

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Техносферная безопасность и производственный дизайн»

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 1-36 07 02 «Производство
изделий на основе трехмерных технологий»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2024

УДК 620.9
ББК 31.19
Э65

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Техносферная безопасность и производственный дизайн» «27» декабря 2023 г., протокол № 5

Составитель ст. преподаватель В. М. Пускова

Рецензент ст. преподаватель Н. В. Курочкин

Методические рекомендации к лабораторным работам содержат основные теоретические положения по теме, методику выполнения лабораторных работ, формулы для расчета, варианты заданий. Предназначены для студентов специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» очной и заочной форм обучения.

Учебное издание

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Ответственный за выпуск	А. В. Щур
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2024

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Расчет элементарного состава топлива....	4
2 Лабораторная работа № 2. Расчет показателей режима работы электростанций.....	8
3 Лабораторная работа № 3. Определение энергетических, экологических и агротехнических эффектов от внедрения биогазовых комплексов	12
4 Лабораторная работа № 4. Расчет эффективности типичных энергосберегающих мероприятий в производственных организациях.....	19
5 Лабораторная работа № 5. Оценка эффективности использования вторичных энергоресурсов.....	27
6 Лабораторная работа № 6. Оценка снижения выбросов парниковых газов в результате осуществления энергосберегающих мероприятий	33
Список литературы.....	38

1 Лабораторная работа № 1. Расчет элементарного состава топлива

Цель работы: выполнить расчет элементарного состава топлива.

1.1 Теоретическая часть

Теплота сгорания топлива – это количество теплоты в килоджоулях, выделяемое при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м³ газообразного топлива.

Для расчетов пользуются понятием низшей теплоты сгорания Q_n .

Для твердого или жидкого топлива

$$Q_n = 338C + 1025H - 108,5(O - S) - 25W, \quad (1.1)$$

где C, H, S, O – содержание элементов топлива, %;

W – влажность топлива, %.

Для газообразного топлива

$$Q_n = 108H_2 + 126CO + 234H_2S + 358CH_4 + 591C_2H_4 + 638C_2H_6 + 860C_3H_6 + \\ + 913C_3H_8 + 1135C_4H_8 + 1187C_4H_{10} + 1461C_5H_{12} + 1403C_6H_6, \quad (1.2)$$

где H₂, CO, H₂S, CH₄, C₂H₄ и т. д. – объемное содержание газов, входящих в газообразное топливо, %.

Учет расхода топлива ведется в килограммах условного топлива (у. т.).

Перевод натурального топлива в условное ведется по формуле

$$B_y = B \cdot \mathcal{E}, \quad (1.3)$$

где B_y , B – расход условного и натурального топлива соответственно, кг у. т.;

\mathcal{E} – тепловой эквивалент топлива,

$$\mathcal{E} = \frac{Q_n}{29300}; \quad (1.4)$$

29300 – низшая теплота сгорания условного топлива, кДж/кг у. т.

Задача 1. Определить теплоту сгорания сухого газа. Состав газа задан в таблице 1.1.

Задача 2. Определить низшую теплоту сгорания угля, состав которого задан в таблице 1.2.

Задача 3. Количество сжигаемого топлива 3000 кг, состав которого задан в таблице 1.3. Определить количество сжигаемого условного топлива.

Таблица 1.1 – Исходные данные

Вариант	H ₂ S	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
1	0,2	7,5	0,2	27,5	13,5	0,5	50,6
2	0,15	7,2	0,25	27,9	12,9	0,65	50,95
3	0,26	7,7	0,17	26,8	14,1	0,38	50,59
4	0,3	7,4	0,2	28,5	12,5	0,5	50,6
5	0,25	7,1	0,25	28,9	11,9	0,65	50,95
6	0,36	7,6	0,17	27,8	13,1	0,38	50,59
7	0,4	7,3	0,2	29,5	11,5	0,5	50,6
8	0,35	7	0,25	29,9	10,9	0,65	50,95
9	0,46	7,5	0,17	28,8	12,1	0,38	50,59
10	0,5	7,2	0,2	30,5	10,5	0,5	50,6
11	0,45	6,9	0,25	30,9	9,9	0,65	50,95
12	0,56	7,4	0,17	29,8	11,1	0,38	50,59
13	0,6	7,1	0,2	31,5	9,5	0,5	50,6
14	0,55	6,8	0,25	31,9	8,9	0,65	50,95
15	0,66	7,3	0,17	30,8	10,1	0,38	50,59

Таблица 1.2 – Исходные данные

Вариант	C	H	S	N	O	A	W
1	37,3	2,8	1	0,9	10,5	29,5	18
2	36,8	3,2	0,8	1,1	10,3	31,2	16,6
3	38,4	2,6	1,3	0,8	11,2	28,7	17
4	36,3	3,8	1	0,9	10,5	28,5	19
5	35,8	4,2	0,8	1,1	10,3	30,2	17,6
6	37,4	3,6	1,3	0,8	11,2	27,7	18
7	35,3	4,8	1	0,9	10,5	27,5	20
8	34,8	5,2	0,8	1,1	10,3	29,2	18,6
9	36,4	4,6	1,3	0,8	11,2	26,7	19
10	34,3	5,8	1	0,9	10,5	26,5	21
11	33,8	6,2	0,8	1,1	10,3	28,2	19,6
12	35,4	5,6	1,3	0,8	11,2	25,7	20
13	33,3	6,8	1	0,9	10,5	25,5	22
14	32,8	7,2	0,8	1,1	10,3	27,2	20,6
15	34,4	6,6	1,3	0,8	11,2	24,7	21

Таблица 1.3 – Исходные данные

Вариант	C	H	S	N	O	A	W
1	49,3	3,6	3	1	8,3	21,8	13
2	48,2	3,3	2,5	1,5	7,9	20,6	16
3	51,7	3,8	3,4	0,9	8,7	22,5	9
4	50,3	2,6	3	2	7,3	21,8	13
5	49,2	2,3	2,5	2,5	6,9	20,6	16
6	52,7	2,8	3,4	1,9	7,7	22,5	9
7	51,3	1,6	3	3	6,3	21,8	13
8	50,2	1,3	2,5	3,5	5,9	20,6	16
9	53,7	1,8	3,4	2,9	6,7	22,5	9
10	52,3	0,6	3	4	5,3	21,8	13
11	51,2	0,3	2,5	4,5	4,9	20,6	16
12	54,7	0,8	3,4	3,9	5,7	22,5	9
13	53,3	2,1	3	5	6,8	21,8	13
14	52,2	1,8	2,5	5,5	6,4	20,6	16
15	55,7	2,3	3,4	4,9	7,2	22,5	9

Задача 4. Удельный расход натурального топлива на 1 кВт·ч выработанной электроэнергии b , кг/(кВт·ч). Теплота сгорания топлива Q_n , кДж/кг. Определить удельный расход условного топлива. Исходные данные приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Исходные данные

Вариант	b , кг/(кВт·ч)	Q_n , кДж/кг
1	0,5	23000
2	0,58	24500
3	0,47	22800
4	1,5	23000
5	1,58	24500
6	1,47	22800
7	0,5	23500
8	0,58	24000
9	0,47	26000
10	1,5	20500
11	1,58	21300
12	1,47	28000
13	0,5	19800
14	0,58	20000
15	0,47	21000

Задача 5. Электростанция за год вырабатывает электроэнергию $\mathcal{E}_{\text{выр}}$, кВт·ч, с удельным расходом условного топлива b_y , кг у. т./кВт·ч).

Определить годовой расход натурального топлива. Тепловой эквивалент сжигаемого топлива \mathcal{E} . Исходные данные приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Исходные данные

Вариант	$\mathcal{E}_{\text{выр}}$, кВт·ч	b_y , кг у. т./кВт·ч	\mathcal{E}
1	$8,4 \cdot 10^6$	0,397	0,84
2	$7,9 \cdot 10^6$	0,412	0,87
3	$9,2 \cdot 10^6$	0,384	0,81
4	$9,4 \cdot 10^6$	0,497	0,6
5	$8,9 \cdot 10^6$	0,512	0,8
6	$9,5 \cdot 10^6$	0,484	0,95
7	$10,4 \cdot 10^6$	0,297	1,1
8	$11,9 \cdot 10^6$	0,312	0,6
9	$19,2 \cdot 10^6$	0,284	0,7
10	$8,4 \cdot 10^6$	0,197	0,75
11	$7,5 \cdot 10^6$	0,212	1,2
12	$9,8 \cdot 10^6$	0,184	0,68
13	$8,9 \cdot 10^6$	0,597	0,86
14	$11,0 \cdot 10^6$	0,612	0,9
15	$9,2 \cdot 10^6$	0,584	0,91

Контрольные вопросы

- 1 Дать определение топлива. Какие бывают виды топлива?
- 2 Что такое теплота сгорания топлива и в чем она измеряется?
- 3 Что такое натуральное и условное топливо?

2 Лабораторная работа № 2. Расчет показателей режима работы электростанций

Цель работы: определить основные показатели работы электростанций.

2.1 Теоретическая часть

Характерной особенностью режима работы электрических станций является соответствие производства электрической и тепловой энергии ее потреблению.

Режим работы электростанций оценивается следующими показателями.

Коэффициент использования установленной мощности

$$K_y = \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{выр}} / (N_{\text{эс}}^{\text{уст}} \cdot 8760) = N_{\text{эс}}^{\text{ср}} / N_{\text{эс}}^{\text{уст}}, \quad (2.1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{выр}}$ – количество выработанной энергии за год, кВт·ч;

$N_{\text{эс}}^{\text{ср}}$ – средняя нагрузка станции, кВт;

$N_{\text{эс}}^{\text{уст}}$ – установленная мощность электростанции, кВт.

Коэффициент нагрузки

$$K_n = N_{\text{эс}}^{\text{ср}} / N_{\text{эс}}^{\text{max}}, \quad (2.2)$$

где $N_{\text{эс}}^{\text{max}}$ – максимальная нагрузка электростанции, кВт.

