

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Техносферная безопасность»

ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 6-05-0732-02 «Экспертиза
и управление недвижимостью» очной формы обучения*



Могилев 2026

УДК 504(075.8)
ББК 20.1я73
О75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Техносферная безопасность» «27» ноября 2025 г.,
протокол № 4

Составители: д-р биол. наук, доц. А. В. Щур;
ст. преподаватель В. М. Пускова

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкива

Методические рекомендации к лабораторным работам содержат основные теоретические положения по теме, методику выполнения лабораторных работ, формулы для расчета, варианты заданий. Предназначены для студентов специальности 6-05-0732-02 «Экспертиза и управление недвижимостью» очной формы обучения.

Учебное издание

ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Ответственный за выпуск	А. В. Щур
Корректор	А. А. Подошевко
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 26 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.

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Определение максимальной приземной концентрации примеси от стационарного источника.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Определение кислотности растворов.....	7
3 Лабораторная работа № 3. Определение содержания нитратов.....	13
4 Лабораторная работа № 4. Имитационная игра «Река».....	20
5 Лабораторная работа № 5. Определение энергетических, экологических и агротехнических эффектов от внедрения биогазовых комплексов....	21
6 Лабораторная работа № 6. Расчет эффективности типичных энергосберегающих мероприятий в производственных организациях.....	28
7 Лабораторная работа № 7. Оценка эффективности использования вторичных энергоресурсов.....	36
8 Лабораторная работа № 8. Оценка снижения выбросов парниковых газов в результате осуществления энергосберегающих мероприятий	42
Список литературы.....	47

1 Лабораторная работа № 1. Определение максимальной приземной концентрации примеси от стационарного источника

Цель работы: выполнить расчет максимальной концентрации примеси, расстояния и опасной скорости ветра от одиночного источника загрязнений с круглым сечением.

1.1 Теоретическая часть

Расчёт максимальной концентрации вредного вещества C_{\max} при выбросе газовоздушной смеси (ГВС) из одиночного точечного источника с круглым устьем производится по формуле

$$C_{\max} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot (V_1 \cdot \Delta T)^{\frac{1}{3}}}, \quad (1.1)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы. Для Беларуси и центральной части европейской территории России $A = 140$;

M – масса загрязняющего вещества (ЗВ), выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, мг/с;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания ЗВ в атмосферном воздухе. Для газообразных ЗВ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т. п., скорость упорядоченного оседания которых почти равна нулю) $F = 1$;

m, n – коэффициенты, учитывающие условия выхода ГВС из источника выброса;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности. Для равнинной либо слабопересечённой местности с перепадом высот не более 50 м на 1 км $\eta = 1$;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м;

ΔT – разность между температурой газовоздушной смеси T_1 и температурой окружающего воздуха T_2 , °C;

V_1 – расход ГВС, м³/с.

Расчет расхода ГВС производится по формуле

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0, \quad (1.2)$$

где D – диаметр источника выброса, м;

ω_0 – средняя скорость выхода ГВС из устья источника выброса, м/с.

Разность между температурой ГВС и температурой окружающего воздуха находят по формуле

$$\Delta T = T_1 - T_2. \quad (1.3)$$

Значения коэффициентов m и n определяются в зависимости от параметров f , v_m по формулам

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}; \quad (1.4)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \left(\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H} \right)^{\frac{1}{3}}; \quad (1.5)$$

$$m = (0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f})^{-1} \text{ при } f < 100; \quad (1.6)$$

$$n = 1 \text{ при } v_m \geq 2; \quad (1.7)$$

$$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq v_m < 2; \quad (1.8)$$

$$n = 4,4 \cdot v_m \text{ при } v_m < 0,5. \quad (1.9)$$

Расстояние X_{\max} , м, от источника выбросов, на котором приземная концентрация ЗВ достигает максимального значения C_{\max} , мг/м³, определяется по формуле

$$X_{\max} = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (1.10)$$

где d – безразмерный коэффициент, который находится по формулам

$$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \text{ при } v_m \leq 0,5; \quad (1.11)$$

$$d = 4,95 \cdot v_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2; \quad (1.12)$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \text{ при } v_m \geq 2. \quad (1.13)$$

В формулу расчёта C_{\max} в скрытой форме входит скорость ветра. Ветер оказывает двоякое влияние на рассеивание примесей: чем больше скорость ветра, тем интенсивнее перемешивание атмосферы и тем интенсивнее распространяется ЗВ в окружающей среде; в то же время с увеличением скорости ветра уменьшается высота факела выброса над устьем трубы.

Опасную скорость ветра u_{\max} , м/с, при которой достигается максимальная приземная концентрация ЗВ C_{\max} , находят следующим образом:

$$u_{\max} = 0,5 \text{ при } v_m \leq 0,5; \quad (1.14)$$

$$u_{\max} = v_m \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2; \quad (1.15)$$

$$u_{\max} = v_m \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) \quad \text{при } v_m \geq 2. \quad (1.16)$$

Опасность загрязнения атмосферы оценивается показателем j , который рассчитывается по формуле

$$j = \frac{C_{\max}}{\PiDK} \leq 1. \quad (1.17)$$

Если $j \geq 1$ по какому-либо из трех веществ, то для этого вещества необходимо рассчитать интенсивность выброса ГВС M , мг/с, при которой не будет существовать опасности загрязнения атмосферы, по формуле

$$M = \frac{\PiDK \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}. \quad (1.18)$$

1.2 Практическая часть

Задача. Определите максимальную приземную концентрацию ЗВ C_{\max} , мг/м³, для трех веществ (по отдельности) при выбросе ГВС из одиночного точечного источника с круглым устьем. Сравните с предельно допустимой концентрацией (ПДК). При необходимости рассчитайте интенсивность выброса, при которой не будет существовать опасности загрязнения атмосферы, по формуле (1.18). Определите расстояние X_{\max} , м, на котором C_{\max} достигается, и опасную скорость ветра u_{\max} , м/с, при которой C_{\max} возникает. Исходные данные представлены в таблице 1.1. По итогам расчета сделайте выводы об уровне загрязнения.

Примечание – $\PiDK_{SO_2} = 0,5$ мг/м³; $\PiDK_{(зола)} = 0,5$ мг/м³; $\PiDK_{NO_x} = 0,085$ мг/м³.

Таблица 1.1 – Параметры выброса газовоздушной смеси

Вариант	H , м	D , м	ω_o , м/с	T_1 , °C	T_2 , °C	$M(SO_2)$, мг/с	$M(\text{зола})$, мг/с	$M(NO_x)$, мг/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	30	1,4	8	125	25	12	15,5	15,2
2	25	1,0	12	100	27	10	14,5	3,8
3	28	1,5	15	80	29	30	70,6	12,1
4	18	0,7	16	90	31	25	15,0	1,0
5	15	0,8	21	130	25	16	14,0	4,6
6	23	0,9	16	230	27	21	34,0	3,2
7	28	1,0	12	160	29	6	62,0	5,8
8	32	1,5	9	125	32	15	18,9	7,8
9	20	1,2	10	135	29	42	14,1	10,2
10	24	1,5	14	215	25	19	27,2	11,4
11	25	1,7	9	210	30	18	34,5	2,0

Окончание таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	30	2,0	6	180	29	5	56,7	2,2
13	23	1,3	11	150	26	16	59,4	12,8
14	19	1,0	14	165	28	7	62,1	14,4
15	18	0,7	19	115	27	21	65,3	16,6
16	35	2,0	9	210	33	32	50,0	7,4
17	40	2,6	5	195	25	28	24,0	21,0
18	38	2,5	8	145	28	14	32,0	16,6
19	24	1,8	13	210	28	12	12,8	21,8
20	19	0,8	18	160	29	10	5,6	15,4
21	21	1,1	10	190	27	13	19,5	3,8
22	35	1,9	7	140	25	22	32	6,8
23	20	0,9	16	160	31	27	41,8	7,4
24	33	1,6	9	170	26	18	52,7	12,5
25	24	0,8	15	155	29	10	61,4	14,1
26	36	1,7	11	185	33	9	45,6	3,4
27	27	1,3	16	135	25	31	17,9	4,9
28	31	1,2	13	175	28	16	21,4	7,2
29	22	0,8	17	140	31	25	46	9,8
30	37	1,8	8	165	30	19	37	5,7

Контрольные вопросы

- 1 В чем состоит цель расчета предельно допустимых выбросов (ПДВ) каждым предприятием?
- 2 Перечислите мероприятия по снижению максимальной приземной концентрации ЗВ до значений ПДК.

