



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра жилищно-коммунального комплекса

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ СБОРА И УТИЛИЗАЦИИ ТКО

Методические указания
к практическим занятиям и выполнению курсовой работы (проекта)
для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Составитель А.В. Остякова

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2020

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2020

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 66.02
ББК 20.1
Р17

Рецензент — кандидат технических наук *С.Д. Сокова*,
доцент кафедры кафедры жилищно-коммунального комплекса НИУ МГСУ

Р17 **Разработка проекта управления системой сбора и утилизации ТКО** [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям и выполнению курсовой работы (проекта) для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / сост. А.В. Остякова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра жилищно-коммунального комплекса. — Электрон. дан. и прогр. (1,2 Мб). — Москва : Издательство МИСИ — МГСУ, 2020. — Режим доступа: <http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r91/cgiirbis64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS>. — Загл. с титул. экрана.

В методических указаниях рассмотрены принципы эффективной системы сбора, транспортировки, переработки и утилизации отходов производства и потребления, даны методические рекомендации к курсовому проектированию, практическим занятиям и самостоятельной работе.

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Техническая эксплуатация объектов жилищно-коммунального хозяйства и городской инфраструктуры».

Учебное электронное издание

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2020

Редактор, корректор *Л.М. Волкова*
Компьютерная верстка *С.А. Глембовецкого*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2007, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 24.12.2019 г. Объем данных 1,2 Мб.

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
129337, Москва, Ярославское ш., 26

Издательство МИСИ – МГСУ
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95,
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

Оглавление

1. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	5
1.1. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. Расчет нормативов образования твердых отходов (на примере работы предприятия)	5
1.2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. Определение класса опасности промышленных отходов.	10
1.3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. Оценка вариантов переработки отходов	13
1.4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. Расчет вместимости полигонов	15
1.5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух с полигонов	17
1.6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. Расчет поверхности осаждения отстойника твердых частиц в гравитационном поле	25
2. Курсовой проект на тему «Организация сбора и транспортирования ТКО на территории микрорайона»	27
2.1. Цель и задачи курсового проекта	27
2.2. Содержание, объем и оформление курсового проекта	27
2.3. Описание курсового проекта	27
2.4. Вопросы для подготовки к защите курсового проекта	28
Библиографический список	29

1. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

На практических занятиях студенты совместно с преподавателем решают задачи. Задания выдает преподаватель после изучения студентами соответствующих тем.

1.1. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Расчет нормативов образования твердых отходов (на примере работы предприятия)

1. Исходные данные.

Проектируемое предприятие включает основной цех, сборочный цех, подсобно-вспомогательные производства. Годовая производительность планируемого предприятия 130 тыс. т. Режим работы предприятия — 250 рабочих дня в году, в три смены по восемь часов. Планируемое количество рабочего персонала на предприятии 29 человек.

При работе предприятия образуются следующие виды отходов.

1. При периодическом и плановом обслуживании станков в ремонтно-механической мастерской и замене масла в станках образуется:

- отработанное индустриальное масло;
- промасленная ветошь;
- стружка черных металлов.

2. При работе на заточных станках в ремонтной мастерской образуются такие виды отходов, как:

- лом абразивных изделий;
- пыль абразивно-металлическая.

3. При зачистке резервуаров с топливом (топливо используется для процесса сушки) образуется нефтешлам.

4. Кроме перечисленных отходов, на предприятии образуются следующие отходы потребления:

- отработанные ртутные лампы;
- стеклобой оконный и от ламп накаливания;
- бытовые отходы;
- смет с территории;
- текстильные отходы.

Отходов переработки не образуется. Образующаяся при сушке пыль улавливается циклонами и возвращается на предприятие.

2. Расчет нормативов образования отходов.

1. Расчет образования отработанных ртутных ламп.

Ртутные лампы применяются для освещения помещений и территории предприятия. Для освещения помещений и цехов предприятия установлены ртутные лампы типа ДРЛ-250 34 шт. Режим работы предприятия 250 дней в году в три смены по восемь часов. Для освещения территории используются лампы типа ДРЛ-400 в количестве пяти штук. Режим работы этих ламп в среднем 12 часов в сутки 365 дней в году.

Для ламп ДРЛ-250 (освещение помещений): максимальный период эксплуатации ламп этого типа $T_r = 12\ 000$ ч/год. Продолжительность работы ламп этого типа на проектируемом предприятии составляет: $t = 3$ смены $\cdot 8$ ч $\cdot 250$ дн. = 6000 ч/год. Количество ламп, которое потребуется для освещения помещений, составит: $O_{\text{помещений}} = 34$ шт. $\cdot 6000/12\ 000 = 17$ шт./год. Масса одной ртутной лампы ДРЛ-250 составляет 400 г, или 0,4 кг, тогда масса образующихся отходов от этих ламп составляет:

$$M_{\text{отх}} = 0,4 \text{ кг} \cdot 17 \text{ шт.} = 6,8 \text{ кг} = 0,0068 \text{ т/год.}$$

Для ламп ДРЛ-400 (освещение территории): максимальный период эксплуатации ламп этого типа $T_r = 15\ 000$ ч/год. Продолжительность работы ламп этого типа на проектируемом предприятии составляет: $t = 12$ час. $\cdot 365$ дн. = 4380 ч/год. Количество ламп, которое потребуется для освещения территории, составит:

$$O_{\text{территории}} = 5 \text{ шт.} \cdot 43\ 800/15\ 000 = 1,46 \text{ шт./год, или } 2 \text{ шт./год.}$$

Масса одной ртутной лампы ДРЛ-400 составляет 400 г, или 0,4 кг, тогда масса образующихся отходов от этих ламп составляет:

$$M_{\text{отх}} = 0,4 \text{ кг} \cdot 2 \text{ шт.} = 0,8 \text{ кг} = 0,0008 \text{ т/год.}$$

Общее количество образующихся отходов в год составляет: 19 ламп, или 0,0076 т/год.

2. Расчет образования стеклобоя.

Стеклобой от ламп накаливания.

На предприятии для освещения также используются лампы накаливания в количестве 25 штук. Замена ламп накаливания производится в среднем два раза в год. Ежегодно замене подлежат 50 шт. ламп накаливания мощностью 200 Вт. Масса одной лампы оставляет 90 г.

Общая масса стеклобоя от ламп накаливания составляет:

$$Q_{\text{ст.ламп}} = 90 \text{ г} \cdot 50 \text{ шт.} = 4500 \text{ г} = 4,5 \text{ кг, или } 0,0045 \text{ т/год.}$$

Стеклобой при замене стекол.

При замене разбитых стекол в цехах и помещениях предприятия образуются отходы стеклобоя. Ежегодно для замены разбитых стекол планируется расходовать три листа оконного стекла размером 70×70 см. Толщина одного листа составляет 3 мм. Удельный вес оконного стекла равен 10 г/см³.