Коэффициент резерва

$$K_r = N_{\text{эс}}^{\text{уст}} / N_{\text{эс}}^{\text{max}} = K_n / K_y. \quad (2.3)$$

Число часов использования установленной мощности

$$T_y = \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{выр}} / N_{\text{эс}}^{\text{уст}}. \quad (2.4)$$

Число часов использования максимальной нагрузки

$$T_M = \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{выр}} / N_{\text{эс}}^{\text{max}}. \quad (2.5)$$

Экономичность работы электростанции оценивается коэффициентом полезного действия, удельным расходом теплоты на выработку электроэнергии и себестоимостью энергии. КПД электростанции подразделяется на КПД брутто $\eta_{\text{эс}}^{\text{бр}}$ и КПД нетто $\eta_{\text{эс}}^{\text{нт}}$:

$$\eta_{\text{эс}}^{\text{бр}} = \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{выр}} / (B \cdot Q_H); \quad (2.6)$$

$$\eta_{эс}^{нт} = \mathcal{E}^{отп} / (B \cdot Q_H), \quad (2.7)$$

где $\mathcal{E}^{отп}$ – количество отпущенной энергии, кДж; $\mathcal{E}^{отп} = \mathcal{E}_{год}^{выр} - \mathcal{E}^{с.н.}$;

$\mathcal{E}^{с.н.}$ – количество энергии, израсходованной на собственные нужды, кДж.

Задача 1. На электростанции установлены два турбогенератора мощностью N кВт каждый. Определить среднюю нагрузку станции и коэффициент использования установленной мощности, если количество выработанной за год энергии $\mathcal{E}_{год}^{выр}$, кВт·ч. Исходные данные приведены в таблице 2.1.

Задача 2. На электростанции установлены три турбогенератора мощностью N кВт каждый. Определить показатели режима работы станции, если количество выработанной энергии за год $\mathcal{E}_{год}^{выр}$, кВт·ч, и максимальная нагрузка станции $N_{эс}^{max}$, кВт. Исходные данные приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Исходные данные

Вариант	N , кВт	$\mathcal{E}_{год}^{выр}$, кВт·ч
1	$25 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^7$
2	$27 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^7$
3	$23 \cdot 10^3$	$33 \cdot 10^7$
4	$35 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^7$
5	$37 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^7$
6	$33 \cdot 10^3$	$33 \cdot 10^7$
7	$28 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^7$
8	$30 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^7$
9	$15 \cdot 10^3$	$33 \cdot 10^7$
10	$28 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^7$
11	$40 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^7$
12	$41 \cdot 10^3$	$33 \cdot 10^7$
13	$15 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^7$
14	$37 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^7$
15	$23 \cdot 10^3$	$34 \cdot 10^7$

Задача 3. Конденсационная станция израсходовала B кг/год каменного угля с низшей теплотой сгорания Q_H , кДж/кг, и выработала электроэнергию $\mathcal{E}_{год}^{выр}$, кВт·ч, израсходовав при этом на собственные нужды 5 % от выработанной энергии. Определить КПД брутто и КПД нетто станции. Исходные данные приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.2 – Исходные данные

Вариант	N , кВт	$\mathcal{E}_{год}^{выр}$, кВт·ч	$N_{эс}^{max}$, кВт
1	$25 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^7$	$28,3 \cdot 10^3$
2	$27 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^7$	$27,4 \cdot 10^3$
3	$23 \cdot 10^3$	$33 \cdot 10^7$	$29,1 \cdot 10^3$
4	$35 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^7$	$38,3 \cdot 10^3$
5	$37 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^7$	$37,4 \cdot 10^3$
6	$33 \cdot 10^3$	$33 \cdot 10^7$	$29,1 \cdot 10^3$
7	$28 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^7$	$32,3 \cdot 10^3$
8	$30 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^7$	$17,4 \cdot 10^3$
9	$15 \cdot 10^3$	$33 \cdot 10^7$	$19,1 \cdot 10^3$
10	$28 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^7$	$25,3 \cdot 10^3$
11	$40 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^7$	$30,0 \cdot 10^3$
12	$41 \cdot 10^3$	$33 \cdot 10^7$	$29,0 \cdot 10^3$
13	$15 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^7$	$38,3 \cdot 10^3$
14	$37 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^7$	$29,4 \cdot 10^3$
15	$23 \cdot 10^3$	$34 \cdot 10^7$	$30,1 \cdot 10^3$

Таблица 2.3 – Исходные данные

Вариант	B , кг/год	Q_n , кДж/кг	$\mathcal{E}_{год}^{выр}$, кВт·ч
1	$660 \cdot 10^6$	20500	$590 \cdot 10^{10}$
2	$630 \cdot 10^6$	21500	$580 \cdot 10^{10}$
3	$680 \cdot 10^6$	22500	$570 \cdot 10^{10}$
4	$700 \cdot 10^6$	19500	$490 \cdot 10^{10}$
5	$800 \cdot 10^6$	20000	$480 \cdot 10^{10}$
6	$810 \cdot 10^6$	19000	$560 \cdot 10^{10}$
7	$720 \cdot 10^6$	21500	$550 \cdot 10^{10}$
8	$740 \cdot 10^6$	21500	$580 \cdot 10^{10}$
9	$800 \cdot 10^6$	20000	$540 \cdot 10^{10}$
10	$600 \cdot 10^6$	20500	$590 \cdot 10^{10}$
11	$630 \cdot 10^6$	22500	$580 \cdot 10^{10}$
12	$720 \cdot 10^6$	23500	$670 \cdot 10^{10}$
13	$700 \cdot 10^6$	20500	$490 \cdot 10^{10}$
14	$830 \cdot 10^6$	21500	$680 \cdot 10^{10}$
15	$710 \cdot 10^6$	23500	$570 \cdot 10^{10}$

Задача 4. Конденсационная станция израсходовала B кг/год каменного угля с низшей теплотой сгорания Q_n , кДж/кг и выработала электроэнергию $\mathcal{E}_{год}^{выр}$, кДж. Определить удельный расход условного топлива на выработку 1 МДж электроэнергии. Исходные данные приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Исходные данные

Вариант	B , кг/год	Q_n , кДж/кг	$\mathcal{E}_{год}^{выр}$, кДж
1	$660 \cdot 10^6$	20500	$590 \cdot 10^{10}$
2	$630 \cdot 10^6$	21500	$580 \cdot 10^{10}$
3	$680 \cdot 10^6$	22500	$570 \cdot 10^{10}$
4	$660 \cdot 10^6$	19500	$490 \cdot 10^{10}$
5	$630 \cdot 10^6$	20000	$480 \cdot 10^{10}$
6	$680 \cdot 10^6$	19000	$560 \cdot 10^{10}$
7	$660 \cdot 10^6$	21500	$550 \cdot 10^{10}$
8	$630 \cdot 10^6$	21500	$580 \cdot 10^{10}$
9	$680 \cdot 10^6$	20000	$540 \cdot 10^{10}$
10	$660 \cdot 10^6$	20500	$590 \cdot 10^{10}$
11	$630 \cdot 10^6$	22500	$580 \cdot 10^{10}$
12	$680 \cdot 10^6$	23500	$670 \cdot 10^{10}$
13	$660 \cdot 10^6$	20500	$490 \cdot 10^{10}$
14	$630 \cdot 10^6$	21500	$680 \cdot 10^{10}$
15	$680 \cdot 10^6$	23500	$570 \cdot 10^{10}$

Задача 5. Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) выработала электроэнергию $\mathcal{E}_{год}^{выр}$, кДж, и отпустила внешним потребителям теплоты $Q_{отп}$, кДж. Определить годовой расход топлива, если удельный расход условного топлива на выработку 1 МДж электроэнергии b_y^y , кг у. т./МДж. КПД ТЭЦ нетто по выработке теплоты $\eta_Q^{нт}$ и тепловой эквивалент сжигаемого топлива \mathcal{E} . Исходные данные приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Исходные данные

Вариант	$\mathcal{E}_{год}^{выр}$, кДж	$Q_{отп}$, кДж	b_y^y , кг/МДж	$\eta_Q^{нт}$	\mathcal{E}
1	$32 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^{11}$	0,104	0,85	0,86
2	$34 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{11}$	0,105	0,86	0,87
3	$31 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{11}$	0,103	0,84	0,84
4	$32 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^{11}$	0,129	0,83	0,86
5	$34 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{11}$	0,13	0,84	0,87
6	$31 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{11}$	0,128	0,82	0,84
7	$32 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^{11}$	0,139	0,82	0,86
8	$34 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{11}$	0,14	0,83	0,87
9	$31 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{11}$	0,138	0,81	0,84
10	$32 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^{11}$	0,149	0,81	0,86
11	$34 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{11}$	0,15	0,82	0,87
12	$31 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{11}$	0,148	0,80	0,84
13	$32 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^{11}$	0,159	0,80	0,86
14	$34 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{11}$	0,16	0,81	0,87
15	$31 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{11}$	0,158	0,79	0,84

Контрольные вопросы

- 1 Назовите типы тепловых электростанций.
- 2 Назовите показатели работы электростанций.
- 3 Что такое КПД брутто и нетто?

3 Лабораторная работа № 3. Определение энергетических, экологических и агротехнических эффектов от внедрения биогазовых комплексов

Цель работы: изучить методику оценки эффективности от внедрения биогазовой установки по переработке отходов животноводческих комплексов.

3.1 Теоретическая часть

3.1.1 Расчет энергетических аспектов сбраживания биомассы.