2 Лабораторная работа № 2. Определение кислотности растворов

Цель работы: изучить влияние увеличения кислотности на компоненты окружающей среды; провести измерения кислотности воды и растворов.

2.1 Теоретическая часть

Водородный показатель pH – мера кислотности водных растворов. Это величина, противоположная по знаку и равная по модулю десятичному логарифму активности ионов водорода, выраженной в молях на литр:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+].$$

Шкала pH имеет пределы от 0 до 14. Средняя точка на шкале – семь. При величине pH, равной семи, среда не является ни кислой, ни щелочной. Все цифры меньше семи показывают, что среда кислая, а все цифры больше семи свидетельствуют о щелочности среды.

Величина pH определяется количественным соотношением в воде ионов H⁺ и OH⁻, образующихся при диссоциации воды. Если в воде пониженное содержание свободных ионов водорода (pH > 7) по сравнению с ионами OH⁻, то вода будет иметь щелочную реакцию, а при повышенном содержании ионов H⁺ (pH < 7) – кислую. В идеально чистой дистиллированной воде эти ионы будут уравновешивать друг друга. В таких случаях вода нейтральна и pH = 7.

pH воды – один из важнейших рабочих показателей качества воды, во многом определяющих характер химических и биологических процессов, происходящих в воде. В зависимости от величины pH может изменяться скорость протекания химических реакций, степень коррозионной агрессивности воды, токсичность загрязняющих веществ и т. д. Контроль уровня pH особенно важен на всех стадиях водоочистки, т. к. его «уход» в ту или иную сторону может не только существенно сказаться на запахе, привкусе и внешнем виде воды, но и повлиять на эффективность водоочистных мероприятий.

Обычно уровень pH находится в пределах, при которых он непосредственно не влияет на потребительские качества воды. Так, в речных водах pH обычно находится в пределах 6,5…8,5, в атмосферных осадках – 4,6…6,1, в болотах – 5,5…6,0, в морских водах – 7,9…8,3.

Для питьевой и хозяйствственно-бытовой воды оптимальным считается уровень pH в диапазоне от 6 до 9.

Контроль качества воды предусматривает контроль уровня кислотности воды. Нормы предельно допустимой концентрации (ПДК) для уровня кислотности в разных странах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Установленные или рекомендуемые ПДК pH

Анализируемая среда	Значение pH
Вода питьевая	6,5…8,5 (РБ) 6,5…9,2 (международный стандарт) 7,0…8,5 (европейский стандарт)
Вода водопроводная	6,0…8,5 (США)
Водоемы	6,5…8,5 (РБ) 6,0…9,0 (США)
Сточные воды	6,5…9,0 (США) 6,0…9,0 (Великобритания)
Вода для сельскохозяйственного использования	4,5…9,0 (США)
Молоко	6,6…6,93

Кислотный дождь – все виды метеорологических осадков (дождь, снег, град, туман, дождь со снегом), при которых наблюдается понижение pH дожде-

вых осадков из-за загрязнений воздуха кислотными оксидами (обычно – оксидами серы, оксидами азота).

Асидификация – это процесс повышения кислотной реакции компонентов окружающей среды (атмосферы, гидросфера и литосфера), а также усиления воздействия повышенной кислотности на различные природные явления.

В естественных условиях атмосферные осадки обычно имеют нейтральную ($\text{pH} \approx 7$) или слабокислую ($\text{pH} = 5,6$) реакцию. Это происходит вследствие того, что природные вещества атмосферы, такие как углекислый газ, вступают в реакцию с дождевой водой. В реальной жизни показатель кислотности дождевой воды в одной местности может отличаться от показателя кислотности дождевой воды в другой местности.

Кислотными осадками считают такие осадки, pH которых равен 5 и менее. Кислотные осадки бывают двух типов: сухие, обычно выпадающие вблизи источника их поступления в атмосферу; влажные (дождь, снег и пр.).

Основными компонентами кислотных осадков являются аэрозоли аммиака, оксиды серы и азота, которые при взаимодействии с атмосферной, гидросферной или почвенной влагой образуют серную, азотную и другие кислоты. Источниками антропогенных кислотных осадков являются процессы сжигания топлива – угля, нефти, мазута в ТЭС, котельных, металлургии, нефтехимической промышленности, на транспорте и пр.

В поступлении на территорию Беларуси серы и окисленного азота основная доля принадлежит странам-соседям – Польше, Германии, Украине. Средняя кислотность осадков в Беларуси колеблется от 5,1 до 6,2.

Важный фактор, который следует принимать во внимание при оценке почвы – это величина pH . Так, почвы могут быть:

- сильнокислые (3...4 pH);
- кислые (4...5 pH);
- слабокислые (5...6 pH);
- нейтральные (6...7 pH);
- щелочные (7...8 pH);
- сильнощелочные (8...9 pH).

Величина pH может быть показателем определенной неупорядоченности в химическом балансе почвы, кислотно-щелочном равновесии, оказывающем влияние на способность растений поглощать удобрения и другие питательные вещества из почвы. По многочисленным наблюдениям, растения развиваются лучше всего, когда pH почвы находится в пределах от 6,5 до 7,0.

Выделяют три стадии **воздействия кислотных дождей на водоёмы**:

1) с увеличением кислотности воды ($\text{pH} < 7$) водяные растения начинают погибать, лишая других животных водоёма пищи, уменьшается количество кислорода в воде, начинают бурно развиваться водоросли (буро-зеленые). Первая стадия эвтрофикации (заболачивания) водоема. При кислотности $\text{pH} = 6$ погибают пресноводные креветки;

2) кислотность повышается до $\text{pH} = 5,5$, погибают донные бактерии, которые разлагают органические вещества и листья, и органический мусор начинает

скапливаться на дне. Затем гибнет планктон – крошечное животное, которое составляет основу пищевой цепи водоема и питается веществами, образующимися при разложении бактериями органических веществ;

3) кислотность достигает pH 4,5, погибает вся рыба, большинство лягушек и насекомых.

Таким образом, основные **последствия кислотных дождей**:

- гибель флоры и фауны в водоемах;
- коррозия металлов, нарушение целостности покрытий из красок;
- разрушение мрамора (разрушение зданий и памятников культуры);
- снижение урожайности;
- деградация лесов (усыхание хвойных лесов и дубрав);
- растворение тяжелых металлов (кадмий, ртуть, свинец) и попадание их в пищевые цепи.

2.2 Практическая часть

Для измерения pH растворов используются лабораторные ионометры И-160.1МП, настроенные, согласно руководству по эксплуатации, для измерения pH. Прибор состоит из микропроцессорного блока ионометра, комбинированного электрода, термокомпенсатора и штатива. Комбинированный электрод ЭСКЛ-08М.1 является измерительным и вспомогательным одновременно. Для измерения температуры используют термокомпенсатор автоматический ТКА-7.3.

Прибор предназначен для применения на объектах эксплуатации, в лабораториях предприятий и научно-исследовательских учреждений различных отраслей народного хозяйства, в том числе в области охраны окружающей среды. Анализируемая среда – водные растворы неорганических и органических соединений, технологические растворы, не образующие пленок и осадков на поверхности электрода, природные и сточные воды и др.