Масса одного стекла составит:

$$Q_{\text{ст.окон.}} = 10 \text{ г/см}^3 \cdot (70 \cdot 70 \cdot 0,3) \text{ см}^3 = 14\,700 \text{ г} = 14,7 \text{ кг.}$$

Общая масса стеклобоя от замены стекол в год будет равна:

$$Q_{\text{ст.окон.}} = 14,7 \text{ кг} \cdot 3 \text{ листа} = 44,1 \text{ кг/год} = 0,0441 \text{ т/год.}$$

Суммарное количество образовавшегося стеклобоя составит:

$$Q_{\text{стеклобоя}} = 0,0045 + 0,0441 = 0,0485 \text{ т/год}$$

3. Расчет образования бытовых отходов.

Количество бытовых отходов, образующихся в результате жизнедеятельности работников предприятия, рассчитывают по формуле:

$$M = N \cdot t, \text{ м}^3/\text{год},$$

где N — количество людей, ежедневно одновременно работающих на предприятия, чел.;

t — удельная норма образования бытовых отходов на одного работающего человека в год, м³/год.

Количество работников предприятия 29 человек. Норматив образования бытовых отходов 0,3 м³ на человека в год. Плотность бытовых отходов данного вида составляет $\rho = 0,22 \text{ т/м}^3$.

$$M = 0,3 \text{ м}^3/\text{чел. год} \cdot 29 \text{ чел.} = 8,7 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$M = 8,7 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 0,22 \text{ т/м}^3 = 1,914 \text{ т/год.}$$

4. Расчет образования смета с территории.

Заасфальтированная площадь на предприятии составляет 7000 м². Однако уборке подлежит только 10% асфальтированной территории (дороги и подъезды к зданиям). Остальная заасфальтированная площадь занята под прирельсовый открытый склад сырья и промежуточный открытый склад сырья. Согласно СНиП, норматив образования смета с 1 м² территории составляет 5 кг/м². Расчет нормативного объема образования смета за год рассчитывают по формуле:

$$Q = S \cdot H, \text{ т/год},$$

где S — площадь территории, м²;

H — норматив образования смета с 1 м² в год, кг.

$$Q_{\text{территории}} = 700 \text{ м}^2 \cdot 5 \text{ кг/м}^2 = 3500 \text{ кг} = 3,5 \text{ т/год.}$$

5. Расчет образования отработанного индустриального масла.

Отработанные индустриальные масла образуются при обслуживании станков, находящихся в ремонтной мастерской, при замене масел, сливаемых из картеров металлообрабатывающих станков. В ремонтной мастерской имеются следующие станки, в которых заменяется масло:

- фрезерный станок, объем масляного картера (V_1) 30 л;
- консольно-фрезерный станок, объем масляного картера (V_2) 5 л;
- токарный станок — 2 шт., объем каждого масляного картера (V_3) 8 л;
- вертикально-сверлильный станок, объем масляного картера (V_4) 10 л.

Количество отработанного индустриального масла, сливаемого из станка, определяется по формуле:

$$M_i = N_i \cdot V_i \cdot n_i \cdot k_c \cdot \rho \cdot 10^{-3}, \text{ т/год},$$

где N_i — количество единиц i -го типа, шт.;

V_i — объем масляного картера единицы оборудования i -го типа, л;

n_i — количество замен масла в год на оборудовании i -го типа, раз в год;

k_c — коэффициент сбора отработанного масла ($k_c = 0,9$);

ρ — плотность отработанного масла, кг/л ($\rho = 0,9$);

10^{-3} — переводной коэффициент.

Замена масла в станках производится один раз в год.

$$\begin{aligned} M_{\text{фрезерн}} &= 1 \text{ шт.} \cdot 30 \text{ л} \cdot 1 \text{ раз/год} \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} = 0,0243 \text{ т/год}; \\ M_{\text{кон.-фр}} &= 1 \text{ шт.} \cdot 5 \text{ л} \cdot 1 \text{ раз/год} \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} = 0,00405 \text{ т/год}; \\ M_{\text{токар}} &= 2 \text{ шт.} \cdot 8 \text{ л} \cdot 1 \text{ раз/год} \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} = 0,01296 \text{ т/год}; \\ M_{\text{верт.-свер}} &= 1 \text{ шт.} \cdot 10 \text{ л} \cdot 1 \text{ раз/год} \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} = 0,0081 \text{ т/год}. \\ \sum M_i &= 0,0243 + 0,00405 + 0,01296 + 0,0081 = 0,04914 \text{ т/год}. \end{aligned}$$

6. Расчет образования стружки черных металлов.

Стружка черных металлов образуется при работе станков в слесарной мастерской. В мастерской производится ремонт металлического оборудования и рассверловка отверстий в металлических деталях. Обрезков и кусков металла при работе на станках не образуется. Расчет количества образования стружки черных металлов производится по формуле:

$$M = Q \cdot k_{\text{стр}}/100, \text{ т/год},$$

где Q — количество металла, поступающего на обработку, т/год (2,4 т черного металла);

$k_{\text{стр}}$ — норматив образования металлической стружки, % ($k_{\text{стр}} = 5\%$).

$$M = 24 \text{ т} \cdot 5 / 100 = 0,12 \text{ т/год}.$$

7. Расчет образования ветоши промасленной.

Промасленная ветошь образуется при обслуживании и замене масла в станках. Для обслуживания станков и замены масла в станках на предприятии в год используется около 70 кг сухой ветоши. Расчет образования промасленной ветоши производится по формуле:

$$M_{\text{ветоши}} = P / (1 - K),$$

где $M_{\text{ветоши}}$ — количество образующейся промасленной ветоши, т/год;

P — вес используемой сухой ветоши, т/год ($P = 70 \text{ кг} = 0,07 \text{ т/год}$);

K — содержание масла в промасленной ветоши, в долях от 1 ($K = 0,05$).

Количество образующейся промасленной ветоши составит:

$$M_{\text{ветоши}} = 0,07 / (1 - 0,05) = 0,0737 \text{ т/год}.$$

8. Расчет образования текстильных отходов.

Текстильные отходы образуются при списании изношенной спецодежды. В год списывается примерно: ватники — 5 шт. весом 2 кг каждый; комбинезоны тканевые — 29 шт. весом 0,8 кг каждый. Расчет образования отходов осуществляют по формуле:

$$M_{\text{тр}} = N_1 n_1 + N_2 n_2 = 5 \text{ шт.} \cdot 2 \text{ кг} + 29 \text{ шт.} \cdot 0,8 \text{ кг} = 33,2 \text{ кг} = 0,0332 \text{ т/год}.$$

9. Расчет образования абразивно-металлической пыли.