Определить суточный объем производимого биогаза Q_B , м³/сут, в мезофильном режиме работы биореактора:

$$Q_B = 0,01 \cdot b \cdot \sum n_i \cdot m_i \cdot (100 - W_i), \quad (3.1)$$

где b – усредненный выход биогаза для жидкого свиного навоза, м³/кг; для лабораторной работы принимается равным 0,0204;

n_i – количество голов в i -й половозрастной группе животных;

m_i – суточная масса экскрементов от одной головы животных i -й половозрастной группы животных, кг/сут; определяется по таблице 3.1;

W_i – влажность сырья от одной головы животных i -й половозрастной группы животных, %; определяется по таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Суточный выход и влажность экскрементов различных половозрастных групп свиней

Половозрастная группа животных	Масса экскрементов m_i , кг/сут	Влажность экскрементов W_i , %
Хряки	11,1	89,4
Свиноматки	10,0	91,0
Поросята	0,7	86,0
Свиньи на откорме	5,0	87,0

Тепловая мощность Q_K , кВт, биогазового комплекса

$$Q_K = \frac{Q_B \cdot Q_B^H \cdot \eta_y \cdot 1,163}{24 \cdot 10^5}, \quad (3.2)$$

где Q_B^H – низшая рабочая теплота сгорания биогаза, ккал/м³; для предварительных расчетов принимается равной 5200 ккал/м³;

Q_B – суточный объем производимого биогаза, м³/сут;

η_y – КПД биогазового комплекса.

Годовая выработка тепловой энергии Q , Гкал/год, рассчитывается по формуле

$$Q = \frac{0,97 \cdot Q_K \cdot T_{\text{Э}} - (Q_B \cdot K_{\text{СН}} \cdot T_B) / 24}{1163}, \quad (3.3)$$

где Q_K – тепловая мощность биогазового комплекса, кВт;

$T_{\text{Э}}$ – число часов работы энергетического оборудования в году; для предварительных расчетов принимается равным 8350 ч/год;

Q_B – суточный объем производимого биогаза, м³/сут;

$K_{\text{СН}}$ – удельное потребление тепловой энергии на собственные нужды биогазового комплекса, кВт ч/м³; $K_{\text{СН}} = 1,188$ кВт·ч/м³;

T_B – число часов работы биогазового комплекса в году, ч/год; для предварительных расчетов принимается равным 8760 ч/год.

Годовая выработка электроэнергии N , кВт·ч/год, определяется как

$$N = 0,86 \cdot 10^{-3} \cdot Q_K \cdot Q_B \cdot \frac{T_{\text{Э}}}{T_B}, \quad (3.4)$$

где Q_K , Q_B , $T_{\text{Э}}$, T_B – то же, что и в формуле (3.3).

Годовая экономия природного газа G_G , тыс. м³/год, вычисляется следующим образом:

$$G_G = \frac{7 \cdot (b_B \cdot Q + b_{\text{Э}} \cdot N / 1000)}{Q_G^H}, \quad (3.5)$$

где b_B – удельный расход топлива на выработку 1 Гкал тепловой энергии на биогазовом комплексе, кг у. т./Гкал; для предварительных расчетов принимается равным 168 кг у. т./Гкал;

$b_{\text{Э}}$ – удельный расход топлива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии на замыкающей конденсационной электростанции, г у. т./(кВт·ч); для предварительных расчетов принимается равным 312 г у. т./(кВт·ч);

Q_G^H – низшая рабочая теплота сгорания природного газа, ккал/м³; для предварительных расчетов принимается равной 8000 ккал/м³.

Приток денежных средств от системной экономии природного газа Π_G , р./год, определяется по формуле

$$\Pi_G = G_G \cdot C_G, \quad (3.6)$$

где C_G – стоимость природного газа, тыс. р./год; для предварительных расчетов

принимается равной 488,89 р. за тыс. м³ газа.

3.1.2 Расчет агротехнических аспектов сбраживания биомассы.

Расчет увеличения урожайности производится только для объемов, неразделенных на жидкую и твердую фракции стоков.

Увеличение урожайности i -й сельскохозяйственной культуры ΔU_{yp}^i , т/год, в натуральном выражении

$$\Delta U_{yp}^i = 0,001 \cdot U^i \cdot S^i \cdot \Delta u^i, \quad (3.7)$$

где U^i – первоначальная урожайность i -й культуры, ц/га;

S^i – площадь, занятая i -й культурой, на которую вносились сброженные стоки, га/год;

Δu^i – изменение урожайности i -й культуры, %; определяется по таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Увеличение урожайности сельскохозяйственных культур при внесении сброженных стоков

Сельскохозяйственная культура	Увеличение урожайности Δu^i , %
Картофель	3,2
Ячмень	4,2
Рапс яровой	11,4

Прибыль от увеличения урожайности P_{yp} , р./год, рассчитывается как

$$P_{yp} = \sum \Delta U_{yp}^i \cdot C_K^i, \quad (3.8)$$

где U_{yp}^i – увеличение урожайности i -й сельскохозяйственной культуры в натуральном выражении, т/год;

C_K^i – стоимость i -й сельскохозяйственной культуры, р./т. Принимается 200 р./т для картофеля, 400 р./т для ячменя и 740 р./т для рапса.

Сброженную биомассу, как правило, разделяют на жидкую и твердую фазы. Твердую фазу гранулируют и сушат для получения готового к продаже продукта – удобрений. Суточный объем образующейся твердой фракции $G_{уд}$, кг/сут, вычисляется по формуле

$$G_{уд} = \frac{v_i \cdot k_C \cdot (1 - 0,01 \cdot W_C)}{100 \cdot (1 - 0,01 \cdot W_T)}, \quad (3.9)$$

где W_T – влажность твердой фракции после разделения, %; для предварительных расчетов принимается равной 72 %;

k_C – доля сброженной биомассы, поступающей на разделение, %;

W_C – влажность свежей биомассы, поступающей на сбраживание, %.

$$W_c = \frac{\sum m_i \cdot n_i \cdot W_i}{V_{cym}}, \quad (3.10)$$

где V_{cym} – суточный выход экскрементов от всех возрастных групп животных;

$$V_{cym} = \sum m_i \cdot n_i; \quad (3.11)$$

n_i – количество голов в i -й половозрастной группе животных;

m_i – суточная масса экскрементов от одной головы животных i -й половозрастной группы животных, кг/сут; определяется по таблице 3.1;

W_i – влажность сырья от одной головы животных i -й половозрастной группы животных, %; определяется по таблице 3.1.

Приток денежных средств $П_{уд}$, р./год, за счет продаж разделенной фракции в качестве удобрений, плодородных слоев почв и компостов определяется по формуле

$$П_{уд} = \frac{G_{уд} \cdot C_{уд} \cdot T}{24000}, \quad (3.12)$$

где $C_{уд}$ – стоимость твердой фракции, тыс. р./т; для предварительных расчетов принимается равной 0,52 р./кг удобрений;

T – число часов работы технологического оборудования в году, ч/год; для предварительных расчетов принимается равным 8760 ч/год.

Приток денежных средств $П_x$, р./год, за счет сокращения объемов вносимых пестицидов и гербицидов

$$П_x = C_x \cdot \sum \frac{\Delta x^i}{100} \cdot S_i, \quad (3.13)$$

где C_x – первоначальная стоимость обработки химическими препаратами для i -й сельскохозяйственной культуры, р./га; для предварительных расчетов принимается равной 35 р./га;

Δx^i – сокращение внесения химических препаратов для i -й сельскохозяйственной культуры, %; определяется по таблице 3.3;

S_i – площадь земли под сельскохозяйственную культуру, на которую вносятся химические препараты, га/год.

Таблица 3.3 – Уменьшение объемов используемых препаратов после внесения сброженных стоков

Сельскохозяйственная культура	Снижение внесения химических препаратов, %
Зерновые культуры (ячмень)	7
Многолетние травы (рапс)	2
Картофель	9

3.1.3 Расчет экологических аспектов сбраживания биомассы.

Для предварительных расчетов снижение выбросов парниковых газов в атмосферный воздух $\Delta G_{\text{ПГ}}$, т/год, в пересчете на диоксид углерода может быть рассчитано по формуле

$$\Delta G_{\text{ПГ}} = \frac{Q_{\text{к}}}{500} \cdot 10500. \quad (3.14)$$

Приток денежных средств от продажи добровольных сокращений выбросов парниковых газов $\Pi_{\text{ПГ}}$, р./год, определяется по формуле

$$\Pi_{\text{ПГ}} = \Delta G_{\text{ПГ}} \cdot C_{\text{ПГ}}, \quad (3.15)$$

где $C_{\text{ПГ}}$ – стоимость 1 т выбросов парниковых газов в пересчете на диоксид углерода, р./т; для предварительных расчетов принимается равной 30 р./т.

Приток денежных средств за счет сокращения объемов сбрасываемых стоков, снижения нагрузки на очистные сооружения Π_o , р./год, вычисляется по формуле

$$\Pi_o = \frac{\Delta C_{\text{Н}} \cdot T \cdot V_{\text{сут}}}{24000}, \quad (3.16)$$

где $\Delta C_{\text{Н}}$ – снижение стоимости вносимой в качестве удобрений и не поступающей на очистные сооружения биомассы, р./год; для предварительных расчетов принимается равной 0,060 р./кг за сырье, поступающее на переработку;

T – число часов работы технологического оборудования в году, ч/год; для предварительных расчетов принимается равной 8760 ч/год;

$V_{\text{сут}}$ – объем i -го сырья, поступающего на переработку, кг/сут.

3.1.4 Экономическая эффективность внедрения биогазовой установки.

Критерием экономической эффективности биогазовой установки является соотношение

$$\Pi_{\text{Г}} + \Pi_{\text{ПГ}} + \Pi_{\text{УД}} + \Pi_{\text{УР}} + \Pi_{\text{Х}} + \Pi_o > E_{\text{Н}} \cdot K + И, \quad (3.17)$$

где $E_{\text{Н}}$ – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений, $E_{\text{Н}} = 0,12$;

K – капиталовложения; для лабораторной работы принимаются равными 100 тыс. р.;

$И$ – годовые эксплуатационные издержки; для предварительных расчетов могут быть определены как $0,1K$.