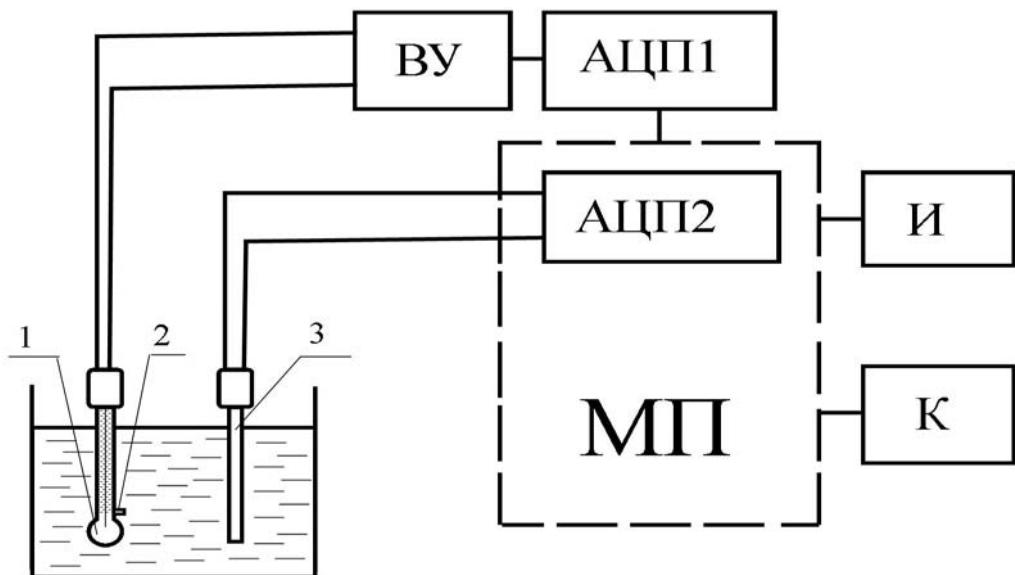
Принцип работы прибора. В основу работы прибора положен потенциометрический метод измерения pH (pH) и Eh контролируемого раствора.

Структурная схема прибора приведена на рисунке 2.1.

ЭДС электродной системы преобразуется в аналого-цифровом преобразователе (АЦП1) и поступает в микропроцессор. ЭДС термокомпенсатора поступает в АЦП2 и также подается в микропроцессор. В микропроцессоре по заложенной в него формуле происходит расчет значения pH и выводится на цифровое табло прибора.

Электродная система при погружении в контролируемый раствор развивает ЭДС, линейно зависящую от pH и температуры раствора.

Электролитический контакт комбинированного электрода с контролируемым раствором осуществляется с помощью электролитического ключа, обеспечивающего истечение насыщенного раствора хлористого калия KCl из полости электрода в анализируемый раствор (рисунок 2.2). Раствор KCl, непрерывно просачиваясь через электролитический ключ, предотвращает проникновение из анализируемого раствора в систему комбинированного электрода посторонних ионов, которые могли бы изменить величину потенциала электрода.



1 – электрод измерительный; 2 – электрод сравнения; 3 – термокомпенсатор;
 ВУ – входной усилитель высокоомный; АЦП1 – аналого-цифровой преобразователь;
 МП – микропроцессор со встроенным аналого-цифровым преобразователем АЦП2;
 И – индикатор (цифровое табло); К – клавиатура

Рисунок 2.1 – Структурная схема прибора

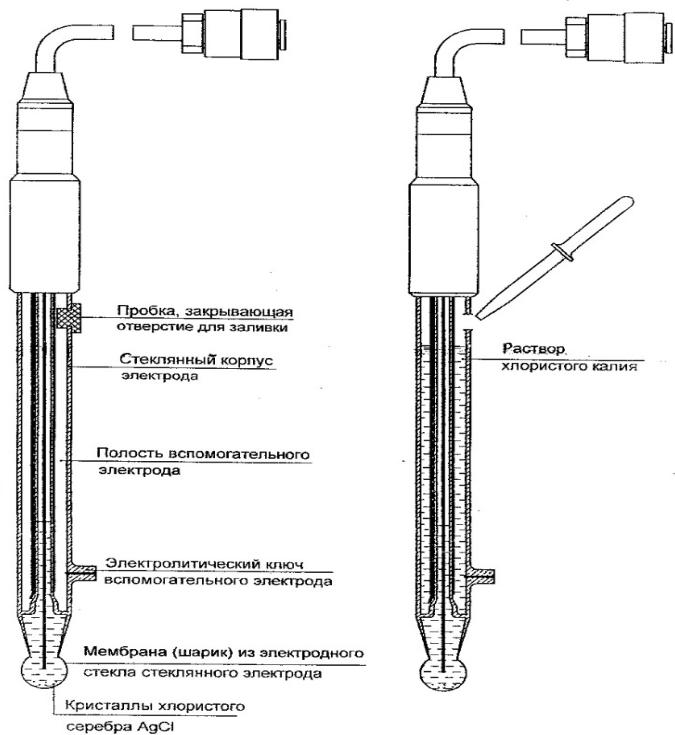


Рисунок 2.2 – Комбинированный электрод ЭСКЛ.08М.1

В режиме рХ измеренное значение температуры раствора может использоваться для компенсации погрешности измерений, обусловленной зависимостью ЭДС электродной системы от температуры (далее – термокомпенсация). Для из-

мерения температуры используется термодатчик, который помещается в анализируемый раствор. Преобразователь измеряет величину сопротивления и рассчитывает температуру раствора.

Проведение измерений.

1 Подготовка прибора к работе проводится в соответствии с инструкцией.

Перед погружением в анализируемую среду при перемещении из раствора более высокой концентрации в менее концентрированный раствор (с более высоким значением pX) электродная система должна промываться дистиллиированной водой и (желательно) анализируемым раствором.

При измерениях необходимо учитывать, что время установления потенциала измерительного электрода и инерционность термокомпенсатора ТКА-7.3 обычно не превышают 3 мин с момента погружения в анализируемую среду.

2 Провести измерения проб воды и приготовленных растворов.

Порядок проведения измерений:

- комбинированный измерительный электрод закрепить в штативе и подключить к гнезду ИЗМ;

- автоматический термокомпенсатор закрепить в штативе и подключить к входу ТКА;

- иономер включить в сеть и прогреть в течение 15 мин;

- промыть электрод дистиллиированной водой и удалить остатки воды фильтровальной бумагой;

- промыть электрод измеряемым раствором;

- погрузить электрод и термокомпенсатор в измеряемый раствор;

- нажать клавишу СЕТЬ. На дисплее отражается значение pH раствора;

- сравнить полученные значения с ПДК из таблицы 2.1 и сделать вывод о качестве воды и других продуктов;

- в промежутках между измерениями электрод хранить в дистиллиированной воде.

3 Результаты измерений pH оформить в виде таблицы 2.2, сделать вывод.

Таблица 2.2 – Результаты измерения

Наименование раствора	pH

Контрольные вопросы

1 Что такое pH ? Что представляет собой шкала pH ?

2 Понятие асидификации окружающей среды. Воздействие кислотных дождей на водоёмы.

3 Последствия кислотных дождей.

4 Принцип работы иономера.

5 Порядок проведения измерений.

3 Лабораторная работа № 3. Определение содержания нитратов

Цель работы: получить представление о медицинских последствиях, связанных с загрязнением организма нитратами; ознакомиться с методами снижения содержания нитратов в пищевых продуктах растительного происхождения; ознакомиться с методами определения нитратов в воде и в продуктах питания и провести соответствующие измерения.

3.1 Теоретическая часть

Нитраты – соли и эфиры азотной кислоты, например, NaNO_3 , KNO_3 , NH_4NO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$. Они являются нормальными продуктами обмена азотистых веществ любого живого организма – растительного и животного, поэтому «безнитратных» продуктов в природе не бывает. Даже в организме человека в сутки образуется и используется в обменных процессах 100 мг и более нитратов. Из нитратов, ежедневно попадающих в организм взрослого человека, 70 % поступает с овощами, 20 % – с водой, 6 % – с мясом и консервированными продуктами.

Нитраты не относятся к ядовитым веществам, но представляют опасность тем, что из них образуются нитриты – соли азотистой кислоты. Именно нитриты могут оказывать токсическое действие на человека, как прямое, так и опосредованное, через образование других вредных веществ, например, нитрозаминов. Нитриты опаснее нитратов в 30 раз. В организме человека нитраты и нитриты быстро всасываются в желудочно-кишечном тракте. Нитраты выводятся с мочой и частично превращаются в нитриты, а нитриты, особенно при поступлении в больших количествах, реагируют с гемоглобином крови, образуя его соединение – метгемоглобин. Это вещество не может выполнять функции переносчика кислорода, как гемоглобин, что приводит к гипоксии (кислородному голоданию) тканей. В результате – ухудшение самочувствия, снижение работоспособности, общая слабость. У человека в крови в норме метгемоглобин может составлять до 2 % от общего количества гемоглобина. Прекрасным антидотом (противоядием) от метгемоглобинемии является обычная аскорбиновая кислота (витамин С). Если содержание метгемоглобина достигнет 10 %, то наблюдается бессимптомный цианоз (синюшность), при 20 %...50 % появляются выраженные признаки гипоксии – одышка, тахикардия, потеря сознания, при метгемоглобинемии выше 50 % наступает смерть.