Для обработки материалов и заточки инструмента используется заточный станок на два круга. В год используется два абразивных круга (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Подразделение	Параметры кругов, мм	Вес круга, кг	Количество заменяемых кругов, шт./год
Мастерская (станок на два круга)	Заточной, диаметр 180	1,0	2

Количество абразивно-металлической пыли, образующейся при работе станка, определяется по формуле:

$$M_{\text{пыли}} = n_i \cdot m_i \cdot k_1/k_2 \cdot \eta \cdot 10^{-3}, \text{ т/год},$$

где n_i — количество кругов i -го вида, израсходованных за год, шт./год;

m_i — масса нового шлифовального круга i -го вида, кг;

k_1 — коэффициент износа кругов до их замены ($k_1 = 0,7$);

k_2 — доля абразива в абразивно-металлической пыли (для корундовых абразивных кругов $k_2 = 0,35$);

η — степень очистки в пылеулавливающем аппарате, доли от 1 (при отсутствии ПГУ $\eta = 0,8$).

$$M_{\text{пыли}} = 2 \text{ шт.} \cdot 1 \text{ кг} \cdot 0,70/0,35 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,0032 \text{ т/год}.$$

10. Расчет образования лома абразивных изделий.

Количество лома абразивных изделий определяется по формуле:

$$M_{\text{лома}} = n_i \cdot m_i \cdot (1 - k_1) \cdot 10^{-3},$$

где n_i — количество абразивных кругов i -го вида, израсходованных за год, шт./год;

m_i — масса нового абразивного круга i -го вида, кг;

k_1 — коэффициент износа кругов до их замены ($k_1 = 0,7$).

Для заточных кругов диаметра 180 мм: $n_i = 2$ шт.; $m_i = 1$ кг; $k_1 = 0,7$. Количество лома, которое образуется на предприятии, составит:

$$M_{\text{лома}} = 2 \cdot 1 \text{ кг} \cdot (1 - 0,7) \cdot 10^{-3} = 0,0006 \text{ т/год}.$$

11. Расчет образования нефтешлама от зачистки резервуаров хранения топлива.

Для резервуаров с дизельным топливом (нефтепродукт II группы) количество образующегося нефтешлама складывается из нефтепродуктов, налипших на стенках резервуаров, и осадка.

$$M_{\text{нефтешлама}} = M_{\text{н/ш стенки}} + M_{\text{н/ш осадка}}$$

Масса налипшего на внутренние стенки резервуара нефтепродукта рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{н/ш стенки}} = K_n S \cdot 10^{-3}, \text{ т/год},$$

где K_n — коэффициент налипания нефтепродукта на вертикальную металлическую поверхность, кг/м² (для нефтепродуктов II группы $K_n = 2$ кг/м²);

S — площадь поверхности налипания, м².

Площадь поверхности налипания для резервуаров со сферическими днищами рассчитывается по формуле:

$$S = 2\pi rL + 2\pi(r^2 + h^2) = 2\pi(r + L + r^2 + h^2), \text{ м}^2,$$

где r — радиус цилиндрической части резервуара, м ($r = 1,4$ м);

L — длина цилиндрической части резервуара, м ($L = 4,15$ м);

h — высота сферического сегмента резервуара, м ($h = 2,8$ м).

$$S = 2 \cdot 3,14 \cdot (1,4 \cdot 4,15 + 1,42 + 2,82) = 98 \text{ м}^2$$

$$M_{\text{н/ш стенки}} = 2 \text{ кг/м}^2 \cdot 98 \cdot 10^{-3} = 0,196 \text{ т/год}.$$

Масса осадка в цилиндрическом горизонтальном резервуаре определяется по формуле:

$$M_{\text{н/ш осадка}} = \frac{1}{2} [br - a(r - h)] \cdot \rho L, \text{ т,}$$

где b — длина дуги окружности, ограничивающей осадок снизу, м,

$$b = \sqrt{a^2 + \frac{16h^2}{3}} = 0,73 \text{ м,}$$

где r — внутренний радиус резервуара, м ($r = 1,34$ м);

a — длина хорды, ограничивающей поверхность осадка сверху, м;

$$a = 2\sqrt{hr - h^2} = 0,724 \text{ м,}$$

где h — высота осадка, м ($h = 0,05$ м);

ρ — плотность осадка, равная 1 т/м^3 ;

L — длина резервуара, м ($L = 4,15$ м).

$$M_{\text{н/ш осадка}} = \frac{1}{2} [0,73 \cdot 1,34 - 0,724(1,34 - 0,05)] = 0,092 \text{ т/год}$$

$$M_{\text{нефтешлама}} = M_{\text{н/ш стенки}} + M_{\text{н/ш осадка}} = 0,196 + 0,092 = 0,288 \text{ т/год.}$$

Для резервуаров с бензином (нефтепродукт I группы) в расчете допустимо пренебречь количеством нефтепродуктов, налипших на стенках резервуара. Масса осадка в цилиндрическом горизонтальном резервуаре определяется по формуле:

$$M_{\text{н/ш осадка}} = 0,5[br - a(r - h)] \cdot \rho L, \text{ т,}$$

где b — длина дуги окружности, ограничивающей осадок снизу, м,

$$b = \sqrt{a^2 + \frac{16h^2}{3}} = 0,65 \text{ м,}$$

где r — внутренний радиус резервуара, м ($r = 1,08$ м);

a — длина хорды, ограничивающей поверхность осадка сверху, м;

$$a = 2\sqrt{hr - h^2} = 0,64 \text{ м,}$$

h — высота осадка, м ($h = 0,05$ м);

ρ — плотность осадка, равная 1 т/м^3 ;

L — длина резервуара, м ($L = 2,84$ м).

$$M_{\text{н/ш осадка}} = \frac{1}{2} [0,65 \cdot 1,08 - 0,64 \cdot (1,08 - 0,05)] = 0,061 \text{ т/год}$$

$$M_{\text{нефтешлама}} = M_{\text{н/ш осадка}} = 0,061 \text{ т/год.}$$

В год зачищается один резервуар с дизельным топливом и резервуар с бензином. Общее количество зачищаемого в год нефтешлама равно:

$$M_{\text{общ}} = 0,288 + 0,061 = 0,349 \text{ т/год.}$$

Заключение

При работе предприятия образуются отходы потребления (отработанные ртутные лампы, стеклотбой, текстиль, бытовые отходы, смет с территории) и отходы производства (нефтешлам при зачистке резервуаров, отработанное промышленное масло, стружка черных металлов, ветошь промасленная, пыль абразивно-металлическая, лом абразивных изделий). Классы опасности образующихся отходов и нормативы их образования приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Наименование отходов	Класс опасности	Единицы измерения	Норматив образования отхода
Отработанные ртутные лампы	I	т (шт.)	0,0076 (19)
Нефтешлам при зачистке резервуаров	II	т	0,349
Отработанное промышленное масло	III	т	0,04914
Стеклобой	IV	т	0,0486
Бытовые отходы	IV	т (м ³)	1,914 (8,7)
Смет с территории	IV	т	3,5
Стружка черных металлов	IV	т	0,12
Ветошь промасленная	IV	т	0,0737
Текстильные отходы	IV	т	0,0332
Пыль абразивно-металлическая	IV	т	0,0032
Лом абразивных изделий	IV	т	0,0006
Суммарный годовой объем отходов			6,09904

1.2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Определение класса опасности промышленных отходов

Экологическая опасность отхода — качество, которое представляет собой совокупность опасных свойств, находящихся в функциональном единстве и способных оказывать отрицательное воздействие на окружающую среду и человека.