Итоговый экономический эффект от внедрения биогазовой установки

$$\mathcal{E} = \sum \Pi_i - (E_{\text{Н}} \cdot K + И), \quad (3.18)$$

где $\sum \Pi_i = \Pi_{\text{Г}} + \Pi_{\text{ПГ}} + \Pi_{\text{УД}} + \Pi_{\text{УР}} + \Pi_{\text{Х}} + \Pi_o$.

3.2 Практическая часть

Задача. Рассчитайте энергетические, агротехнические и экологические эффекты от внедрения биогазовой установки по переработке отходов животноводческого комплекса. Определите, есть ли экономическая эффективность от внедрения биогазовой установки на животноводческом комплексе. Исходные данные к задаче представлены в таблице 3.4.

Контрольные вопросы

- 1 Что является сырьем для биогазовых установок?
- 2 За счет чего получился наибольший приток денежных средств в процессе внедрения биогазовой установки?
- 3 С чем связаны экологические аспекты от внедрения биогазовой установки?

Таблица 3.4 – Исходные данные к задаче

Вариант	Количество особей половозрастных групп животных l_i , шт.				K_C , %	η , %	Первоначальная урожайность, ц/га			Площадь сельскохозяйственных угодий, га		
	Хряки	Свиноматки	Поросята	Свиньи на откорме			Картофель	Ячмень	Рапс	под картофелем	под ячменем	под рапсом
1	1000	2000	3180	3780	60	91	180	43,7	12,3	30	10	35
2	900	2200	3240	3900	75	92	182	42,8	17,5	20	8	20
3	1100	2300	2960	4050	70	90	193	41,5	24	32	10	20
4	800	1900	2880	4100	55	88	204	40,7	14,8	25	5	51
5	850	2150	2950	4200	50	93	202	53,5	15,6	50	7	40
6	950	2250	3050	4780	55	89	243	52,1	23,4	50	5	40
7	1050	2400	3300	4500	50	91	198	51,9	22,9	50	8	50
8	750	1950	2800	3759	65	92	212	44,6	18,6	30	11	20
9	1000	2000	3180	3780	60	90	264	47,2	13,3	30	10	35
10	900	2200	3240	3900	70	88	248	50,7	16,7	30	8	20
11	1100	2300	2960	4050	40	93	237	49,4	12,8	60	24	40
12	800	1900	2880	4100	60	89	223	48,6	13,9	38	9	25
13	850	2150	2950	4200	75	91	207	52,1	14,3	20	8	20
14	950	2250	3050	4780	55	92	209	50,8	15,1	50	5	40
15	1050	2400	3300	4500	50	90	213	48,2	17,2	50	8	50

4 Лабораторная работа № 4. Расчет эффективности типичных энергосберегающих мероприятий в производственных организациях

Цель работы: изучить методику оценки эффективности энергосберегающих мероприятий в производственных организациях.

4.1 Теоретическая часть

4.1.1 Расчет экономии электроэнергии и срока окупаемости замены пневмотранспорта на механическую систему транспортировки.

При замене пневматической системы транспортировки на механическую экономический эффект энергосбережения достигается за счет:

- снижения расхода электроэнергии на производственные нужды вследствие вывода из эксплуатации энергоемкого оборудования, обеспечивающего необходимое давление для системы пневмотранспорта;
- уменьшения эксплуатационных затрат.

Для проведения сравнительного анализа определяются годовые расходы электроэнергии электропотребляющим оборудованием пневматической $\mathcal{E}_{ПН}$, кВт·ч/год, и механической $\mathcal{E}_{МЕХ}$, кВт·ч/год, систем транспортировки отдельно по группам оборудования по формулам

$$\mathcal{E}_{ПН} = N_y \cdot K_u \cdot T_c, \quad (4.1)$$

где N_y – суммарная установленная мощность группы электропотребляющего оборудования (насосы, компрессоры для пневмотранспорта; скребковые конвейеры, ковшовые элеваторы для механической системы), кВт;

K_u – коэффициент использования электрической мощности для соответствующей группы электропотребляющего оборудования;

T_c – годовое число часов использования средней нагрузки для соответствующей группы электропотребляющего оборудования;

$$\mathcal{E}_{МЕХ} = N_y \cdot K_u \cdot T_c, \quad (4.2)$$

где N_y, K_u, T_c – то же, что и в формуле (4.1).

Экономия электроэнергии $\Delta\mathcal{E}$, кВт·ч/год, от внедрения мероприятия

$$\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_{ПН} - \mathcal{E}_{МЕХ}. \quad (4.3)$$

Экономия топлива от замены пневмотранспорта на механическую систему транспортировки ΔB , т у. т., с учетом потерь в электрических сетях на транспортировку электроэнергии до вводов токоприемников предприятия,

$$\Delta B = \Delta\mathcal{E} \cdot (1 + 0,01 \cdot k_{ном}) \cdot b_3 \cdot 10^{-6}, \quad (4.4)$$

где b_3 – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии; принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльская ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у. т./(кВт·ч). В задаче принимается равным 300,2 г у. т./(кВт·ч);

$k_{ном}$ – потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) в системе ГПО «Белэнерго». Принимается равным 11,3.

Для предварительных расчетов укрупненные капиталовложения K , р., можно рассчитать по формуле

$$K = 1,45 \cdot C_{об}, \quad (4.5)$$

где $C_{об}$ – стоимость оборудования, р.

Определение срока окупаемости $T_{ок}$, лет, мероприятия производится по формуле

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta B \cdot C_{тум}}, \quad (4.6)$$

где K – капиталовложения в мероприятие, р.;

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

$C_{тум}$ – стоимость 1 т у. т., которая составляет на 2023 г. 220 долл. США/т, или 700 р./т.

4.1.2 Расчет экономии электроэнергии и срока окупаемости от децентрализации компрессорного хозяйства.

При децентрализации компрессорных станций с переходом на локальное производство сжатого воздуха экономический эффект достигается за счет:

- снижения расхода электроэнергии на производственные нужды вследствие вывода из эксплуатации энергоемких поршневых компрессоров и отключения питающей подстанции;

- ликвидации протяженных магистральных линий подачи сжатого воздуха и исключения потерь при его транспортировке;

- разделения потребителей сжатого воздуха по уровням необходимого давления и поддержания его выработки на уровне фактически необходимой потребности;

- снижения расхода электроэнергии за счет отключения неэкономичной станции осушки воздуха и системы обратного водоснабжения;

- уменьшения эксплуатационных затрат: отсутствие необходимости диагностики и освидетельствования стационарных ресиверов, прекращения отопления и содержания здания центральной компрессорной.

Годовой расход электроэнергии при производстве сжатого воздуха централизованным способом $\mathcal{E}_ц$, кВт·ч/год, рассчитывается по формуле (4.1).

Годовой расход электроэнергии $\mathcal{E}_л$, кВт·ч/год, при обеспечении потребности производства в сжатом воздухе посредством установки локальных (винто-

вых) компрессоров определяется по формуле

$$\mathcal{E}_л = n \cdot N_{y1} \cdot K_{u1} \cdot T_{c1}, \quad (4.7)$$

где N_{y1} – установленная мощность электропотребляющего оборудования (насосы, компрессоры для пневмотранспорта; скребковые конвейеры, ковшовые элеваторы для механической системы), кВт;

K_{u1} – коэффициент использования электрической мощности электропотребляющего оборудования;

T_{c1} – годовое число часов использования средней нагрузки электропотребляющего оборудования.

Экономия электроэнергии \mathcal{E}_{mp} , кВт·ч/год, от снижения потерь при исключении магистральных трубопроводов подачи сжатого воздуха и от применения автоматической регулировки производительности новых компрессоров, которая составляет 12 %,

$$\mathcal{E}_{mp} = 0,12 \cdot \mathcal{E}_ц. \quad (4.8)$$

Экономия электроэнергии $\Delta\mathcal{E}$, кВт·ч/год, от внедрения мероприятия

$$\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_ц + \mathcal{E}_{mp} - \mathcal{E}_л. \quad (4.9)$$

Экономия топлива от децентрализации компрессорного хозяйства рассчитывается по формуле (4.4).

Размер укрупненных капиталовложений производится по формуле (4.5).

Срок окупаемости мероприятия определяется по формуле (4.6).

4.1.3 Определение экономии теплоэнергии и топлива, срока окупаемости от внедрения теплоутилизаторов в системах механической приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха.

Экономический эффект от внедрения теплоутилизаторов в системах механической приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха в первую очередь достигается в результате уменьшения расхода тепловой энергии на нагрев приточного воздуха, подаваемого в обслуживаемые помещения. Нагрев приточного воздуха в теплоутилизаторе происходит за счёт отвода теплоты от потока удаляемого воздуха к наружному приточному воздуху.

Количество сэкономленной тепловой энергии, полезно возвращаемой теплоутилизатором, складывается из потока явной теплоты, обусловленной температурой удаляемого воздуха, и потока скрытой теплоты, выделяющейся в пределах поверхности теплоутилизатора при конденсации, содержащейся в удаляемом воздухе влаги.

Общее количество сэкономленной тепловой энергии ΔQ , Гкал/ч, полезно возвращаемой теплоутилизатором в течение календарного года,

$$\Delta Q = 0,24 \cdot \varepsilon_{tot} \cdot (t_{cp,l} - t_{cp,ext}) \cdot c \cdot L_{cp,ext} \cdot z \cdot 10^{-6}, \quad (4.10)$$

где ε_{tot} – тепловая эффективность теплоутилизатора по полной теплоте;
 $t_{cp, l}$ – температура удаляемого воздуха, °С;
 $t_{cp, ext}$ – температура наружного воздуха, °С;
 c – теплоёмкость воздуха, кДж/(м³·°С); для расчетов принимается равным 1,3 кДж/(м³·°С);
 $L_{cp, ext}$ – объёмный расход наружного приточного воздуха, м³/ч;
 z – число часов работы системы вентиляции с использованием теплоутилизатора в течение года.