Однако негативная роль нитратов явно преувеличена. Достаточно вспомнить, как широко используется в клинической практике нитроглицерин и другие лекарственные формы нитратов без всяких опасений нитритной интоксикации. Причина в том, что у взрослых людей под воздействием восстанавливающих ферментных систем метгемоглобин быстро превращается в оксигемоглобин (насыщенный кислородом гемоглобин). Иное дело – грудные дети, особенно до 3-месячного возраста, у которых нужные ферментные системы еще не сфор-

мированы. Поэтому в мире регистрировались отдельные случаи острых отравлений (метгемоглобинемии) младенцев питательными смесями, приготовленными на воде с высоким содержанием нитратов, а также при кормлении малышей пюре из шпината, который сильно накапливает нитраты.

Нитраты содержатся в почве, природных водах, растительном и животном материале, а также в атмосферном воздухе (в невысоких концентрациях) при его загрязнении. Разложение органических остатков (растений, животных, микроорганизмов и др.) с образованием соединений азота, которые, в свою очередь, потребляются новыми растениями, микроорганизмами и т. д., – это сущность круговорота азота в природе. В результате деятельности нитрофицирующих бактерий из нитратов образуются нитриты, но их естественная концентрация в воде и растениях обычно очень мала.

Помимо природного, имеется и другой источник попадания нитратов и нитритов в почву и грунтовые воды – антропогенный, т. е. связанный с деятельностью человека. Это городские отбросы, промышленные отходы, выхлопные газы и, конечно же, азотные удобрения. В промышленной сфере наибольшее поступление в окружающую среду связанного азота дают производства по переработке топлива, предприятия пищевой промышленности, нефтеперерабатывающие заводы.

Содержание нитратов в поверхностных и подземных водах варьируется в широких пределах в зависимости от геохимических условий, применения азотных удобрений, методов очистки сточных вод. В воде системы городского водоснабжения содержание нитратов обычно невысокое. Значительно большие концентрации нитратов обнаруживаются в грунтовых водах и колодезной воде в сельской местности, особенно в районах интенсивного земледелия и вблизи животноводческих комплексов. Нитраты, поступающие в организм человека с водой, имеют особое значение, т. к. они в 1,25 раза токсичнее, чем нитраты в продуктах питания. Нитраты легко усваиваются в организме человека, где они могут образовывать такие соединения, как нитриты, окислы азота, аммиак.

Об удобрениях следует сказать особо. В современном сельскохозяйственном производстве без них обойтись нельзя. Азот – это главный питательный элемент для растений, и для бедных азотом почв просто необходимо дополнительное внесение азотных удобрений. С давних пор в этом качестве использовались органические удобрения (навоз, птичий помет). Сейчас в больших количествах применяют минеральные удобрения (мочевину и др.). Избыточное применение азотсодержащих удобрений, особенно органических, приводит к накоплению нитратов в сельскохозяйственной продукции.

Способность к накоплению нитратов у разных растений существенно отличается. «Чемпионом» является шпинат. Много нитратов накапливают свекла, баклажаны, репа, укроп, немного меньше – капуста, салат, петрушка, морковь. Картофель, томаты, огурцы, горох умеренно аккумулируют эти соединения, а фрукты, ягоды и злаки – слабо. Из фруктов относительно «нитратными» зарекомендовали себя бананы и клубника.

Не только разные растения, но и отдельные части одного растения обладают различной способностью накапливать нитраты. В стебле укропа концентрация нитратов гораздо выше, чем в мелких веточках; в верхних листьях капустного

кочана – в два раза больше, чем во внутренних. Капустная кочерыжка, сердцевина моркови, кончики свеклы, редиски, поверхностные слои картофеля и огурцов – места наибольшего содержания нитратов. В молочных продуктах и рыбе нитратов совсем мало, в свежем мясе – только следы.

Содержание нитратов в овощной продукции контролируется службой Государственного санитарно-эпидемического надзора, которая руководствуется нормативами, утвержденными Минздравом (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – ПДК нитратов в растительных продуктах

Растительный продукт	Содержание нитратов, мг/кг
Картофель	150
Капуста белокочанная, кабачки	400
Морковь	200
Огурцы	150
Помидоры	100
Свекла	140
Лук репчатый (перо)	80 (400)
Арбузы, яблоки, груши, виноград	60
Листовые овощи (салат, петрушка, укроп, щавель)	1500
Перец сладкий	200
Редис	1500
Баклажаны	300
Вода	45

Для ранних овощей и фруктов, выращенных в защищенном грунте, нормативы увеличены вдвое.

Нитриты образуются из нитратов не только в почве и воде, но и в продуктах растениеводства в процессе их хранения и переработки – на поверхности поврежденных овощей, при их измельчении, при варке пищи в алюминиевой посуде. Например, при хранении свежего шпината в холодильнике в нем медленно уменьшается количество нитратов, но возрастает количество нитритов, достигая 3600 мг/кг сухой массы. Такой же процесс идет при хранении открытых банок консервированного пюре из шпината, особенно при комнатной температуре. Вот почему овощные соки и пюре следует готовить непосредственно перед употреблением.

Нитриты традиционно используют как консервант и стабилизатор розово-красного цвета в колбасных изделиях, копченостях, мясных консервах, поэтому содержание в них нитритов самое высокое, в отличие от свежих овощей и фруктов, в которых этих соединений почти нет (таблица 3.2). Небольшое количество нитритов обнаруживается в сыре, т. к. их добавляют в молоко для подавления газообразующей микрофлоры (во избежание вслучивания сыра).

Таким образом, опасность нитратов для здоровья определяется не только их концентрацией в воде и пище, но и условиями, способствующими их переходу в

нитриты. Поступление же нитритов оценить вообще очень сложно ввиду многообразия условий их образования.

Таблица 3.2 – Содержание нитритов в некоторых пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание нитритов, мг/кг
Овощи	0,2
Фрукты	0,0
Молоко	0,4
Сыры	1,2
Мука пшеничная (ржаная)	1,2 (0,8)
Рыба речная (морская)	2,1 (0,7)
Мясные консервы	10,0
Колбасы, копчёности	16,5

Серьезную угрозу для здоровья людей представляет группа нитрозоединений, которые могут содержаться в некоторых продуктах и образовываться из нитритов уже в организме человека. Среди этих веществ выделяют два класса соединений с различными свойствами – нитрозамиды и нитрозамины. Около 80 % исследованных нитрозаминов и все нитрозамиды оказались канцерогенами и мутагенами, а в опытах на животных доказано еще тератогенное и эмбриотокическое действие нитрозамидов. Причем нитрозамины приводят чаще всего к раку печени, пищевода, дыхательной системы, почек, а нитрозамиды – периферической и центральной нервной системы, органов пищеварительного тракта. Кроме того, эти вещества разрушают витамины А, В, нарушают функцию щитовидной железы.

Нитрозамины могут содержаться в сырой и копченой рыбе, копченых колбасах и других продуктах животного происхождения, соевом масле, вине, пиве и даже в питьевой воде. В определенных условиях они способны образовываться в продуктах, а также прямо в желудке человека из неканцерогенных предшественников – нитратов и нитритов. Нитриты в кислой среде желудка соединяются с вторичными и третичными аминами (продуктами неполного расщепления белков), в результате чего образуется группа нитрозаминов. Нитритов, как указывалось ранее, мы получаем с пищей не так уж много, но в условиях пониженной кислотности желудочного сока под воздействием нитрифицирующих бактерий из нитратов образуются нитриты.

Активным ингибитором процессов нитрозообразования является аскорбиновая кислота. Источником вторичных аминов, кроме белковых продуктов (мясо, рыба, творог и др.), являются овощи, фруктовые соки. В среднем за один прием пищи человек получает до 100 мг вторичных аминов.

Нитрозоединения могут образовываться из нитритов и при длительном хранении, а также в процессе приготовления пищи: жарении, варке, копчении, солении. Это вполне понятно: при приготовлении мясных блюд происходит распад некоторой части белков с образованием аминокислот и аминов, а дальше –

цепочка: нитриты + амины = нитрозамины. Особенно активно процесс нитрозирования идет при копчении.

Повышенному образованию нитрозаминов в организме человека при соответствующей диете (овощные консервы, копчености и т. п.) способствует курение, а также употребление ряда лекарств – анальгина, тетрациклина, теофедрина, анаприлина и некоторых других.