Опасные отходы — отходы, содержащие в своем составе вещества, которые обладают одним из опасных свойств (таким как токсичность, инфекционность, взрывчатость, пожароопасность, высокая реакционная способность) и присутствуют в таком количестве и в таком виде, что представляют непосредственную или потенциальную опасность для здоровья людей или окружающей среды как самостоятельно, так и при вступлении в контакт с другими веществами. Определение класса опасности промышленных отходов осуществляется на основании расчета индекса опасности.

Индекс опасности отходов — интегральный показатель, характеризующий опасность отхода при его воздействии на окружающую среду и человека. Индекс опасности отхода определяется расчетным методом с использованием гигиенических характеристик и токсикометрических параметров веществ с учетом взаимозаменяемости некоторых из них. Оценка класса опасности отхода сложного состава производится по соединениям, определяющим уровень токсичности отхода.

Класс опасности отхода — характеристика относительной экологической опасности отхода, выраженная в виде числа, которому соответствует определенное значение индекса опасности отхода. Установленный класс опасности отхода определяет требования к выбору тары, способам хранения, транспортировки отходов и к объектам размещения отходов. В зависимости от класса опасности устанавливается норматив платы за размещение отходов.

1. Определение класса опасности промышленных отходов на основе предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почве.

Расчет индекса опасности K_i ведут по формуле:

$$K_i = \frac{\text{ПДК}_i}{(S + C_B)_i}, \quad (1.1)$$

где ПДК_i — предельно допустимая концентрация токсичного химического вещества, содержащегося в отходе, в почве, мг/кг;

S — коэффициент, отражающий растворимость его в воде, безразмерный и равный растворимости данного химического вещества в граммах на 100 г воды при 25 °С, деленной на 100. Значение величины S находится в интервале от 0 до 1. При растворимости больше 100 г в 100 г воды коэффициент принимается равным 1;

C_B — содержание данного компонента в общей массе отхода, массовая доля;

i — порядковый номер данного компонента.

Величину K_i округляют до первого знака после запятой.

Если опасность отхода определяется по катиону или аниону токсичного компонента отхода, используется растворимость компонента отхода в пересчете на катион (анион).

2. Определение класса опасности при отсутствии ПДК в почве.

Расчет индекса опасности K_i ведут для каждого компонента отхода по формуле (2), используя величину ЛД₅₀ для данного компонента. ЛД₅₀ — средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг. При наличии в справочнике нескольких значений ЛД₅₀ для расчета принимают минимальное значение.

$$K_i = \frac{\lg(\text{ЛД}_{50})_i}{S + 0,1F + C_B}, \quad (1.2)$$

где F — безразмерный коэффициент летучести данного компонента, равный отношению давления насыщенного пара индивидуального компонента в мм рт. ст. при температуре 25 °С к 760 мм рт. ст.

Значение величины F находится в интервале от 0 до 1. Летучесть определяют только для веществ, имеющих температуру кипения при 760 мм рт. ст. не выше 80 °С. Остальные обозначения те же, что в формуле (1.1).

3. Определение класса опасности при отсутствии ПДК химических веществ в почве и ЛД₅₀.

При отсутствии ПДК в почве и ЛД₅₀ для некоторых компонентов отходов, но при наличии величин классов опасности в воздухе рабочей зоны в уравнение (1.2) подставляют условные величины ЛД₅₀, ориентировочно определяемые по показателю класса опасности в воздухе рабочей зоны с помощью вспомогательной табл. 1.5.

4. Определение суммарного индекса опасности.

Рассчитав K_i для отдельных компонентов отхода, выбирают несколько (не более трех) ведущих компонентов отхода, имеющих наименьшее значение K_i , причем $K_1 < K_2 < K_3$. Затем по формуле (1.3) ведут расчет индекса опасности отхода K_Σ :

- по трем ведущим компонентам при условии $2K_1 \geq K_3$;
- по двум ведущим компонентам при условии $2K_1 \geq K_2$, но $2K_1 < K_3$;

$$K_i = \frac{\lg(\text{ЛД}_{50})_i}{S + 0,1F + C_B}, \quad (1.3)$$

где n — количество ведущих компонентов отхода ($n \leq 3$).

После расчета K_Σ определяют класс опасности отхода по табл. 1.3 при расчете на основе ПДК в почве (п. 1.1) или по табл. 1.4 при расчете на основе ЛД₅₀ (п. 1.2 и 1.3).

Таблица 1.3

Классификация опасности химических веществ на основе их ПДК в почве

Расчетная величина K_Σ по ПДК в почве	Класс опасности	Степень опасности
Менее 2	1	Чрезвычайно опасные
От 2 до 16	2	Высокоопасные
От 16,1 до 30	3	Умеренно опасные
Выше 30	4	Малоопасные

Таблица 1.4

Классификация опасности химических веществ по ЛД₅₀

Расчетная величина K_Σ по ПДК в почве	Класс опасности	Степень опасности
Менее 1,3	1	Чрезвычайно опасные
От 1,3 до 3,3	2	Высокоопасные
От 3,4 до 10	3	Умеренно опасные
Более 10	4	Малоопасные

Классы опасности в воздухе рабочей зоны и соответствующие им условные величины ЛД₅₀

Класс опасности в воздухе рабочей зоны	Эквивалент ЛД ₅₀ , мг/кг
1	15
2	150
3	5000
4	Более 5000

Пример 1. Рассчитать класс опасности отхода на основе ПДК в почве (вариант 1), на основе ЛД₅₀ (вариант 2) и исходя из класса опасности вещества в воздухе рабочей зоны (вариант 3). Справочные данные о ведущих компонентах отходов и их содержании в отходах приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Содержание ведущих компонентов и справочные данные для расчета класса опасности отходов

