	Д-2	0,52
ОП с ЛН				
НПО18	2	40	Д-1	0,65
	2	60	Г-1	0,65
	1	60	Д-1	0,65
	1	100	Д-1	0,65
	1	150	Л	0,7

Коэффициент использования светового прибора определяется по таблице 12 в зависимости от формы кривой силы света (КСС) осветительного прибора, коэффициента отражения поверхностей (потолка – $\rho_{ном}$, стен – $\rho_{ст}$, пола – ρ_n и рабочей – ρ_p) и индекса помещения [24]:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)}, \quad (82)$$

где a, b – соответственно ширина и длина освещаемого помещения, м;

Таблица 12

Значения коэффициентов использования
для $\rho_{ном}=0,7$, $\rho_{см}=0,5$, $\rho_p(\rho_n)=0,3$ [24]

Тип КСС	Индекс помещения, i					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	0,35	0,50	0,61	0,73	0,83	0,95
Д-1	0,36	0,50	0,58	0,72	0,81	0,90
Д-2	0,44	0,52	0,68	0,84	0,93	1,03
Г-1	0,49	0,60	0,75	0,90	1,01	1,06
Г-2	0,58	0,68	0,82	0,96	1,02	1,09
Г-3	0,64	0,74	0,85	0,95	1,00	1,05
Г-4	0,70	0,77	0,84	0,90	0,94	0,99
Л	0,32	0,49	0,59	0,71	0,83	0,91

По рассчитанному значению светового потока подбирается необходимый источник света с учетом допускаемых отклонений фактической освещенности рабочей поверхности в пределах от 0,9 до 1,2 нормированной освещенности, т.е., [24, 28]:

$$0,9F_p \leq F_n \leq 1,2F_p, \quad (83)$$

где F_n – фактический световой поток лампы при номинальном напряжении в сети, лм, (таблица 13, 14).

Таблица 13

Параметры люминесцентных ламп (ЛЛ) общего назначения [24]

Мощность, Вт	Световой поток ЛЛ для цветности, лм:				
	ЛБ	ЛТБ	ЛХБ	ЛД	ЛДЦ
15	820	820	800	700	600
20	1200	1100	1020	1000	850
30	2180	2020	1940	1800	1500
40	3200	3100	3000	2500	2200
65	4800	4650	4400	4000	3160
80	5400	5200	5040	4300	3800

Таблица 14

Параметры ламп накаливания (ЛН) общего назначения [24]

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм
B215-225-15	15	105
B215-225-25	25	220
B215-225-40	40	415
BK215-225-40	40	460
B215-225-60	60	715
BK215-225-60	60	790
B215-225-75	75	950
BK215-225-75	75	1020
B215-225-100	100	1350
BK215-225-100	100	1450
B215-225-150	150	2100
Г215-225-150	150	2090
B215-225-200	200	2920
Г215-225-300	300	4610
Г215-225-500	500	8300
Г215-225-750	750	13100
Г215-225-1000	1000	18600

После выбора необходимого ИС, уточнения типа ОП и параметров ПРА производится расчет годового потребления электроэнергии осветительными установками по формуле, кВт·ч, [28]:

$$W = 10^{-3} N n P k_{пра} T_{\max} k_c, \quad (84)$$

где $k_{пра}$ – коэффициент потерь мощности в ПРА (таблица 15);

T_{\max} – время использования максимума осветительной нагрузки (таблица 16);

k_c – коэффициент спроса осветительной нагрузки.

Коэффициент спроса осветительной нагрузки рассчитывается по формуле [28]:

$$k_c = k_c^{техн} k_{дон} k_{ay}, \quad (85)$$

где $k_c^{техн}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки, обусловленный технологическим процессом, осуществляемым в рассматриваемом помещении (таблица 17);

$k_{дон}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное число часов работы осветительного оборудования в пасмурное время дня ($k_{дон}=1,08$);
 $k_{ав}$ – коэффициент, учитывающий автоматизацию управления освещением (таблица 18).