Каждый человек должен, по возможности, ограничивать количество поступающих в организм нитрозаминов, нитратов и нитритов. Прежде всего следует выбирать овощи и фрукты с содержанием нитратов в пределах допустимых норм. В тех случаях, когда нет полной уверенности в качестве продуктов, можно использовать приемы, позволяющие уменьшить содержание в них нитратов, – отваривание, квашение, засолку, консервирование. Так, в консервированных огурцах уже на вторые сутки содержание нитратов снижается до 21,6 % от исходного уровня, а через неделю их нет совсем.

Очень важно хорошо промывать свежие молодые овощи и правильно их обрабатывать: снимать верхние листья и удалять кочерыжку капусты, срезать кончики редиса, свеклы, моркови и других корнеплодов.

Нельзя увлекаться копченостями, мясными консервами, шпротами, колбасами. Гораздо полезней блюда из свежего мяса или рыбы. Нужно обязательно использовать в питании продукты, богатые витаминами-антиоксидантами – А, С, Е, которые предотвращают образование нитрозаминов.

При кипячении воды нитраты из нее не удаляются.

На промышленном уровне внедряются новые технологии при производстве копченостей и консервов, применяются безнитритные добавки к колбасам, позволяющие сохранить их товарный вид, не ухудшая качества.

Таким образом, контроль химического состава природных вод и продуктов питания приобретает первостепенное значение.

3.2 Практическая часть

Для измерения нитратов в воде и продуктах питания используются лабораторные иономеры И-160.1МП, настроенные, согласно руководству по эксплуатации, на измерение концентрации нитратов в миллиграммах на килограмм. Прибор состоит из преобразователя и штатива. Для проведения измерений используют измерительный электрод ЗМ-НОЗ-07СР, электрод сравнения ЭВЛ-1М3.1 и термокомпенсатор автоматический ТКА-7.3.

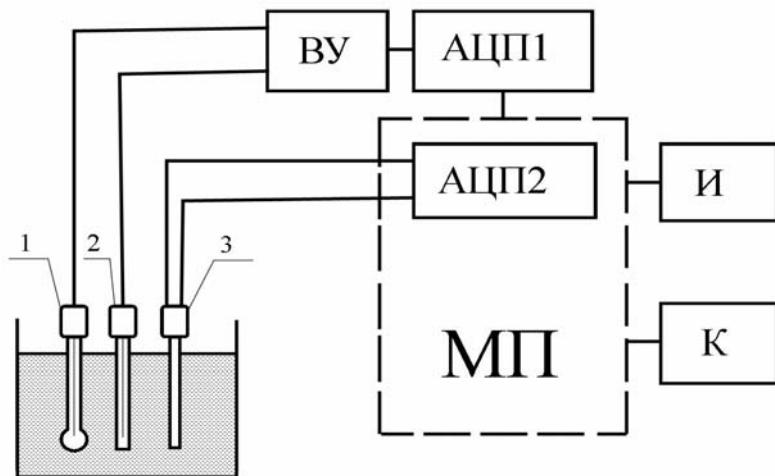
Принцип работы прибора. В основу работы прибора положен потенциометрический метод измерения pH (pH) и Eh контролируемого раствора.

Структурная схема прибора приведена на рисунке 3.1.

Электродная система при погружении в контролируемый раствор развивает ЭДС, линейно зависящую от активности ионов NO_3^- и температуры раствора.

Электролитический контакт вспомогательного электрода с контролируемым раствором осуществляется с помощью электролитического ключа, обеспечивающего истечение насыщенного раствора хлористого калия KCl из полости электрода в анализируемый раствор. Раствор KCl, непрерывно просачиваясь через электролитический ключ, предотвращает проникновение из анализируемого

раствора в систему вспомогательного электрода посторонних ионов, которые могли бы изменить величину потенциала электрода.



1 – электрод измерительный; 2 – электрод сравнения (вспомогательный электрод); 3 – термокомпенсатор; ВУ – входной усилитель высокомомный; АЦП1 – аналого-цифровой преобразователь; МП – микропроцессор со встроенным аналого-цифровым преобразователем АЦП2; И – индикатор (цифровое табло); К – клавиатура

Рисунок 3.1 – Структурная схема прибора

Для измерения ЭДС используется электродная система, которая состоит из измерительного электрода (внутри находится раствор 0,1 моль KCl и 0,1 моль KNO₃) и электрода сравнения (внутри насыщенный раствор KCl). Электродная система при погружении в контролируемый раствор развивает ЭДС E , в общем случае линейно зависящую от pX . Электрод сравнения обеспечивает стабильный электрический контакт электродной системы с общим проводом измерительного входа нитратомера.

ЭДС электродной системы усиливается, затем преобразуется в АЦП1 в цифровой сигнал, подается в микропроцессор. Сигнал от термокомпенсатора подается в АЦП2, преобразуется в цифровой и подается в микропроцессор. В микропроцессоре по заложенной в него формуле происходит расчет содержания нитратов в растворе и выводится на цифровое табло прибора.

В преобразователе предусмотрено преобразование измеряемой величины из единиц активности ионов в единицы концентрации. Преобразователь обеспечивает индикацию показаний в режиме Cx с точностью $\pm 5\%$ от значения pX , выводимого на дисплей. Измеряя ЭДС E (условное обозначение измеряемой величины на индикаторе – mV) электродной системы, можно определить активность ионов NO₃⁻ (условное обозначение измеряемой величины на индикаторе – pX) и их массовую концентрацию (условное обозначение измеряемой величины на индикаторе – pg/kg, mg/kg, g/kg).

Проведение измерений. Подготовка прибора к работе проводится в соответствии с инструкцией.

Перед погружением в анализируемую среду при перемещении из раствора

более высокой концентрации в менее концентрированный раствор (с более высоким значением pX) электродная система должна промываться дистиллиированной водой.

При измерениях необходимо учитывать, что время установления потенциала измерительного электрода и инерционность термокомпенсатора ТКА-7.3 обычно не превышают 3 мин с момента погружения в анализируемую среду.

Порядок проведения измерений:

- измерительный электрод ЗМ-НОЗ-07СР закрепить в штативе и подключить к гнезду ИЗМ;
- электрод сравнения ЭВЛ-1М3 закрепить в штативе, вынуть резиновую пробку в боковой стенке электрода и электрод подключить к гнезду подключения вспомогательного электрода ВСП 3;
- автоматический термокомпенсатор закрепить в штативе и подключить к входу ТКА;
- иономер включить в сеть и прогреть в течение 15 мин;
- промыть электрод дистиллиированной водой и удалить остатки воды фильтровальной бумагой;
- погрузить электроды и термокомпенсатор в измеряемый раствор;
- нажать клавишу СЕТЬ. На дисплее отражается концентрация раствора.

Подготовка проб продуктов питания к работе.

1 На 20 г свежеразмолотых плодов или овощей наливают 100 мл 1-процентного раствора алюмокалиевых квасцов. Анализ проводят в стаканчиках на 150 мл, взбалтывают 3...5 мин.

2 В стакан с анализируемой средой помещают электроды прибора.

3 Результаты измерений оформить в виде таблицы 3.3, сделать вывод.

4 В промежутках между измерениями измерительный электрод хранить в растворе для вымачивания, т. е. в растворе KNO_3 с концентрацией 0,1 моль/кг H_2O . Вспомогательный электрод можно хранить в сухом виде с закрытой пробкой либо в насыщенном растворе KCl .

Таблица 3.3 – Результаты измерения

Наименование продукта	Измеренное содержание нитратов, мг/кг	Допустимое содержание нитратов, мг/кг	Заключение

Контрольные вопросы

- 1 Воздействие нитратов и нитритов на организм человека.
- 2 Воздействие нитрозаминов и нитрозамидов на организм человека.
- 3 Методы снижения содержания нитратов.
- 4 Назначение и принцип работы иономера.
- 5 Порядок работы с иономером для измерения нитратов.

4 Лабораторная работа № 4. Имитационная игра «Река»

Цель работы: научиться выбирать оптимальные параметры функционирования природно-хозяйственной системы, сочетающие получение прибыли от ведения хозяйственной деятельности и соблюдения нормативов качества окружающей среды.