При использовании теплоутилизатора возрастают потери давления в системе вентиляции по тракту приточного и удаляемого воздуха. Вызванные этим дополнительные затраты электрической энергии $\Delta \mathcal{E}$, кВт·ч, определяют по формуле

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P \cdot \frac{L_{cp.in}}{3600 \cdot \eta_{e,y}} \cdot 10^{-3} \cdot z, \quad (4.11)$$

где ΔP – дополнительные суммарные потери давления в теплоутилизационной установке по тракту приточного и удаляемого воздуха, Па;

$L_{cp.in}$ – средний за время работы системы расход приточного воздуха, м³/ч;
 $\eta_{e,y}$ – КПД вентиляционной установки с приводом.

Экономия топлива ΔB , т у. т., в результате внедрения энергосберегающего мероприятия

$$\Delta B = \Delta Q \cdot b_{mэ} - \Delta \mathcal{E} \cdot b_{э} \cdot (1 + 0,01 \cdot k_{nom}), \quad (4.12)$$

где $b_{mэ}$ – удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике, г у.т./Гкал;

$b_{э}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии; принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльская ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у. т./(кВт·ч). В задаче принимается равным 300,2 г у. т./(кВт·ч);

k_{nom} – потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) в системе ГПО «Белэнерго». Принимается равным 11,3.

Размер укрупненных капиталовложений производится по формуле (4.5).

Срок окупаемости мероприятия определяется по формуле (4.6).

4.1.4 Расчет экономии электроэнергии и срока окупаемости от внедрения когенерационной установки.

Для расчета экономии топлива при внедрении когенерационных установок необходимо знать затраты топлива на производство электрической и тепловой энергии на ней. Для этого следует рассчитать удельный и часовой расход топлива на производство электрической и тепловой энергии.

Удельный расход топлива $b_{э}$, г у. т./(кВт·ч), на производство электрической энергии

$$b_{\text{э}} = \frac{123}{\eta_{\text{э}}} \cdot 100, \quad (4.13)$$

где $\eta_{\text{э}}$ – коэффициент полезного действия когенерационной установки по конденсационному циклу, %.

Часовой расход условного топлива $B_{\text{э}}$, кг у. т./ч, на производство электроэнергии по конденсационному циклу

$$B_{\text{э}} = \frac{b_{\text{э}} \cdot N_{\text{уст}}}{1000}, \quad (4.14)$$

где $b_{\text{э}}$ – удельный расход топлива на производство электроэнергии по конденсационному циклу, г у. т./(кВт·ч);

$N_{\text{уст}}$ – установленная электрическая мощность когенерационной установки, кВт.

Для упрощения расчетов при сравнении затрат на выработку электроэнергии на электростанциях ГПО «Белэнерго» и затрат на комбинированную выработку электроэнергии на когенерационных установках удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии принимается на уровне удельного расхода топлива котельной, работающей на газе, и определяется расход топлива $B_{\text{мэ}}$, кг у. т./ч, на отпуск тепловой энергии:

$$B_{\text{мэ}} = b_{\text{мэ}} \cdot Q_{\text{уст}}, \quad (4.15)$$

где $Q_{\text{уст}}$ – установленная тепловая мощность принятой за аналог когенерационной установки, Гкал/ч.

Годовой расход условного топлива на выработку электроэнергии $B_{\text{ээ}}$, кг у. т., на выбранной когенерационной установке по комбинированному циклу

$$B_{\text{ээ}} = (B_{\text{э}} - B_{\text{мэ}}) \cdot T_{\text{уст}}. \quad (4.16)$$

Электрическая энергия, выработанная за год когенерационной установкой, $\mathcal{E}_{\text{выр}}$, кВт·ч, определится как

$$\mathcal{E}_{\text{выр}} = N_{\text{уст}} \cdot T_{\text{уст}}, \quad (4.17)$$

где $N_{\text{уст}}$ – установленная мощность когенерационной установки, кВт;

$T_{\text{уст}}$ – число часов использования установленной мощности, ч.

Количество электроэнергии $\mathcal{E}_{\text{отп}}^{\text{КГУ}}$, кВт·ч, отпущенной когенерационной установкой,

$$\mathcal{E}_{\text{отп}}^{\text{КГУ}} = \mathcal{E}_{\text{выр}} \cdot (1 - \alpha_{\text{сн}}^{\text{ээ}}), \quad (4.18)$$

где $\alpha_{сн}^{э}$ – коэффициент потребления электроэнергии на собственные нужды когенерационной установки (на пусковые устройства и другое электрическое оборудование), %.

Необходимое количество электроэнергии, отпущенной с шин электростанций ГПО «Белэнерго», $\mathcal{E}_{omn}^{эс}$, кВт·ч, с учетом потерь в электрических сетях на ее транспортировку до вводов токоприемников предприятия, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{omn}^{эс} = \mathcal{E}_{omn}^{кгУ} \cdot \left(1 + \frac{\Delta \mathcal{E}_{nom}}{100} \right), \quad (4.19)$$

где $\mathcal{E}_{omn}^{кгУ}$ – электроэнергия, отпущенная турбогенератором и потребленная предприятием, кВт·ч;

$\Delta \mathcal{E}_{nom}$ – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях, %.

Экономия топлива $\Delta B^{кгУ}$, т у. т., при применении выбранной когенерационной установки

$$\Delta B^{кгУ} = \left(\mathcal{E}_{omn}^{эс} \cdot b_{ээ}^{сп} - B_{ээ} \right) \cdot 10^{-3}, \quad (4.20)$$

где $\mathcal{E}_{omn}^{эс}$ – количество электроэнергии, отпущенной с шин электростанций ГПО «Белэнерго», с учетом потерь в электросетях на транспорт электроэнергии, кВт·ч;

$b_{ээ}^{сп}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльская ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, кг у. т./кВт·ч). В задаче принимается равным 0,3 кг у. т./кВт·ч);

$B_{ээ}$ – годовой расход топлива на выработку электроэнергии выбранной когенерационной установкой, кг у. т.

Размер укрупненных капиталовложений производится по формуле (4.5).

Срок окупаемости мероприятия определяется по формуле (4.6).

4.2 Практическая часть

Задача 1. Рассчитайте экономию электроэнергии и срок окупаемости замены пневмотранспорта на механическую систему транспортировки на предприятии. Исходные данные к задаче приведены в таблице 4.1.

Задача 2. Рассчитайте экономию электроэнергии и срок окупаемости от децентрализации компрессорного хозяйства. Исходные данные к задаче представлены в таблице 4.2.

Задача 3. Рассчитайте экономию теплоэнергии и топлива, срок окупаемости от внедрения теплоутилизаторов в системах механической приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха на предприятии. Исход-

ные данные к задаче приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.1 – Исходные данные к задаче 1

Вариант	Пневмооборудование			Оборудование механической транспортировки			
	N_y , кВт	K_u	T_c , ч	N_y , кВт	K_u	T_c , ч	$C_{об}$, р.
1	200	0,84	7300	160	0,84	7300	120800
2	160	0,75	5840	120	0,75	5840	158400
3	220	0,66	4380	180	0,66	4380	144800
4	180	0,8	6570	140	0,8	6570	178900
5	160	0,72	4380	120	0,72	4380	173700
6	180	0,84	7300	140	0,84	7300	212800
7	220	0,75	5840	180	0,75	5840	198400
8	160	0,66	4380	120	0,66	4380	104800
9	200	0,8	7300	160	0,8	7300	118900
10	200	0,72	7300	160	0,72	7300	123700
11	160	0,84	6570	120	0,84	6570	140800
12	220	0,75	5840	180	0,75	5840	188400
13	180	0,66	4380	140	0,66	4380	124800
14	160	0,8	4380	120	0,8	4380	178900
15	180	0,72	5840	140	0,72	5840	173700

Таблица 4.2 – Исходные данные к задаче 2

Вариант	Пневмооборудование			Новое оборудование				
	N_y , кВт	K_u	T_c , ч	n	N_{y1} , кВт	K_{u1}	T_{c1} , ч	$C_{об}$, р.
1	200	0,84	7300	4	70	0,66	7300	15500
2	160	0,75	5840	3	60	0,71	5840	15840
3	220	0,66	4380	5	50	0,64	4380	14800
4	180	0,8	6570	3	60	0,84	6570	38900
5	160	0,72	4380	4	40	0,75	4380	13370
6	180	0,84	7300	4	60	0,66	7300	45500
7	220	0,75	5840	3	60	0,8	5840	158400
8	160	0,66	4380	4	40	0,72	4380	14800
9	200	0,8	7300	4	65	0,66	7300	38900
10	200	0,72	7300	4	50	0,75	7300	13370
11	160	0,84	6570	3	70	0,71	6570	12500
12	220	0,75	5840	3	70	0,8	5840	15840
13	180	0,66	4380	4	45	0,72	4380	14800
14	160	0,8	4380	3	70	0,66	4380	18900
15	180	0,72	5840	3	60	0,75	5840	13370

Таблица 4.3 – Исходные данные к задаче 3

Вариант	ϵ_{tot}	$t_{cp,l}, ^\circ\text{C}$	$t_{cp,ext}, ^\circ\text{C}$	$L_{cp,ext}, \text{M}^3/\text{ч}$	$z, \text{ч}$	$\Delta P, \text{Па}$	$b_{mэ},$ г у. т./Гкал	$\eta_{в.у}$	$L_{cp,in}, \text{M}^3/\text{ч}$	$C_{об}, \text{р.}$
1	0,5	24	5,5	300	8760	300	168,1	0,85	2	1120800
2	0,45	23	7,1	280	7200	250	169,21	0,9	1	1158400
3	0,65	20	6,2	400	7920	350	164,75	0,8	3	1144800
4	0,7	18	6,8	320	8760	400	166,87	0,75	1	1178900
5	0,85	21	5,8	380	7200	300	162,78	0,85	5	1173700
6	0,55	19	5,5	340	7920	250	165,45	0,9	2	1212800
7	0,6	22	7,1	360	8760	350	168,04	0,8	3	1198400
8	0,75	24	6,2	300	7200	400	169,16	0,75	3	1104800
9	0,8	23	6,8	280	7920	300	164,8	0,85	4	1118900
10	0,5	20	5,8	400	8760	250	166,93	0,9	3	1123700
11	0,45	18	5,5	320	7200	350	162,73	0,8	1	1140800
12	0,65	21	7,1	380	7920	400	165,4	0,75	2	1188400
13	0,7	19	6,2	340	8760	300	168,1	0,85	3	1124800
14	0,85	22	6,8	360	7200	250	169,21	0,9	7	1178900
15	0,55	24	5,8	300	7920	350	164,75	0,8	2	1173700