Таблица 15
 Коэффициент мощности потерь в ПРА [28]

Тип источника света	Тип ПРА	Средний коэффициент потерь в ПРА
ЛЛ	Электромагнитный	1,22
	Электронный	1,1
ДРЛ	Электромагнитный	1,27
	Электронный	1,1

Таблица 16
 Время использования максимума осветительной нагрузки рабочего освещения в помещениях [28]

Количество смен	Продолжительность рабочей недели, дни	Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки	
		При наличии естественного освещения	При отсутствии естественного освещения
1	5	750	2150
1	6	600	-
2	5	2250	-
2	6	2100	4300
3	5	4150	6500
3	6	4000	6500

Расчетное количество сэкономленной тепловой энергии на отопление здания (электрической энергии на освещение здания) за год будет равно разнице годовых потреблений энергии при существующем варианте отопления (освещения) E_1 и планируемом E_2 :

$$\Delta E = E_1 - E_2. \quad (86)$$

Таблица 17

Технологический коэффициент спроса осветительной нагрузки [28]

Тип помещения	Технологический коэффициент спроса осветительной нагрузки $k_c^{техн}$
Мелкие производственные и торцовые помещения	1,0
Производственные помещения, состоящие из отдельных больших пролетов	0,95
Административные помещения	0,9
Производственные помещения, состоящие из нескольких разделенных между собой участков	0,85
Лабораторные и конструкторско-бытовые помещения	0,8
Складские помещения	0,6

Таблица 18

Коэффициент, учитывающий автоматизацию управления освещением [28]

Уровень автоматизации управления освещением	Коэффициент, учитывающий автоматизацию управления освещением $k_{ав}$
Контроль уровня освещения с автоматическим включением и отключением системы освещения при критическом значении освещенности	0,85...0,9
Зонное управление освещением (включение и отключение освещения дискретно, в зависимости от зонного распределения естественной освещенности)	0,75...0,8
Плавное управление мощностью и световым потоком светильников в зависимости от распределения естественной освещенности	0,6...0,7

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы энергосбережения: Курс лекций/ Под ред Н.Г. Хутской.- Мн.: Технология, 1999.- 100 с.
2. Основы энергосбережения: Учебное пособие/ Б.И. Врублевский, С.Н. Лебедева, А.Б. Невзорова и др.; Под ред. Б.И. Врублевского.- Гомель: ЧУП ЦНТУ “Развитие”, 2002.- 190 с.
3. Поспелова Т.Г. Основы энергосбережения.- Мн.: Технопринт, 2000.- 353 с.
4. Самойлов М.В., Паневчик В.В., Ковалев А.Н. Основы энергосбережения: Учеб. Пособие.- Мн.: БГЭУ, 2002.- 198 с.
5. Володин В.И. Энергосбережение: Учебное пособие по курсу “Энергосбережение и энергетический менеджмент” для студентов.- Мн.: БГТУ, 2001.- 162 с.
6. Вторичные теплоэнергетические ресурсы и охрана окружающей среды/ В.В. Харитонов, В.А. Голубев, В.М. Овчинников, В.Л. Лиходиевский; Под ред. В.В. Харитонова.- Мн.: Выш. Шк., 1988.- 172 с.
7. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности: Учебник для вузов/ Н.А. Семененко, Л.И. Куперман, С.А. Романовский и др.- К.: Вища школа, 1979.- 296 с.
8. Данилов Н.И. Энциклопедия энергосбережения.- Екатеринбург: Сократ, 2002.- 352 с.
9. Закон Республики Беларусь об энергосбережении// Энергоэффективность.- 1998.- № 7.- С. 2-5.
10. Копко В.М. Теплоизоляция труб, опроводов и теплосетей: Учеб.-метод. пособие.- Мн.: Технопринт, 2002.- 160 с.
11. Кузнецов Б.В. Расчеты экономии электроэнергии.- Мн.: Беларусь, 1983.- 80 с.
12. Лабораторный практикум по курсу “Основы энергосбережения”/ В.Г. Баштовой, Н.И. Березовский, Ю.А. Волков и др.- Мн.: БГПА, 1999.- 57 с.
13. Лосюк Ю.А. Возобновляемые источники энергии: Учеб. нагл. пособие.- Мн.: Технология, 2000.- 80 с.
14. Мезенцев А.П. Основы расчета мероприятий по экономии тепловой энергии и топлива.- Л.: Энергоатомиздат, 1984.- 120 с.
15. Некрашевич В.А. Приборы учета энергоносителей.- Мн.: Бел. гос. ин-т проблем культуры, 2001.- 116 с.
16. Нестеров Л.В., Крутилин А.Б. Теплотехнические показатели современных окон: их достоинства и недостатки// Энергоэффективность.- 2001.- № 8.- С. 16-17.

17. Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов/Я.М. Точинский, Л.Л. Покровский, С.Л. Любинская, В.И. Шур; Под ред. Я.М. Точинского.- К.: Будівельник, 1986.- 96 с.
18. Основы энергосбережения. Учебная программа для высших учебных заведений/ А.А. Михалевич, А.А. Андрижиевский, Н.П. Борушко и др.- Мн.: РИВШ БГУ, 2000.- 12 с.
19. Основы энергосбережения/ М.И. Сергиенко и др.- Гомель: ГомГУ, 2001.- 75 с.
20. Рябинкин В.И. Учет тепловой энергии и теплоносителя.- М.: ЗАО “Энергосервис”, 2000.- 116 с.
21. Свицерская О.В. Основы энергосбережения. Учебное пособие. В 2 ч. – Мн.: Академия управления при президенте Республики Беларусь, 2000, 2001- Ч.1.- 58 с., Ч.2.- 97 с.
22. Северянин В.С. Основы энергосбережения: Курс лекций.- Брест: БПИ, 1998.-100 с.
23. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов.- 5-е изд., перераб.- М.: Энергоиздат, 1982.- 360 с.
24. Справочная книга по светотехнике/ Под ред. Ю.Б. Айзенберга.- 2-е изд., перераб. И доп.- М.: Энергоатомиздат, 1995.- 528 с.
25. Справочник рабочего кузнечно-штамповочного производства/ М.Г. Златкин, Н.Н. Дорохов, Н.И. Лебедев и др.- М.: Машгиз, 1961.- 772 с.
26. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра.- М.: Энергоатомиздат, 1983.- 200 с.
27. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. пособие/ Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др.; Под ред. Л.Д. Богуславского и В.И. Ливчака.- М.: Стройиздат, 1990. - 624 с.
28. Энергосбережение. Ч. 1. Современные источники света: Пособие для самостоятельной работы студентов по курсу «Основы энергосбережения»/ И.С. Евдасев, В.М. Овчинников, В.С. Могила, М.А. Павлов.- Гомель: БелГУТ, 2003.- 76 с.
29. Энергосбережение: Курс лекций/ В.Г. Баштовой, Н.И. Березовский, Ю.А. Волков и др.- Мн.: Технология, 1999.- 146 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи дисциплины.....	3
2. Содержание дисциплины	3
3. Единицы измерения и виды энергии. Работа и мощность.....	6
4. Состав топлива. Высшая и низшая теплота горания топлива. Условный эквивалент топлива.....	8
5. Использование энергии ветра	11
6. Транспортирование тепловой и электрической энергии	15
7. Аккумулирование тепловой энергии	19
8. Тарифы на тепловую и электрическую энергию	21
9. Определение экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия	23
10. Объем выхода и использования ВЭР. Экономия топлива за счет использования ВЭР.....	25
11. Энергосбережение при отоплении и освещении зданий и сооружений	30
Рекомендуемая и цитируемая литература	41

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

**Практическое пособие
по одноименному курсу
для студентов специальности 1-36 01 05
«Машины и технология обработки материалов
давлением» и 1-36 20 02 «Упаковочное
производство (по направлениям)»
дневной и заочной форм обучения**

Авторы-составители: **Целуев Михаил Юрьевич**
Целуева Светлана Николаевна

Подписано в печать 20.02.06.

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

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,58.

Изд. № 139.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

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

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.