№ варианта	Ведущий компонент отхода	Содержание компонента в отходе, %	ПДК в почве, мг/кг	Растворимость в воде, г в 100 г	Температура кипения, °С	Летальная доза ЛД ₅₀ , мг/кг	Класс опасности в воздухе рабочей зоны
1	Хлорофос	5	0,5	12,3	–	57	2
	Метафос	5	0,1	0,006	–	13	1
	Карбофос	5	2,0	0	–	190	2
2	Бария хлорид	5	–	36,2	2050	100	2
	Натрия тетраборат Na ₂ B ₄ O ₇ × 10H ₂ O	35	–	21,2	320	2000	2
3	Нитробензол	25	–	0,19	210	–	2
	Трихлорбензол	40	–	0	213	–	2

Вариант 1

1.1. Рассчитываем индексы опасности ведущих компонентов отходов по формуле (1.1):

$$K_1 = K_{\text{метафоса}} = \frac{0,1}{6 \cdot 10^{-5} + 0,05} = 2$$

$$K_2 = K_{\text{хлорофоса}} = \frac{0,5}{0,123 + 0,05} = 2,9$$

$$K_3 = K_{\text{карбофоса}} = \frac{2}{0 + 0,05} = 40$$

$$K_i \text{ метафоса} < K_i \text{ хлорофоса} < K_i \text{ карбофоса}$$

Показатель летучести F принят равным нулю, так как температура кипения выше 80 °С.

1.2. Находим суммарный индекс опасности по двум ведущим компонентам, так как $2K_1 > K_2$, а $2K_1 < K_3$.

$$K_{\Sigma} = \frac{2 + 2,9}{2^2} = 1,2$$

Вывод: согласно табл. 1.3, отход, содержащий по 5% хлорофоса, метафоса и карбофоса, относится к первому классу опасности.

Вариант 2

2.1. Рассчитываем индексы опасности ведущих компонентов отходов по формуле (1.2):

$$K_i (\text{BaCl}_2) = \frac{\lg 100}{0,362 + 0 + 0,05} = 4,9$$

Показатель летучести F принят равным нулю, так как температура кипения выше 80 °С.

2.2. Находим суммарный индекс опасности по двум ведущим компонентам, так как $2K_1 > K_2$:

$$K_{\Sigma} = \frac{4,9 + 4,8}{2^2} = 3,5$$

Вывод: согласно табл. 1.4, отход, содержащий по 5% хлорида бария и 35% тетрабората натрия, относится к третьему классу опасности.

Вариант 3

3.1. Рассчитываем индексы опасности ведущих компонентов отходов по формуле (1.2):

$$K_{\text{нитробензола}} = \frac{\lg 150}{0,002 + 0 + 0,25} = 8,6$$

$$K_{\text{трихлорбензола}} = \frac{\lg 150}{0 + 0 + 0,4} = 5,4$$

Показатель летучести F принят равным нулю, так как температура кипения выше 80°C .

3.2. Находим суммарный индекс опасности по двум ведущим компонентам, так как $2K_1 > K_2$.

$$K_{\Sigma} = \frac{5,4 + 8,6}{2^2} = 3,5$$

Вывод: согласно табл. 1.4, отход, содержащий 25% нитробензола и 40% трихлорбензола, относится к третьему классу опасности.

1.3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Оценка вариантов переработки отходов

Утилизация твердых отходов позволяет расширить номенклатуру сырьевых ресурсов и уменьшить загрязнение окружающей среды. Для выбора наиболее приемлемого способа переработки необходимо провести экономическую оценку нескольких вариантов. Интегральная экономическая оценка варианта переработки отходов должна учитывать расходы и ущерб от процесса переработки, снижение расходов и ущерб от получения и использования аналогичного природного сырья, расходы и ущерб от складирования или захоронения остатков переработки. При оценке должны учитываться и косвенные элементы изменения расходов. Так, сбор и переработка лома алюминиевых и медных сплавов наряду с экономией природного сырья обеспечивает улучшение качества стали.

Рассмотрим два варианта переработки титановой стружки.

Вариант 1: сортировка по видам, сортировка по крупности, электромагнитная сепарация, дробление в молотковой дробилке, обезжиривание, сушка.

Вариант 2: сортировка по видам, измельчение в щековой дробилке, сортировка по крупности, магнитная сепарация, обезжиривание, сушка.

Основное оборудование: автопогрузчик 4022 (сбор отходов), стилоскоп «Спектр» СЛ-12, конвейер пластинчатый КП-55 (сортировка), грохот инерционный ГИТ-32 (сортировка), электромагнитный железотделитель П-100 (сепарация), молотковая или щековая дробилка, моечная машина (обезжиривание), центрифуга (сушка).

Варианты переработки различаются только операцией дробления. Использование молотковой дробилки позволяет почти полностью извлечь железные примеси и уменьшить размер получаемых частиц до 1,0...1,5 мм. Щековые дробилки дают размер частиц 40 мм.

Коэффициент изменения физического состояния стружки по вариантам:

$$\text{КИО}_1 = \frac{75}{1,5} = 50, \quad \text{КИО}_2 = \frac{210}{40} = 5,25,$$

где 75 и 210 — размер частиц по вариантам до переработки, мм;

1,5 и 40 — размер частиц по вариантам после переработки, мм.

Производительность молотковой дробилки 0,15 т/ч, а щековой — 360 т/ч.

Экономичность процессов характеризуется количеством перерабатываемой стружки на единицу затрат:

$$\Theta_1 = \frac{550}{7800} = 0,07 \text{ т/руб.}, \Theta_2 = \frac{10000}{5200} = 1,92 \text{ т/руб.}$$

где 550 и 10000 — годовой объем перерабатываемой стружки по вариантам, т;
7800 и 5200 — текущие затраты на переработку стружки по вариантам, руб./т.

Коэффициент отчуждения территории для размещения оборудования:

$$\text{КОТ}_1 = \frac{0,25}{550} = 0,0005 \text{ м}^2/\text{т}, \text{КОТ}_2 = \frac{1,663}{10000} = 0,0001 \text{ м}^2/\text{т}$$

где 0,25 и 1,663 — площади под оборудованием по вариантам, м².

Экологический ущерб от загрязнения окружающей среды связан с выбросами смачивателя ОП-7, используемого для очистки поверхности стружки. Общая масса годового сброса по первому варианту 69 т/год, по второму — 1250 т/год.

Экологический ущерб составит:

$$Y_1 = 2217,5 \cdot 0,47 \cdot 3,33 \cdot 69 = 239,472 \text{ (тыс. руб./год), или } 435 \text{ руб./т;} \\ Y_2 = 2217,5 \cdot 0,47 \cdot 3,33 \cdot 1250 = 4338,261 \text{ (тыс. руб./год), или } 434 \text{ руб./т.}$$

где 2217,5 — удельный экологический ущерб от загрязнения водоемов, руб./усл. т;
0,47 — коэффициент, учитывающий месторасположение водоема;
3,33 — показатель относительной опасности сброса в водоем смачивателя, усл. т/т.