Задача 4. Рассчитайте экономию электроэнергии и срок окупаемости от внедрения когенерационной установки. Исходные данные к задаче представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Исходные данные к задаче 4

Вариант	$\eta_{э}, \%$	$N_{уст}, \text{кВт}$	$Q_{уст},$ Гкал/ч	$b_{mэ},$ кг у.т./Гкал	$T_{уст}, \text{ч}$	$\alpha_{сн}^{ээ}, \%$	$\Delta \mathcal{E}_{ном},$ %	$C_{об}, \text{р.}$
1	36	300	36,4	2,3	8760	0,8	12	45500
2	37	199	22,6	2,2	7200	0,6	11	158400
3	36	238	31,2	2,4	7920	0,9	14	44800
4	34	179	25,6	2,1	8760	0,8	15	38900
5	38	401	47,2	2,5	7200	0,85	13	133700
6	36	300	36,4	2,3	7920	0,8	12	45500
7	37	199	22,6	2,2	8760	0,6	11	158400
8	36	238	31,2	2,4	7200	0,9	14	44800
9	34	179	25,6	2,1	7920	0,8	15	38900
10	38	401	47,2	2,5	8760	0,85	13	133700
11	36	300	36,4	2,3	7200	0,8	12	45500
12	37	199	22,6	2,2	7920	0,6	11	158400
13	36	238	31,2	2,4	8760	0,9	14	44800
14	34	179	25,6	2,1	7200	0,8	15	38900
15	38	401	47,2	2,5	7920	0,85	13	133700

Контрольные вопросы

- 1 Какие энергосберегающие мероприятия можно реализовать на предприятии?
- 2 Какие мероприятия имеют самый короткий срок окупаемости?
- 3 За счет каких показателей можно сократить срок окупаемости?

5 Лабораторная работа № 5. Оценка эффективности использования вторичных энергоресурсов

Цель работы: рассчитать экономическую эффективность использования вторичных энергоресурсов (ВЭР).

5.1 Теоретическая часть

Классификации энергетических отходов. При употреблении энергии и материалов в технологических процессах на вспомогательные нужды или в сфере услуг потенциал энергоносителей используется не полностью. Та часть энергии, которая прямо или косвенно не используется как полезная для выпуска готовой продукции или услуг, называется *энергетическими отходами*. Общие энергетические отходы равны разности между энергией, поступающей в технологический аппарат, и полезно используемой энергией.

Энергетический потенциал отходов и продукции классифицируют по запасу энергий в виде химически связанной теплоты (*горючие ВЭР*), физической теплоты (*тепловые ВЭР*), потенциальной энергии избыточного давления (*ВЭР избыточного давления*).

ВЭР могут применяться по следующим направлениям:

- топливному – с использованием не пригодных к дальнейшей переработке горючих отходов в качестве топлива;
- тепловому (холодильному) – с использованием теплоты отходящих газов печей и котлов, теплоты основной, промежуточной и побочной продукции, отработанной теплоты горячих воды, пара и воздуха и ВЭР избыточного давления;
- силовому – с использованием механической и электрической энергии, вырабатываемой за счет ВЭР;
- комбинированному – для производства теплоты (холода), электрической или механической энергии.

При разработке предложений и проектов по утилизации энергетических отходов необходимо знать выход ВЭР. Различают удельный и общий выход ВЭР. Удельный выход ВЭР рассчитывают или в единицу времени (1 ч) работы агрегата-источника ВЭР q_q^T , кДж/с, или в показателях на единицу продукции (кДж/кг, кДж/ед. прод.)

Для тепловых ВЭР

$$q_q^T = m_q \cdot \Delta h = m_q \cdot c \cdot (t_1 - t_2), \quad (5.1)$$

где m_q – удельный расход энергоносителя (топлива) в единицу времени, кг(м³)/с, или на единицу продукции, кг(м³)/ед. прод.;

Δh – перепад энтальпий на входе и выходе агрегата-источника ВЭР, Дж/кг(м³);

c – удельная теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг·°С);

t_1, t_2 – температура теплоносителя на входе и выходе агрегата-источника ВЭР, °С.

Для горючих ВЭР

$$q_q^T = m_q \cdot Q_H, \quad (5.2)$$

где m_q – удельный расход энергоносителя (топлива) в единицу времени, кг(м³)/с, или на единицу продукции, кг(м³)/ед. прод.;

Q_H – низшая теплота сгорания горючих ВЭР, кДж/кг(м³).

Для ВЭР избыточного давления

$$q_q^H = m_q \cdot L = m_q \cdot \frac{R}{k-1} \cdot (T_1 - T_2), \quad (5.3)$$

где m_q – удельный расход энергоносителя (топлива) в единицу времени, кг(м³)/с, или на единицу продукции кг(м³)/ед. прод.;

L – работа изоэнтропного расширения энергоносителя, кДж/кг;

R – газовая постоянная, кДж/(кг·К);

k – постоянная адиабаты;

T_1, T_2 – температура газа до и после утилизационной установки, К.

Теоретический выход ВЭР (тепловой Q_T , кДж/год (кВт·ч/год), или электрической W_T энергии) за рассматриваемый период времени можно определить:

– по объему продукции

$$Q_T(W_T) = q_q \cdot M, \quad (5.4)$$

где q_q (q_q^T, q_q^r, q_q^H) – удельный выход ВЭР, кДж/кг;

M – расход сырья, топлива или выход основной продукции, кг (ед. продукции)/год;

– по времени работы установки

$$Q_T(W_T) = 3600 \cdot q_q \cdot T, \quad (5.5)$$

где q_q (q_q^T, q_q^r, q_q^H) – удельный выход ВЭР, кДж/с;

T – время работы агрегата-источника ВЭР за рассматриваемый период, ч.

Только часть энергии от теоретического выхода ВЭР может быть использована как полезная. Выработанная тепловая энергия в утилизационной установке Q_ϕ , ГДж/год, за счет ВЭР может быть определена как

$$Q_{\phi} = Q_T \cdot \beta \cdot (1 - \xi) \cdot \sigma \cdot 10^{-6}, \quad (5.6)$$

где Q_T – теоретический выход тепловой энергии, кДж/год;

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

ξ – коэффициент потерь энергии утилизационной установкой;

σ – коэффициент использования выработанной теплоты.

Выработка тепловой энергии Q_{ϕ} , ГДж/год, за счет горючих ВЭР

$$Q_{\phi} = Q_T \cdot \sigma \cdot 10^{-6}, \quad (5.7)$$

где Q_T – теоретический выход тепловой энергии, кДж/год;

σ – коэффициент использования выработанной теплоты.

Выработка электроэнергии в утилизационной турбине W_{ϕ} , кДж/год (кВт·ч/год), за счёт ВЭР избыточного давления

$$W_{\phi} = W_T \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Theta} \cdot \eta_O, \quad (5.8)$$

где W_T – теоретический выход электрической энергии, кДж/год (кВт·ч/год);

η_O – относительный внутренний КПД турбины;

η_M – механический КПД турбины;

η_{Θ} – КПД электрогенератора.

Годовая экономия уместаемого топлива ΔB , т у. т., при использовании горючих ВЭР непосредственно для сжигания рассчитывается как

$$\Delta B = 0,0342 \cdot Q_{\phi} \cdot \frac{\eta_y}{\eta_{зам}}, \quad (5.9)$$

где Q_{ϕ} – использованные горючие ВЭР за рассматриваемый период, ГДж;

η_y – КПД утилизационной установки;

$\eta_{зам}$ – КПД установки, работающей на замещаемом топливе.

Годовая экономия топлива ΔB , т у. т., при использовании тепловых ВЭР для нагрева пара или воды, теплоснабжения в случае отдельной схемы энергообеспечения предприятия определяется как

$$\Delta B = Q_{\phi} \cdot \frac{0,0342}{\eta_{зам}}, \quad (5.10)$$

где Q_{ϕ} – использованные горючие ВЭР за рассматриваемый период, ГДж;

$\eta_{зам}$ – КПД установки, работающей на замещаемом топливе.

При выработке на утилизационной установке электроэнергии или механической работы экономия топлива рассчитывается как

$$\Delta B = \frac{0,123}{\eta_{зам}} \cdot W_{\phi} \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-9} \cdot b_{э} \cdot W_{\phi}, \quad (5.11)$$

где $b_{э}$ – удельный расход энергоносителя на производство энергии, г у. т./(кВт·ч);
 W_{ϕ} – количество вырабатываемой электроэнергии, кВт·ч/год;
 $\eta_{зам}$ – КПД установки, работающей на замещаемом топливе.