4.1 Теоретическая часть

Программа «Малая река» моделирует функционирование природно-хозяйственной системы. Цель программы – получение максимальной прибыли от функционирования предприятия, фермы и выращивания сельскохозяйственной продукции. Итоговая прибыль представляет собой разницу между полученными доходами от осуществления хозяйственной деятельности и затратами на природоохранные мероприятия, а также ущерба, величина которого определяется уровнем загрязнения воды в реке. Таким образом, основная задача – получение максимальной прибыли без загрязнения реки.

Для запуска программы найдите на рабочем столе компьютера иконку «River». Для входа в игру необходимо нажать клавишу «Пробел».

«Esc» – выход в операционную систему.

После окончания 5 лет игрового времени программа дает оценку деятельности обучаемого.

4.2 Практическая часть

Выберите оптимальные параметры функционирования природно-хозяйственной системы. Рассмотрите несколько стратегий функционирования системы.

Результаты оформите в виде таблицы 4.1, сделайте вывод.

Таблица 4.1 – Результаты функционирования природно-хозяйственной системы

Показатель	1-й год	2-й год	3-й год	4-й год	5-й год	Сумма
Прибыль						
Экономический ущерб						
Оценка действий обучаемого						

Контрольные вопросы

- 1 От каких параметров зависит загрязнение воды в реке?
- 2 Какие виды очистки сточных вод Вы знаете? Какие из них являются наиболее эффективными?
- 3 Какие виды вспашки применяются? Какое влияние вид вспашки оказывает на уровень загрязнения воды в реке?

5 Лабораторная работа № 5. 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.

5.1 Теоретическая часть

5.1.1 Расчет энергетических аспектов сбраживания биомассы.

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

$$Q_B = 0,01 \cdot b \cdot \sum n_i \cdot m_i \cdot (100 - W_i), \quad (5.1)$$

где b – усредненный выход биогаза для жидкого свиного навоза, м³/кг; для практической 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 5.1;

W_i – влажность сырья от одной головы животных i -й половозрастной группы животных, %; определяется по таблице 5.1.

Таблица 5.1 – 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
Поросыта	0,7	86,0
Свиньи на откорме	5,0	87,0

Тепловая мощность Q_K , кВт, биогазового комплекса

$$Q_K = \frac{Q_B \cdot Q_B^H \cdot \eta_y \cdot 1,163}{24 \cdot 10^5}, \quad (5.2)$$

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

$$Q = \frac{0,97 \cdot Q_K \cdot T_{\vartheta} - (Q_B \cdot K_{CH} \cdot T_B) / 24}{1163}, \quad (5.3)$$

где Q_K – тепловая мощность биогазового комплекса, кВт;

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

Q_B – суточный объем производимого биогаза, м³/сут;

K_{CH} – удельное потребление тепловой энергии на собственные нужды биогазового комплекса, кВт ч/м³; принимается равным 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

$$N = 0,86 \cdot 10^{-3} \cdot Q_K \cdot Q_B \cdot \frac{T_{\vartheta}}{T_B}, \quad (5.4)$$

где Q_K , Q_B , T_{ϑ} и T_B – то же, что и в формуле (5.3).

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

$$G_G = \frac{7 \cdot (b_B \cdot Q + b_{\vartheta} \cdot N / 1000)}{Q_G^H}, \quad (5.5)$$

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_{ϑ} – 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

$$\Pi_G = G_G \cdot C_G, \quad (5.6)$$

где C_G – стоимость природного газа, тыс. р./год; для предварительных расчетов принимается равной 488,89 р. за тыс. м³ газа.

5.1.2 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

$$\Delta U_{yp}^i = 0,001 \cdot U^i \cdot S^i \cdot \Delta u^i, \quad (5.7)$$

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 5.2.

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

$$\Pi_{yp} = \sum \Delta U_{yp}^i \cdot C_K^i, \quad (5.8)$$

где ΔU_{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.

Таблица 5.2 – Увеличение урожайности сельскохозяйственных культур при внесении сброженных стоков

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

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, рассчитывается по формуле

$$G_{уд} = \frac{v_i \cdot k_c \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c)}{100 \cdot (1 - 0,01 \cdot W_t)}, \quad (5.9)$$

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

k_c – доля сброшенной биомассы, поступающей на разделение, %;

W_c – влажность свежей биомассы, поступающей на сбраживание, %,

$$W_c = \frac{\sum m_i \cdot n_i \cdot W_i}{V_{cym}}; \quad (5.10)$$

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

$$V_{cym} = \sum m_i \cdot n_i ; \quad (5.11)$$

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 5.1;

W_i – влажность сырья от одной головы животных i -й половозрастной группы животных, %; определяется по таблице 5.1.

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

$$\Pi_{уд} = \frac{G_{уд} \cdot C_{уд} \cdot T}{24000}, \quad (5.12)$$

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 Π_X , р./год, за счет сокращения объемов вносимых пестицидов и гербицидов

$$\Pi_X = C_X^i \cdot \sum \frac{\Delta x^i}{100} \cdot S_i, \quad (5.13)$$

где C_X^i – 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 5.3;

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

Таблица 5.3 – Уменьшение объемов используемых препаратов после внесения сброшенных стоков

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

5.1.3 Расчет экологических аспектов сбраживания биомассы.

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

$$\Delta G_{\text{ПГ}} = \frac{Q_K}{500} \cdot 10500. \quad (5.14)$$

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

$$\Pi_{\text{ПГ}} = \Delta G_{\text{ПГ}} \cdot C_{\text{ПГ}}, \quad (5.15)$$

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, рассчитывается по формуле

$$\Pi_o = \frac{\Delta C_H \cdot T \cdot V_{\text{cym}}}{24000}, \quad (5.16)$$

где ΔC_H – 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_{cym} – объем i -го сырья, поступающего на переработку, кг/сут.

5.1.4 Экономическая эффективность внедрения биогазовой установки.

Критерием экономической эффективности биогазовой установки является соотношение

$$\Pi_{\Gamma} + \Pi_{\text{ПГ}} + \Pi_{\text{УД}} + \Pi_{\text{УР}} + \Pi_X + \Pi_o > E_H \cdot K + I, \quad (5.17)$$

где E_H – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений, $E_H = 0,12$;

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

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

Итоговый экономический эффект от внедрения биогазовой установки

$$\mathcal{E} = \sum \Pi_i - (E_H \cdot K + I), \quad (5.18)$$

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

5.2 Практическая часть

Задача. Рассчитать энергетические, агротехнические и экологические эффекты от внедрения биогазовой установки по переработке отходов животноводческого комплекса. Определить, есть ли экономическая эффективность от внедрения биогазовой установки на животноводческом комплексе. Исходные данные к задаче представлены в таблице 5.4.

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 5.4 – Исходные данные к задаче

Вариант	Количество особей полновозрастных групп животных n_i , шт.				Первоначальная урожайность, ц/га			Площадь сельскохозяйственных угодий, га				
	Хряки	Свиноматки	Поросыня	Свиньи на откорме	k_C , %	η_V , %	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

6 Лабораторная работа № 6. Расчет эффективности типичных энергосберегающих мероприятий в производственных организациях

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

6.1 Теоретическая часть

6.1.1 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}_{PN} , кВт·ч/год, и механической \mathcal{E}_{MEX} , кВт·ч/год, систем транспортировки отдельно по группам оборудования по формуле

$$\mathcal{E}_{PN} = N_y \cdot K_u \cdot T_c, \quad (6.1)$$

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.

$$\mathcal{E}_{MEX} = N_y \cdot K_u \cdot T_c, \quad (6.2)$$

где N_y , K_u , T_c – то же, что и в формуле (6.1).

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

$$\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_{PN} - \mathcal{E}_{MEX}. \quad (6.3)$$

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:

$$\Delta B = \Delta\mathcal{E} \cdot (1 + 0,01 \cdot k_{nom}) \cdot b_s \cdot 10^{-6}, \quad (6.4)$$

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_{nom} – 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

$$K = 1,45 \cdot C_{ob}, \quad (6.5)$$

где C_{ob} – стоимость оборудования, р.

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

$$T_{OK} = \frac{K}{\Delta B \cdot C_{myt}}, \quad (6.6)$$

где K – капиталовложения в мероприятие, р.;

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

C_{myt} – стоимость 1 т у. т., которая составляет на 2018 г. 220 долл. США/т, или 440 р./т.