Существует несколько вариантов использования титановых отходов:

- как добавки при выплавке стали;
- в производстве титансодержащих шлаков;
- при хлорировании в солевых расплавах;
- в выплавке серийных сплавов;
- в фасонном литье;
- при рафинировании (электролитическое и металлургическое);
- в порошковой металлургии.

Выбор варианта использования отходов определяется видом и ценой полученного продукта. Отходы, перерабатываемые по первому варианту, используются в черной металлургии, а по второму — при выплавке серийных титановых сплавов. Коэффициент технологической ценности по вариантам равен:

$$\text{КТЦ}_1 = \frac{7800 + 435}{85000} = 0,09, \text{КТЦ}_2 = \frac{1620000 + 434}{1950000} = 0,83$$

где 7800 и 1 620 000 — затраты на производство продукции из отходов, руб./т;
85 000 и 1 950 000 — затраты на производство продукции из первичного сырья, руб./т.

Оценочные показатели вариантов (табл. 1.7) позволяют сделать вывод о целесообразности использования первого варианта.

Таблица 1.7

Оценочные показатели вариантов переработки отходов

Наименование показателей	Варианты	
	первый	второй
Коэффициент изменения физического состояния, мм/мм	49	4,25
Производительность процесса, т/ч	0,15	3,0
Экономичность процесса, т/руб.	0,07	1,92
Коэффициент отчуждения территории, м ² /т	0,0005	0,0001
Годовой экологический ущерб от загрязнения окружающей среды, тыс. руб.	239,472	4338,261
Коэффициент технологической ценности, руб./руб.	0,09	0,83

1.4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

Расчет вместимости полигонов

Проектируемую вместимость полигона рассчитывают с учетом удельной обобщенной годовой нормы накопления ТКО на одного жителя, которая включает накопление ТКО в учреждениях и организациях, число обслуживаемого полигоном населения, расчетный срок эксплуатации, степень уплотнения ТКО в процессе их укладки в тело полигона и после его закрытия.

Исходные данные. Расчетный срок эксплуатации полигона $T = 20$ лет. Годовая удельная норма накопления ТКО с учетом жилых зданий и непромышленных объектов на год проектирования $Y_1 = 1,1 \text{ м}^3/\text{чел.} \cdot \text{год}$. Количество обслуживаемого населения на год проектирования $H_1 = 250$ тыс. чел., прогнозируется через 20 лет с учетом близко расположенных населенных пунктов $H_2 = 350$ тыс. чел. Высота складирования ТКО, предварительно согласованная с архитектурно-планировочным управлением, $H_n = 40$ м.

1. Расчет проектируемой вместимости полигона ТКО.

Вместимость полигона E_T на расчетный срок определяется по формуле:

$$E_T = \frac{(Y_1 + Y_2)}{2} \cdot \frac{(H_1 + H_2)}{2} \cdot T \cdot \frac{K_2}{K_1} = (Y_1 + Y_2)(H_1 + H_2) \cdot TK_2 / 4K_1,$$

где Y_1 и Y_2 — удельные годовые нормы накопления ТКО по объему на первый и последний годы эксплуатации полигона, $\text{м}^3/\text{чел.} \cdot \text{год}$;

H_1 и H_2 — количество обслуживаемого полигоном населения на первый и последний годы эксплуатации полигона, чел.;

T — расчетный срок эксплуатации полигона, год;

K_1 — коэффициент, учитывающий уплотнение ТКО в процессе эксплуатации полигона на весь срок T ;

K_2 — коэффициент, учитывающий объем наружных изолирующих слоев грунта (промежуточный и окончательный).

Определим значение параметров, отсутствующих в исходных данных. Удельная годовая норма накопления ТКО по объему на 20-й год эксплуатации определяется из условия ежегодного роста ее по объему на 3% (среднее значение по РФ 3–5%):

$$Y_2 = Y_1 \cdot 1,03^T = 1,1 \cdot 1,03^{20} = 1,1 \cdot 1,805 = 1,99 \text{ м}^3/\text{чел.} \cdot \text{год}.$$

Коэффициент K_1 , учитывающий уплотнение ТКО в процессе эксплуатации полигона за весь срок T , принимаем по табл. 1.8 с учетом применения для уплотнения бульдозера массой 14 т: $K_1 = 4$. Коэффициент K_2 , учитывающий объем изолирующих слоев грунта в зависимости от общей высоты, принимаем по табл. 1.9: $K_2 = 1,18$.

Таблица 1.8

Масса бульдозера или катка, т	Полная проектируемая высота полигона, м	K_1
3...6	20...30	3
12...14	Менее 20	3,7
12...14	20...40	4
20...22	50 и более	4,5

Примечание: значения K_1 приведены при соблюдении послойного уплотнения ТКО, оседания в течение не менее пяти лет и плотности ТКО в местах сбора $\rho = 200 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 1.9

Общая высота, м	5,25	7,5	9,75	12...15	16...39	40...50	Более 50
K_2	1,37	1,27	1,25	1,22	1,2	1,18	1,16

Примечание: при обеспечении работ по промежуточной и окончательной изоляции полностью за счет грунта, разрабатываемого в основании полигона, $K_2 = 1,2$. В табл. 1.9 слой промежуточной изоляции принят 0,25 м. При применении катков КМ-305 допускается слой промежуточной изоляции 0,15 м.

Проектируемая вместимость полигона E_T составит:

$$E_T = (1,1 + 1,99) \cdot (25 \cdot 10^4 + 35 \cdot 10^4) \cdot 20 \cdot 1,18 / 16 = 2734650 \text{ м}^3.$$

С учетом плотности ТКО после уплотнения вместимость полигона на расчетный срок его эксплуатации рассчитывается по формуле:

$$E_T = \frac{(Y_1 + Y_2)}{2\rho_{\text{ТКО}}} \cdot (H_1 + H_2) \cdot T \cdot \frac{K_2}{2K_1},$$

где Y_1, Y_2 — удельные годовые нормы накопления отходов в первый и последний годы эксплуатации полигона, т/чел;

H_1, H_2 — численность населения, обслуживаемого полигоном, на первый и последний годы эксплуатации, чел.;

T — расчетный срок эксплуатации полигона, годы;

K_1 — коэффициент уплотнения ТКО, равный отношению плотности ТКО после уплотнения ($\rho_{\text{ТКО}} = 0,6 \dots 0,8 \text{ т/м}^3$) к плотности ТКО, доставляемого мусоровозами на полигон ($\rho_{\text{ТКО}} = 0,2 \dots 0,3 \text{ т/м}^3$), зависит от массы грунтоуплотняющей машины и толщины изолирующего слоя $h_{\text{из}}$, выполняемого из минерального грунта (при $h_{\text{из}} = 0,25 \text{ м}$ и менее, $K_1 = 3 \dots 4,5$);

K_2 — коэффициент, учитывающий увеличение объема полигона за счет устройства наружных и внутренних изолирующих слоев;

K_2 зависит от изолирующего материала, в качестве которого используют минеральный грунт, забираемый из основания полигона, либо привозной. Так, для выполнения изолирующих работ с помощью минерального грунта, разрабатываемого в основании возводимого полигона, $K_2 = 1$, а привозного грунта — $K_2 = 1,16 \dots 1,37$, в зависимости от высоты или глубины полигона.