5.2 Практическая часть

Задача 1. Предприятие использует топливные ресурсы в размере M , т/год, которые при переработке дают выход $m_{ч}$, м³/кг, горючих газов с низшей теплотой сгорания Q_H , МДж/м³. Определите выработку тепловой энергии и годовую экономию топлива от использования горючих ВЭР. Исходные данные к задаче приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные к задаче 1

Вариант	M , т/год	$m_{ч}$, м ³ /кг	Q_H , МДж/м ³	η_{ν}	σ	$\eta_{зам}$
1	30,5	0,30	20,1	0,60	0,85	0,70
2	22,5	0,33	21,7	0,65	0,70	0,60
3	20,0	0,28	19,6	0,70	0,85	0,65
4	24,5	0,30	22,1	0,65	0,75	0,75
5	21,0	0,33	20,6	0,70	0,90	0,70
6	23,5	0,28	21,2	0,75	0,88	0,80
7	20,5	0,30	21,5	0,70	0,92	0,82
8	20,0	0,33	20,3	0,75	0,74	0,78
9	21,0	0,28	20,8	0,80	0,78	0,74
10	28,0	0,30	21,6	0,68	0,82	0,85
11	20,0	0,33	20,7	0,73	0,86	0,80
12	21,5	0,28	20,6	0,78	0,89	0,86
13	28,0	0,30	21,3	0,67	0,79	0,80
14	22,0	0,33	19,9	0,72	0,77	0,75
15	24,5	0,28	20,2	0,77	0,87	0,88

Задача 2. Определите выработку электроэнергии и экономию условного топлива в течение года на мебельной фабрике при использовании горючих ВЭР в котле за счет теплоты горения древесных отходов. Исходные данные к задаче представлены в таблице 5.2.

Задача 3. Определите возможную выработку электроэнергии и экономию ТЭР в утилизационной турбине за счет избыточного давления. Исходные данные к задаче приведены в таблице 5.3.

Задача 4. Определите выработку электроэнергии и экономию условного топлива при использовании ВЭР избыточного давления в турбине за счет природного газа, подаваемого на газораспределительный пункт. Исходные данные к задаче представлены в таблице 5.4.

Примечание – Газовая постоянная $R = 0,52$ кДж/(кг·К), коэффициент адиабаты природного газа $k = 1,315$.

Таблица 5.2 – Исходные данные к задаче 2

Вариант	Q_H , МДж/кг	T , ч	$mч$, г/с	η_y	σ	$\eta_{зам}$
1	18,0	3000	56	0,72	0,88	0,88
2	19,6	4000	68	0,8	0,92	0,84
3	22,1	3600	60	0,81	0,91	0,89
4	20,6	4200	58	0,71	0,9	0,86
5	21,2	3800	62	0,75	0,86	0,85
6	21,5	4500	64	0,74	0,84	0,87
7	20,3	3200	59	0,82	0,83	0,88
8	20,8	3000	63	0,73	0,82	0,84
9	21,6	4000	61	0,78	0,88	0,89
10	20,7	3600	57	0,75	0,92	0,86
11	20,6	4200	65	0,77	0,91	0,85
12	21,3	3800	66	0,79	0,9	0,87
13	19,9	4500	56	0,76	0,86	0,88
14	20,2	3200	68	0,72	0,84	0,84
15	20,1	3000	60	0,8	0,83	0,89

Таблица 5.3 – Исходные данные к задаче 3

Вариант	M , ед. прод.	$mч$, м ³ /ед. прод.	L , кВт·ч/м ³	η_m	$\eta_э$	η_o	$\eta_{зам}$
1	10000	20,0	10,1	0,60	0,81	0,96	0,85
2	12500	19,5	11,7	0,65	0,89	0,98	0,70
3	13000	18,0	9,6	0,70	0,92	0,92	0,85
4	14500	18,5	12,1	0,65	0,91	0,90	0,75
5	11000	20,5	10,6	0,70	0,90	0,91	0,90
6	13500	20,0	11,2	0,75	0,87	0,97	0,88
7	10500	19,5	11,5	0,70	0,85	0,95	0,92
8	12000	18,0	10,3	0,75	0,88	0,94	0,74
9	11500	18,5	10,8	0,80	0,92	0,93	0,78
10	14000	20,5	11,6	0,68	0,91	0,96	0,82
11	10000	20,0	10,7	0,73	0,90	0,98	0,86
12	12500	19,5	10,6	0,78	0,86	0,92	0,89
13	13000	18,0	11,3	0,67	0,84	0,90	0,79
14	14500	18,5	9,9	0,72	0,83	0,91	0,77
15	11000	20,5	10,2	0,77	0,82	0,97	0,87

Задача 5. Определите выработку энергии и экономию топлива котла-утилизатора тепловых ВЭР, использующего энергию горячей воды, если известен расход воды, температура воды на входе и выходе утилизационной установки, КПД замещающей и утилизационной установки. Исходные данные к задаче – в таблице 5.5. Удельную теплоемкость воды принять $c = 4,2$ кДж/(кг·°С).

Таблица 5.4 – Исходные данные к задаче 4

Вариант	$mч$, кг/с	t_1 , °С	t_2 , °С	T , ч	$bэ$, г у. т./кВт·ч	η_m	$\eta_э$	η_o
1	0,036	220	80	5600	310	0,8	0,92	0,93
2	0,032	200	50	6400	308	0,68	0,91	0,96
3	0,04	210	75	6000	298	0,73	0,9	0,98
4	0,033	240	85	7200	306	0,78	0,86	0,92
5	0,042	230	90	5600	297	0,67	0,84	0,9
6	0,035	220	80	6400	307	0,72	0,83	0,91
7	0,041	200	50	6000	299	0,77	0,82	0,97
8	0,034	210	75	7200	302	0,8	0,92	0,93
9	0,039	240	85	5600	305	0,68	0,91	0,96
10	0,037	230	90	6400	300	0,73	0,9	0,98
11	0,036	220	80	6000	303	0,78	0,86	0,92
12	0,032	200	50	7200	309	0,67	0,84	0,9
13	0,04	210	75	5600	301	0,72	0,83	0,91
14	0,033	240	85	6400	304	0,77	0,82	0,97
15	0,042	230	90	6000	310	0,67	0,84	0,9

Таблица 5.5 – Исходные данные к задаче 5

Вариант	$mч$, кг/с	t_1 , °С	t_2 , °С	T , ч	β	ξ	$\eta_{зам}$	σ
1	0,3	98	70	8760	0,92	0,002	0,8	0,85
2	0,25	96	65	8350	0,98	0,005	0,92	0,7
3	0,31	95	68	7920	1	0,003	0,91	0,85
4	0,27	97	67	7200	0,72	0,004	0,81	0,75
5	0,32	89	69	8500	0,74	0,002	0,82	0,9
6	0,28	88	66	7860	0,99	0,001	0,9	0,88
7	0,26	94	71	7500	0,96	0,003	0,89	0,92
8	0,33	93	72	7350	0,94	0,004	0,83	0,74
9	0,34	92	70	8760	0,75	0,002	0,84	0,78
10	0,24	98	65	8350	0,78	0,005	0,88	0,82
11	0,35	96	68	7920	0,82	0,003	0,87	0,86
12	0,36	95	67	7200	0,84	0,004	0,86	0,89
13	0,3	97	69	8500	0,95	0,002	0,91	0,79
14	0,25	89	66	7860	0,93	0,005	0,85	0,77
15	0,31	88	71	7500	0,89	0,003	0,92	0,87

Контрольные вопросы

- 1 Основные виды вторичных энергетических ресурсов.
- 2 Основные направления применения ВЭР.
- 3 За счет использования каких ВЭР получена наибольшая экономия топлива?

6 Лабораторная работа № 6. Оценка снижения выбросов парниковых газов в результате осуществления энергосберегающих мероприятий

Цель работы: изучить методику оценки снижения выбросов парниковых газов в результате осуществления энергосберегающих мероприятий в ЖКХ.

6.1 Теоретическая часть

6.1.1 Определение экономии топлива и теплоты за счёт термореновации ограждающих конструкций зданий.

Экономический эффект от термореновации ограждающих конструкций зданий достигается за счет увеличения термосопротивления ограждающих конструкций и уменьшения тепловых потерь.

Годовая экономия тепловой энергии ΔQ , Гкал, за счет снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции

$$\Delta Q = F_{СТ} \cdot (t_{вн} - t_{н}) \cdot \left(\frac{1}{R_{Тфакт}} - \frac{1}{R_{Тдост}} \right) \cdot T_{от} \cdot 24 \cdot n \cdot 0,86 \cdot 10^{-6}, \quad (6.1)$$

где $F_{СТ}$ – площадь ограждающих конструкций, подвергнутых термореновации, м²;

$t_{вн}, t_{н}$ – температура воздуха внутри помещения и снаружи соответственно, °С;

$R_{Тфакт}, R_{Тдост}$ – фактическое и достигнутое термосопротивления ограждающих конструкций здания до выполнения и после выполнения мероприятия, м²·°С/Вт;

$T_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут;

24 – число часов в сутках, ч;

n – поправочный коэффициент на разность температур; принимается по климатологическим данным для региона, где внедряется мероприятие.

Термосопротивление R_T , м²·°С/Вт, ограждающих конструкций

$$R_T = \frac{d}{l}, \quad (6.2)$$

где d – толщина материала ограждающих конструкций, м;

l – коэффициент теплопроводности материала ограждающих конструкций и материала теплоизоляции.

Примечание – $R_{Тдоот}$ для ограждающих конструкций представляет собой сумму термосопротивлений для материала ограждающих конструкций и материала теплоизоляции.

Снижение потребления электроэнергии на теплоисточнике $\Delta \mathcal{E}$, кВт·ч, на производство тепловой энергии

$$\Delta \mathcal{E} = \varepsilon_{сн} \cdot \Delta Q, \quad (6.3)$$

где $\varepsilon_{сн}$ – удельный расход электроэнергии на производство и транспорт тепловой энергии для теплоисточника, кВт·ч/Гкал;

ΔQ – годовое снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции (экономия тепловой энергии), Гкал.

Экономия топлива $\Delta B_{\mathcal{E}}$, т у. т., на источнике электроснабжения

$$\Delta B_{\mathcal{E}} = \Delta \mathcal{E} \cdot (1 + 0,01 \cdot k_{ном}^{\mathcal{E}}) \cdot b_{\mathcal{E}} \cdot 10^{-6}, \quad (6.4)$$

где $\Delta \mathcal{E}$ – снижение потребления электроэнергии на теплоисточнике на производство тепловой энергии, кВт·ч;

$k_{ном}^{\mathcal{E}}$ – коэффициент потерь электроэнергии в электросетях; принимается равным 11,3;

$b_{\mathcal{E}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльская ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у. т./(кВт·ч); принимается равным 300,2 г у. т./(кВт·ч).