6.1.2 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}_u , кВт·ч/год, рассчитывается по формуле (6.1).

Годовой расход электроэнергии \mathcal{E}_l , кВт·ч/год, при обеспечении потребности производства в сжатом воздухе посредством установки локальных (винтовых) компрессоров определяется по формуле

$$\mathcal{E}_u = n \cdot N_{y1} \cdot K_{u1} \cdot T_{c1}, \quad (6.7)$$

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 %:

$$\mathcal{E}_{mp} = 0,12 \cdot \mathcal{E}_u. \quad (6.8)$$

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

$$\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_u + \mathcal{E}_{mp} - \mathcal{E}_u. \quad (6.9)$$

Экономия топлива от децентрализации компрессорного хозяйства рассчитывается по формуле (6.4).

Размер укрупненных капиталовложений производится по формуле (6.5).

Срок окупаемости мероприятия определяется по формуле (6.6).

6.1.3 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 удалаемого воздуха к наружному приточному воздуху.

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

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

$$\Delta Q = 0,24 \cdot \varepsilon_{tot} \cdot (t_{cp,I} - t_{cp,ext}) \cdot c \cdot L_{cp,ext} \cdot z \cdot 10^{-6}, \quad (6.10)$$

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

$$\Delta\mathcal{E} = \Delta P \cdot \frac{L_{cp,in}}{3600 \cdot \eta_{v.y.}} \cdot 10^{-3} \cdot z, \quad (6.11)$$

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;

$\eta_{v.y.}$ – КПД вентиляционной установки с приводом.

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

$$\Delta B = \Delta Q \cdot b_{m_3} - \Delta\mathcal{E} \cdot b_3 \cdot (1 + 0,01 \cdot k_{nom}), \quad (6.12)$$

где b_{m_3} – удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплосточнике, г у. т./Гкал;

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

Размер укрупненных капиталовложений производится по формуле (6.5).

Срок окупаемости мероприятия определяется по формуле (6.6).

6.1.4 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_3 , г у. т./(кВт·ч), на производство электрической энергии

$$b_3 = \frac{123}{\eta_3} \cdot 100, \quad (6.13)$$

где η_3 – коэффициент полезного действия когенерационной установки по конденсационному циклу, %.

Часовой расход условного топлива B_3 , кг у. т./ч, на производство электроэнергии по конденсационному циклу

$$B_3 = \frac{b_3 \cdot N_{ycm}}{1000}, \quad (6.14)$$

где b_3 – удельный расход топлива на производство электроэнергии по конденсационному циклу, г у. т./(кВ·ч);

N_{ycm} – 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_{m3} , кг у. т./ч, на отпуск тепловой энергии:

$$B_{m3} = b_{m3} \cdot Q_{ycm}, \quad (6.15)$$

где Q_{ycm} – установленная тепловая мощность принятой за аналог когенерационной установки, Гкал.

Годовой расход условного топлива на выработку электроэнергии B_{33} , кг у. т., на выбранной когенерационной установке по комбинированному циклу

$$B_{33} = (B_3 - B_{m3}) \cdot T_{ycm}. \quad (6.16)$$

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

$$\mathcal{E}_{выр} = N_{ycm} \cdot T_{ycm}, \quad (6.17)$$

где N_{ycm} – установленная мощность когенерационной установки, кВт;

T_{ycm} – число часов использования установленной мощности, ч.

Количество электроэнергии $\mathcal{E}_{омн}^{KГУ}$, кВт·ч, отпущенное когенерационной установкой

$$\mathcal{E}_{омн}^{KГУ} = \mathcal{E}_{выр} \cdot (1 - \alpha_{ch}^{33}), \quad (6.18)$$

где α_{ch}^{ee} – коэффициент потребления электроэнергии на собственные нужды когенерационной установки (на пусковые устройства и другое электрическое оборудование), %.

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

$$\mathcal{E}_{omn}^{ee} = \mathcal{E}_{omn}^{KGY} \cdot \left(1 + \frac{\Delta \mathcal{E}_{nom}}{100} \right), \quad (6.19)$$

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

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

Экономия топлива ΔB^{KGY} , т у. т., при применении выбранной когенерационной установки

$$\Delta B^{KGY} = (\mathcal{E}_{omn}^{ee} \cdot b_{ee}^{cp} - B_{ee}) \cdot 10^{-3}, \quad (6.20)$$

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

b_{ee}^{cp} – 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_{ee} – годовой расход топлива на выработку электроэнергии выбранной когенерационной установкой, кг у. т.

Размер укрупненных капиталовложений производится по формуле (6.5).

Срок окупаемости мероприятия определяется по формуле (6.6).

6.2 Практическая часть

Задача 1. Рассчитать экономию электроэнергии и срок окупаемости замены пневмотранспорта на механическую систему транспортировки на предприятии. Исходные данные к задаче приведены в таблице 6.1.

Задача 2. Рассчитать экономию электроэнергии и срок окупаемости от децентрализации компрессорного хозяйства. Исходные данные к задаче представлены в таблице 6.2.

Задача 3. Рассчитать экономию теплоэнергии и топлива, срок окупаемости от внедрения теплоутилизаторов в системах механической приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха на предприятии. Исходные данные к задаче приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.1 – 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 6.2 – 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 6.3 – Исходные данные к задаче 3

Вариант	ε_{tot}	$t_{cp,l}$, °C	$t_{cp,ext}$, °C	$L_{cp,ext}$, м ³ /ч	z , ч	ΔP , Па	b_{m3} , г у. т./Гкал	$\eta_{\theta,y}$	$L_{cp,in}$, м ³ /ч	$C_{об}$, 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. Рассчитать экономию электроэнергии и срок окупаемости от внедрения когенерационной установки. Исходные данные к задаче представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Исходные данные к задаче 4

Вариант	η_{θ} , %	$N_{уст}$, кВт	$Q_{уст}$, Гкал	b_{m3} , м ³ /ч	$T_{уст}$, ч	α_{CH}^{33} , %	$\Delta\vartheta_{ном}$, %	$C_{об}$, 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?

7 Лабораторная работа № 7. Оценка эффективности использования вторичных энергоресурсов

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

7.1 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 связанный 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

$$q_q^T = m_q \cdot \Delta h = m_q \cdot c \cdot (t_1 - t_2), \quad (7.1)$$

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

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

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

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

Для горючих ВЭР

$$q_q^T = m_q \cdot Q_H, \quad (7.2)$$

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

$$q_q^H = m_q \cdot L = m_q \cdot \frac{R}{k-1} \cdot (T_1 - T_2), \quad (7.3)$$

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 либо по объему продукции:

$$Q_T(W_T) = q_q \cdot M, \quad (7.4)$$

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

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

либо по времени работы установки:

$$Q_T(W_T) = 3600 \cdot q_q \cdot T, \quad (7.5)$$

где q_q (q_q^T, q_q^G, 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

$$Q_{\phi} = Q_T \cdot \beta \cdot (1 - \xi) \cdot \sigma \cdot 10^{-6}, \quad (7.6)$$

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

$$Q_{\phi} = Q_T \cdot \sigma \cdot 10^{-6}, \quad (7.7)$$

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

$$W_{\phi} = W_T \cdot \eta_M \cdot \eta_{\vartheta} \cdot \eta_O, \quad (7.8)$$

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 умещаемого топлива ΔB , т. у. т., при использовании горючих ВЭР непосредственно для сжигания рассчитывается как

$$\Delta B = 0,0342 \cdot Q_{\phi} \cdot \frac{\eta_y}{\eta_{зам}}, \quad (7.9)$$

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 раздельной схемы энергоснабжения предприятия определяется как

$$\Delta B = Q_{\phi} \cdot \frac{0,0342}{\eta_{зам}}, \quad (7.10)$$

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 топлива рассчитывается как

$$\Delta B = \frac{0,123}{\eta_{зам}} \cdot W_{\phi} \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-9} \cdot b_{\phi} \cdot W_{\phi}, \quad (7.11)$$

где b_3 – 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.

7.2 Практическая часть

Задача 1. Предприятие использует топливные ресурсы в размере M , т/год, которые при переработке дают выход m_u , м³/кг, горючих газов с низшей теплотой сгорания Q_H , МДж/м³. Определить выработку тепловой энергии и годовую экономию топлива от использования горючих ВЭР. Исходные данные к задаче приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Исходные данные к задаче 1

Вариант	M , т/год	m_u , м ³ /кг	Q_H , МДж/м ³	η_v	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. Определить 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 7.2.