При расчете вместимости полигона необходимо учитывать демографические изменения численности населения в обслуживаемом районе за расчетный период:

$$H_2 = H_1 K_3, \quad (1.3)$$

где K_3 — коэффициент, учитывающий демографические изменения в обслуживаемом районе за счет рождаемости и миграции населения, $K_3 = 1 \dots 1,4$.

Таблица 1.10

Ориентировочные нормы накопления ТКО в жилом фонде

Классификация жилищного фонда	Нормы накопления ТКО на 1 человека		Средняя плотность ТКО, кг/м ³
	кг /год	м ³ /год	
Жилые дома			
Благоустроенные:			
– при отборе пищевых отходов;	180–200	0,9–1,0	190–200
– без отбора пищевых отходов	210–225	1,0–1,1	200–220
Неблагоустроенные:			
– без отбора пищевых отходов	350–450	1,2–1,5	300
Жидкие отходы из непроницаемых выгребов неканализованных домов	–	2,0–3,25	1000
Общая норма накопления ТКО по благоустроенным жилым и общественным зданиям для городов с населением более 100 тыс. чел.	260–280	1,4–1,5	190
То же с учетом всех арендаторов	280–300	1,5–1,55	200

**Ориентировочные нормы накопления ТКО
от отдельно стоящих объектов общественного назначения**

Объект образования отходов	Расчетная единица	Норма накопления		Плотность ТКО, кг/м ³
		кг /год	м ³ /год	
Гостиница	На одно место	120	0,7	170
Детский сад, ясли	На одно место	95	0,4	240
Школа, техникум, институт	На одного учащегося	24	0,12	200
Театр, кинотеатр	На одно место	30	0,2	150
Учреждение	На одного сотрудника	40	0,22	180
Продовольственный магазин	На 1 м ² торговой площади	160–250	0,8–1,5	160–190
Промтоварный магазин	На 1 м ² торговой площади	80–200	0,5–1,3	150–160
Рынок	На 1 м ² торговой площади	100–200	0,6–1,3	160–170
Санатории, пансионаты, дома отдыха	На одно место	250	1,0	250
Вокзалы, автовокзалы, аэропорты	На 1 м ² площади	125	0,5	250

Таблица 1.12

**Степень уплотнения ТКО при различных способах их прессования (уплотнения)
в зависимости от давления, создаваемого установками**

Способ прессования	Давление, МПа (кг/см ²)	Степень уплотнения, раз
При сборе		
Уплотнение сухих отходов в учреждениях или торговых предприятиях	0,1–0,2 (1–2)	3–6
При транспортировании		
Уплотнение в мусоровозе при сборе. Прессование при перегрузке в контейнеры	0,02–0,1 (0,2–1) 0,03–0,6 (0,3–0,6)	1,5–3
При переработке и захоронении		
Прессование на специальных прессах с последующим захоронением на полигонах. Послойное уплотнение отходов при захоронении на полигонах	5–30 (50–300) 0,1 (1)	8–10 3–4

1.5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух с полигонов

Расчет выбросов газообразных загрязняющих веществ в атмосферный воздух приводится для нормального режима эксплуатации полигона ТКО и ПО.

На количественную характеристику выбросов загрязняющих веществ с полигонов отходов влияет большое количество факторов, среди которых:

- климатические условия;
- рабочая (активная) площадь полигона;
- сроки эксплуатации полигона;
- количество захороненных отходов;
- мощность слоя складированных отходов;
- соотношение количества завезенных бытовых и промышленных отходов;
- морфологический состав завезенных отходов;
- влажность отходов;
- содержание органической составляющей в отходах;
- содержание жироподобных, углеводородных и белковых веществ в органике отходов;
- технология захоронения отходов.

Удельный выход биогаза за период его активной стабилизированной генерации при метановом брожении определяется по уравнению:

$$Q = 10^{-4} R(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б), \quad (1.4)$$

где Q — удельный выход биогаза за период его активной генерации, кг/кг отходов;

R — содержание органической составляющей в отходах, %;

$Ж$ — содержание жироподобных веществ в органической части отходов, %;

$У$ — содержание углеводоподобных веществ в органической части отходов;

$Б$ — содержание белковых веществ в органической части отходов, %;

$R, Ж, У$ и $Б$ определяются анализами отбираемых проб отходов.

Уравнение (1.4) составлено применительно к абсолютно сухому веществу отходов. В реальных условиях отходы содержат определенное количество влаги, которая сама по себе биогаз не генерирует. Следовательно, выход биогаза, отнесенный к единице веса реальных влажных отходов, будет меньше, чем отнесенный к той же единице абсолютно сухих отходов в $10^{-2}(100 - W)$ раз, так как в весовой единице влажных отходов содержание абсолютно сухих отходов, генерирующих биогаз, будет всего $10^{-2}(100 - W)$ от этой единицы. Здесь W — фактическая влажность отходов в %, определенная анализами проб отходов.

С учетом вышесказанного уравнение выхода биогаза при метановом брожении реальных влажных отходов принимает вид:

$$Q = 10^{-4} R(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б), \quad (1.5)$$

где сомножитель $10^{-2}(100 - W)$ учитывает, какова доля абсолютно сухих отходов, для которых составлено уравнение (1.4), в общем количестве реально влажных отходов.

Количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне отходов, определяется по формуле:

$$P_{уд} = \frac{Q_w}{t_{сбр}} \cdot 10^3 \text{ кг/т отходов в год}, \quad (1.6)$$

где $t_{сбр}$ — период полного сбраживания органической части отходов, в годах, определяемый по приближенной эмпирической формуле:

$$t_{сбр} = \frac{10248}{T_{тепл} \cdot t_{ср,тепл}^{0,301966}}, \quad (1.7)$$

где $t_{ср,тепл}$ — средняя из среднемесячных температура воздуха в районе полигона ТКО и ПО за теплый период года ($t_{ср,мес} > 0$), °С;

$T_{тепл}$ — продолжительность теплого периода года в районе полигона ТКО и ПО, в днях;

10 248 и 0,301966 — удельные коэффициенты, учитывающие биотермическое разложение органики.