Экономия топлива $\Delta B_{ТЭ}$, т у. т., от снижения потребления тепловой энергии

$$\Delta B_{ТЭ} = \Delta Q \cdot (1 + 0,01 \cdot k_{ном}) \cdot b_{ТЭ} \cdot 10^{-3}, \quad (6.5)$$

где ΔQ – годовое снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции (экономии тепловой энергии), Гкал;

$b_{ТЭ}$ – удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике, кг у. т./Гкал. В целях соблюдения сопоставимости в расчётах средний удельный расход принимается равным коэффициенту пересчёта тепловой энергии в условное топливо 175 кг у. т./Гкал;

$k_{ном}$ – коэффициент потерь в существующих тепловых сетях.

Суммарная экономия топлива

$$\Delta B = \Delta B_{\mathcal{E}} + \Delta B_{ТЭ}. \quad (6.6)$$

Расчёт уменьшения выбросов парниковых газов в результате термореновации ограждающих конструкций зданий.

Потребление (расход) топлива $E^{те}$, ГДж/год, в общих энергетических единицах при переводе тепловой энергии

$$E^{те} = 4,187 \cdot \Delta B, \quad (6.7)$$

где ΔB – экономия тепловой энергии, определяется по формуле (6.6).

Выбросы диоксида углерода M_{CO_2} , т/год, определяются как

$$M_{CO_2} = E^{te} \cdot K_{CO_2}, \quad (6.8)$$

где E^{te} – потребление (расход) топлива в общих энергетических единицах ГДж/год;

K_{CO_2} – коэффициент выбросов диоксида углерода для данного типа топлива, т/ГДж; принимается равным 0,072.

Выбросы метана M_{CH_4} , т/год, рассчитываются как

$$M_{CH_4} = 10^{-3} \cdot E^{te} \cdot q_{CH_4}, \quad (6.9)$$

где E^{te} – потребление (расход) топлива в общих энергетических единицах, ГДж/год;

q_{CH_4} – удельный выброс метана, кг/ГДж, принимается равным 0,1.

Выбросы закиси азота M_{N_2O} , т/год, определяются следующим образом:

$$M_{N_2O} = 10^{-3} \cdot E^{te} \cdot q_{N_2O}, \quad (6.10)$$

где E^{te} – потребление (расход) топлива в общих энергетических единицах ГДж/год;

q_{N_2O} – удельный выброс закиси азота, кг/ГДж; принимается равным 0,0006.

Сокращение выбросов парниковых газов P_{GHG}^{PT} , т/год, в эквиваленте CO_2 в результате термореновации

$$P_{GHG}^{PT} = M_{CO_2} + 21 \cdot M_{CH_4} + 310 \cdot M_{N_2O}, \quad (6.11)$$

где M_{CO_2} – выбросы диоксида углерода, т/год;

M_{CH_4} – выбросы метана, т/год;

M_{N_2O} – выбросы закиси азота, т/год.

6.1.2 Определение экономии топлива и теплоты за счёт внедрения энергоэффективных оконных блоков из ПВХ.

Экономический эффект от внедрения оконных блоков из ПВХ достигается за счет:

– увеличения термосопротивления оконных блоков и уменьшения расхода тепловой энергии на компенсацию потерь тепла;

– увеличения коэффициента воздухопроницаемости 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).

Годовой расход тепловой энергии Q_{OT} , Гкал, на компенсацию потерь тепла через ограждающие конструкции оконных проемов рассчитывается по формуле

$$Q_{OT} = \frac{F_o}{R_T} \cdot (t_{вн} - t_n) \cdot n \cdot T_{OT} \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (6.12)$$

где F_o – площадь оконных проемов, м²;

R_T – сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций оконных проемов, м²·°С·ч/ккал;

$t_{вн}$, t_n – расчетные температуры воздуха внутри помещения и наружного воздуха, °С;

n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;

T_{OT} – длительность отопительного периода, сут.

Годовой расход теплоэнергии $Q_{зам}$, Гкал, на компенсацию потерь тепла через ограждающие конструкции оконных проемов, предлагаемые в качестве замены,

$$Q_{зам} = \frac{F_o}{R_{досм}} \cdot (t_{вн} - t_n) \cdot n \cdot T_{OT} \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (6.13)$$

где $R_{досм}$ – сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций оконных проемов, м²·°С·ч/ккал.

Годовая экономия тепловой энергии ΔQ , Гкал, от внедрения энергоэффективных оконных блоков из ПВХ

$$\Delta Q = Q_{от} - Q_{зам}, \quad (6.14)$$

где $Q_{от}$ – годовой расход теплоэнергии на компенсацию потерь тепла через существующие ограждающие конструкции оконных проемов, подлежащие замене, Гкал;

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

Определение экономии топлива от снижения потребления тепловой энергии производится по формуле (6.5).

Расчёт уменьшения выбросов парниковых газов в результате замены оконных проемов зданий.

Потребление (расход) топлива $E^{те}$, ГДж/год, в общих энергетических единицах при переводе тепловой энергии

$$E^{те} = 4,187 \cdot \Delta B_{ТЭ}, \quad (6.15)$$

где $\Delta B_{ТЭ}$ – экономия тепловой энергии, определяется по формуле (6.5).

Далее расчеты производятся по формулам (6.8)–(6.11).

6.2 Практическая часть

Задача. Рассчитайте снижение выбросов парниковых газов в результате проведения термореновации ограждающих конструкций жилого здания и замены оконных рам. Исходные данные к задаче приведены в таблицах 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1 – Исходные данные для расчетов

Вариант	Параметр здания			Процент остекления	Параметр стен		Параметр утепления		R_m , м ² ·°C/Вт	$R_{дост}$, м ² ·°C/Вт
	Длина L , м	Высота H , м	Ширина B , м		l_1 , Вт/(м·°C)	d_1 , см	l_2 , Вт/(м·°C)	d_2 , см		
1	60	36	8	18	0,21	40	0,06	5	0,40	0,76
2	80	40	10	20	0,11	30	0,07	6	0,44	0,68
3	40	20	12	19	0,52	35	0,05	7	0,34	0,66
4	100	24	10	21	0,21	40	0,06	5	0,38	0,78
5	120	48	8	22	0,11	30	0,07	6	0,36	0,82
6	80	48	12	19	0,52	35	0,05	7	0,42	0,70
7	80	36	12	20	0,21	40	0,06	5	0,40	0,74
8	60	40	10	18	0,11	30	0,07	6	0,44	0,84
9	100	20	8	22	0,52	35	0,05	7	0,34	0,76
10	120	24	8	21	0,21	40	0,06	5	0,38	0,68
11	40	48	10	18	0,11	30	0,07	6	0,36	0,66
12	60	64	12	19	0,52	35	0,05	7	0,42	0,78
13	100	36	10	20	0,21	40	0,06	5	0,40	0,82
14	120	40	12	21	0,11	30	0,07	6	0,44	0,70
15	80	20	8	22	0,52	35	0,05	7	0,34	0,74

Таблица 6.2 – Исходные данные для расчетов

Вариант	$T_{от}$, сут	$t_{вн}$, °C	t_n , °C	$t_{ср о}$, °C	t_p , °C	n	$\mathcal{E}_{сн}$, кВт·ч/ Гкал	$k_{пот}$, %	q_o , ккал/ (ч·м ²)	$Q_{св}$, ккал/ч
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	204	20	-5,6	0,2	-21	0,67	1040	9,55	81,69	51840
2	200	18	-3,2	-2,0	-25	0,92	1250	10,16	87,7	64020
3	202	20	-6,7	-1,6	-22	1,20	1140	11,68	55,89	56126
4	206	22	-4,8	-0,5	-24	0,98	1090	9,87	60,19	58680
5	200	21	-3,7	-1,9	-23	1,07	1060	9,31	127,3	61240
6	204	18	-7,8	0,2	-21	0,76	1050	9,55	81,69	52360
7	206	20	-5,9	-2,0	-25	0,84	1200	10,16	87,7	63440
8	202	22	-6,3	-1,6	-22	1,11	1250	11,68	55,89	62123
9	200	19	-7,4	-0,5	-24	0,88	1040	9,87	60,19	54320
10	204	21	-3,5	-1,9	-23	0,99	1250	9,31	127,3	55111

Окончание таблицы 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	206	18	-7,1	0,2	-21	0,77	1140	9,55	81,69	60189
12	204	19	-6,9	-2,0	-25	0,66	1090	10,16	87,7	53378
13	200	20	-4,5	-1,6	-22	1,05	1060	11,68	55,89	57532
14	202	21	-3,3	-0,5	-24	1,15	1050	9,87	60,19	59763
15	204	22	-5,5	-1,9	-23	0,85	1200	9,31	127,3	51840

Контрольные вопросы

- 1 Какие парниковые газы вносят наибольший эффект в изменение климата?
- 2 За счет чего снижаются выбросы парниковых газов при термомодернизации зданий?
- 3 За счет чего достигается экономический эффект от внедрения оконных блоков из ПВХ?

Список литературы

- 1 Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий [Электронный ресурс] // Департамент по энергоэффективности Гос. комитета по стандартизации Респ. Беларусь. – Минск, 2023. – 144 с. – Режим доступа: http://energoeffekt.gov.by/programs/forming/20201118_terem. – Дата доступа: 26.12.2023.
- 2 Энергосбережение: учебное пособие / А. В. Щур [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т; Рязань: Рязан. гос. ун-т им. П. А. Костычева, 2020. – 261 с.: ил.
- 3 **Кудинов, А. А.** Энергосбережение в котельных установках ТЭС и систем теплоснабжения: монография / А. А. Кудинов. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 342 с.
- 4 Управление в энергетике = Energygovernance: учебное пособие / Под ред. С. П. Кундаса. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2014. – 259 с.