Задача 3. Определить возможную выработку электроэнергии и экономию ТЭР в утилизационной турбине за счет избыточного давления. Исходные данные к задаче приведены в таблице 7.3.

Задача 4. Определить 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 7.4.

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

Таблица 7.2 – Исходные данные к задаче 2

Вариант	$Q_h, \text{ МДж/кг}$	$T, \text{ ч}$	$m_u, \text{ г/с}$	η_v	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 7.3 – Исходные данные к задаче 3

Вариант	$M, \text{ ед. прод.}$	$m_u, \text{ м}^3/\text{ед. прод.}$	$L, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$	η_m	η_e	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. Определить 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 7.5. Удельную теплоемкость воды принять $c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Таблица 7.4 – Исходные данные к задаче 4

Вариант	$m_u, \text{ кг/с}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$T, \text{ ч}$	$b_\vartheta, \text{ г у. т.}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$	η_M	η_ϑ	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 7.5 – Исходные данные к задаче 5

Вариант	$m_u, \text{ кг/с}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$T, \text{ ч}$	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?

8 Лабораторная работа № 8. 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.

8.1 Теоретическая часть

8.1.1 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

$$\Delta Q = F_{CT} \cdot (t_{вн} - t_n) \cdot \left(\frac{1}{R_{T\text{факт}}} - \frac{1}{R_{T\text{дост}}} \right) \cdot T_{OT} \cdot 24 \cdot n \cdot 0,86 \cdot 10^{-6}, \quad (8.1)$$

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

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

$R_{T\text{факт}}, R_{T\text{дост}}$ – фактическое и достигнутое термосопротивления ограждающих конструкций здания до выполнения и после выполнения мероприятия, м²·°С/Вт;

T_{OT} – 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

$$R_T = \frac{d}{l}, \quad (8.2)$$

где d – толщина материала ограждающих конструкций, м;

l – коэффициент теплопроводности материала ограждающих конструкций и материала теплоизоляции.

Примечание – $R_{T \text{ дост}}$ 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

$$\Delta\mathcal{E} = \varrho_{ch} \cdot \Delta Q, \quad (8.3)$$

где ϱ_{ch} – 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

$$\Delta B_{\mathcal{E}} = \Delta\mathcal{E} \cdot (1 + 0,01 \cdot k_{nom}^{\mathcal{E}}) \cdot b_{\mathcal{E}} \cdot 10^{-6}, \quad (8.4)$$

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

$k_{nom}^{\mathcal{E}}$ – 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 $\Delta B_{T\mathcal{E}}$, т. у. т., от снижения потребления тепловой энергии

$$\Delta B_{T\mathcal{E}} = \Delta Q \cdot (1 + 0,01 \cdot k_{nom}) \cdot b_{T\mathcal{E}} \cdot 10^{-3}, \quad (8.5)$$

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

$b_{T\mathcal{E}}$ – 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_{nom} – коэффициент потерь в существующих тепловых сетях.

Суммарная экономия топлива

$$\Delta B = \Delta B_{\mathcal{E}} + \Delta B_{T\mathcal{E}}. \quad (8.6)$$

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

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

$$E^{te} = 4,187 \cdot \Delta B, \quad (8.7)$$

где ΔB – экономия тепловой энергии, определяется по формуле (8.6).

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

$$M_{\text{CO}_2} = E^{te} \cdot K_{\text{CO}_2}, \quad (8.8)$$

где E^{te} – потребление (расход) топлива в общих энергетический 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

$$M_{\text{CH}_4} = 10^{-3} \cdot E^{te} \cdot q_{\text{CH}_4}, \quad (8.9)$$

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

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

Выбросы закиси азота $M_{\text{N}_2\text{O}}$, т/год, определяются следующим образом:

$$M_{\text{N}_2\text{O}} = 10^{-3} \cdot E^{te} \cdot q_{\text{N}_2\text{O}}, \quad (8.10)$$

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

$q_{\text{N}_2\text{O}}$ – удельный выброс закиси азота, кг/ГДж; принимается равным 0,0006.

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

$$P_{\text{GHG}}^{\text{PT}} = M_{\text{CO}_2} + 21 \cdot M_{\text{CH}_4} + 310 \cdot M_{\text{N}_2\text{O}}, \quad (8.11)$$

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

M_{CH_4} – выбросы метана, т/год;

$M_{\text{N}_2\text{O}}$ – выбросы закиси азота, т/год.

8.1.2 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 воздухопроницания и уменьшения расхода тепловой энергии на нагревание наружного воздуха, поступающего путем инфильтрации через щели оконных проемов;

– увеличения срока службы и отсутствия эксплуатационных затрат (оклейка, покраска).

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

$$Q_{OT} = \frac{F_o}{R_T} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot T_{OT} \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (8.12)$$

где F_o – площадь оконных проемов, м²;

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

$t_{\text{вн}}, t_{\text{н}}$ – расчетные температуры воздуха внутри помещения и наружного воздуха, °C;

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,

$$Q_{зам} = \frac{F_o}{R_{docm}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot T_{OT} \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (8.13)$$

где R_{docm} – сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций оконных проемов, м²·°C·ч/ккал.

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

$$\Delta Q = Q_{om} - Q_{зам}, \quad (8.14)$$

где Q_{om} – 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 (8.5).

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

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

$$E^{te} = 4,187 \cdot \Delta B_{TЭ}, \quad (8.15)$$

где $\Delta B_{T\Theta}$ – экономия тепловой энергии, определяется по формуле (8.5).

Далее расчеты производятся по формулам (8.8)–(8.11).

8.2 Практическая часть

Задача. Рассчитать снижение выбросов парниковых газов в результате проведения термореновации ограждающих конструкций жилого здания и замены оконных рам. Исходные данные к задаче приведены в таблицах 8.1 и 8.2.

Таблица 8.1 – Исходные данные для расчетов

Вариант	Параметры здания			Процент остекления	Параметры стен		Параметры утепления		$R_m, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$R_{\text{дост}}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
	Длина $L, \text{м}$	Высота $H, \text{м}$	Ширина $B, \text{м}$		$l_1, \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	$d_1, \text{см}$	$l_2, \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	$d_2, \text{см}$		
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 8.2 – Исходные данные для расчетов

Вариант	$T_{om}, \text{сут}$	$t_{bh}, {}^\circ\text{C}$	$t_h, {}^\circ\text{C}$	$t_{cp\,o}, {}^\circ\text{C}$	$t_p, {}^\circ\text{C}$	n	$\mathcal{E}_{ch}, \text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{Гкал}$	$k_{nom}, \%$	$q_o, \text{ккал}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$	$Q_{\text{зв}}, \text{ккал}/\text{ч}$
1	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

Окончание таблицы 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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
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 термореновации зданий?
- 3 За счет чего достигается экономический эффект от внедрения оконных блоков из ПВХ?

Список литературы

- 1 Инструкция о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух : постановление М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь, 23 июня 2009 г., № 42. – Мин., 2019. – URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=W21934641> (дата обращения: 20.05.2020).
- 2 Инструкция о порядке установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух : постановление М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь, 23 июня 2009 г., № 43. – Мин., 2019. – URL: https://etalonline.by/document/?regnum=W20921380#load_text_none_5_1 (дата обращения: 26.05.2020).
- 3 Основы экологии: курс лекций / А. В. Щур, А. Ю. Скриган, Т. Н. Агеева [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2014. – 142 с.: ил.
- 4 Челноков, А. А. Общая и прикладная экология : учеб. пособие / А. А. Челноков, К. Ф. Саевич, Л. Ф. Ющенко ; под общ. ред. К. Ф. Саевича. – Мин. : Выш. шк., 2014. – 654 с.: ил.
- 5 Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий // Департамент по энергоэффективности Гос. комитета по стандартизации Респ. Беларусь. – Мин., 2020. – 144 с. – URL: http://energoeffekt.gov.by/programs/forming/20201118_terem (дата обращения: 18.11.2020).
- 6 Энергосбережение : учеб. пособие / А. В. Щур, Н. В. Бышов, Н. Н. Казаченок [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т ; Рязань : Рязан. гос. ун-т им. П. А. Костычева, 2020. – 261 с.: ил.