Органические вещества, содержащиеся в отходах, обладают различной интенсивностью разложения. Так, резина, кожа, полимерные материалы и т.п. разлагаются микроорганизмами очень медленно, в то время как органические составляющие отходов, содержащие белковые вещества, крахмал, разлагаются очень быстро. Таким образом, можно считать, что органическая составляющая отходов состоит из «пассивного» (не генерирующего или очень медленно генерирующего) органического вещества и «активного» (генерирующего) органического вещества. Следовательно, от морфологического состава отходов зависит интенсивность образования и выделения биогаза и в зависимости от него и от климатических условий колеблется продолжительность периода стабилизированного активного выхода биогаза.

Плотность биогаза определяется по закону аддитивности как суммарная величина произведений объемных концентраций его компонентов на их плотности:

$$\rho_{\text{б.г.}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{\text{об.}i} \rho_i}{100}, \text{ кг/м}^3, \quad (1.8)$$

где $C_{\text{об.}i}$ — содержание i -го компонента в биогазе, объемные %;

ρ_i — плотность i -го компонента биогаза, кг/м^3 ;

n — количество компонентов в биогазе.

Примечание. Средняя плотность биогаза составляет обычно 0,95...0,98 плотности воздуха, т.е. при плотности воздуха $1,2928 \text{ кг/м}^3$ средняя плотность биогаза будет:

$$1,2928 \cdot 0,965 = 1,24755 \text{ кг/м}^3.$$

С другой стороны, связь плотностей компонентов, их концентраций в биогазе и объемного процентного содержания определяются формулой:

$$C_{\text{об.}i} = 10^{-4} \frac{C_i}{\rho_i}, \% \quad (1.9)$$

где C_i — концентрация i -го компонента в биогазе, мг/м^3 .

Формула для определения плотности биогаза выводится совместным решением уравнений (1.8) и (1.9):

$$\rho_{\text{б.г.}} = 10^{-6} \sum_{i=1}^n C_i, \text{ кг/м}^3 \quad (1.10)$$

В табл. 1.13 указаны плотности наиболее вероятных компонентов биогаза.

Таблица 1.13

Компоненты биогаза, образующегося в результате разложения отходов на полигоне ТКО и ПО

Наименование вещества	Плотность, кг/м^3
Метан	0,717
Углерода диоксид	1,977
Толуол	0,867
Аммиак	0,771
Ксилол	0,869
Углерода оксид	1,250
Азота диоксид	1,490
Формальдегид	0,815
Этилбензол	0,867
Ангидрид сернистый	2,930
Бензол	0,869
Сероводород	1,540
Фенол	1071

Состав биогаза и концентрации компонентов в нем определяются (через два года после начала эксплуатации) анализами проб биогаза, отобранных в ряде точек по площади полигона на глубине 1...1,5 м (количество и расположение точек отбора зависит от активной площади полигона и числа разнородных участков) путем отсоса биогаза и дальнейших его химических анализов по существующим утвержденным методикам. Используя полученные анализами концентрации компонентов

в биогазе и рассчитанную его плотность, определяется весовое процентное содержание этих компонентов в биогазе:

$$C_{\text{вес.}i} = 10^{-4} C_i / \rho_{\text{б.г.}}, \% \quad (1.11)$$

здесь C_i — концентрации компонентов в биогазе, мг/м³;
 $\rho_{\text{б.г.}}$ — плотность биогаза, кг/м³.

По рассчитанным количественному выходу биогаза за год, отнесенному к одной тонне отходов (формула 1.6), и весовым процентным содержаниям компонентов в биогазе (формула 1.5) определяются удельные массы компонентов, выбрасываемые в год, по формуле:

$$P_{\text{уд.}i} = (C_{\text{вес.}i} \cdot P_{\text{уд}}) / 100, \text{ кг/т отходов в год.} \quad (1.12)$$

При использовании расчетного метода инвентаризации выбросов действующего полигона и при проектировании нового или расширении существующего полигона ТКО может приниматься следующий среднестатистический состав биогаза (табл. 1.14).

Таблица 1.14

Состав биогаза, %

Компонент	$C_{\text{вес.}i}, \%$
Метан	52,915
Толуол	0,723
Аммиак	0,533
Ксилол	0,443
Углерода оксид	0,252
Азота диоксид	0,111
Формальдегид	0,096
Этилбензол	0,095
Ангидрид сернистый	0,070
Сероводород	0,026

Для расчета величин выбросов подсчитывается количество активных отходов, стабильно генерирующих биогаз, с учетом того что период стабилизированного активного выхода биогаза в среднем составляет двадцать лет и что фаза анаэробного стабильного разложения органической составляющей отходов наступает спустя в среднем два года после захоронения отходов, т.е. отходы, завезенные в последние два года, не входят в число активных.

При подсчете возможны два варианта.

Первый — полигон функционирует менее двадцати лет, т.е. менее периода полного сбраживания $t_{\text{сбр}}$. В этом случае учитываются все отходы, завезенные с начала работы полигона, за исключением отходов, завезенных в последние два года.

Второй — полигон функционирует более двадцати лет, т.е. более периода полного сбраживания. В этом случае подсчитываются отходы, завезенные за последние двадцать лет без учета отходов, завезенных в последние два года. Максимально разовые выбросы i -го компонента биогаза с полигона определяют по формуле:

$$M_i = 0,01 \cdot M_{\text{сум}} \cdot C_{\text{вес.}i}, \text{ г/с,} \quad (1.13)$$

где $M_{\text{сум}}$ — суммарный максимальный разовый выброс всех компонентов биогаза, определяемый по формуле:

$$M_{\text{сум}} = \frac{P_{\text{уд}} \sum D}{T_{\text{тепл.}} \cdot 24 \cdot 3600} 10^3 = \frac{P_{\text{уд}} \sum D}{86,4 \cdot T_{\text{тепл.}}}, \text{ г/с,} \quad (1.13a)$$

где $\sum D$ — количество активных стабильно генерирующих биогаз отходов, т;
 $T_{\text{тепл}}$ — продолжительность теплого периода года в районе полигона ТКО и ПО в днях (берется

из действующих климатологических справочников или справки, запрашиваемой в территориальных органах Росгидромета);

$C_{вес.i}$ — определяется по формуле (1.11) или по табл. 1.14.

Биогаз образуется неравномерно в зависимости от времени года. При отрицательных температурах процесс «мезофильного сбраживания» (до 55 °С) органической части ТКО и ПО прекращается, происходит так называемое законсервирование до наступления более теплого периода года ($t_{ср.мес} > 0$ °С). Приведенная формула (1.13) справедлива для случая обследования полигона и отбора проб биогаза в теплое время года ($t_{ср.мес} > 8$ °С). При обследовании в более холодное время года ($0 < t_{ср.мес} \leq 8$ °С), что нецелесообразно хотя бы из-за дополнительных погрешностей измерений, в формуле следует применять повышающий коэффициент неравномерности образования биогаза 1,3.

С учетом коэффициента неравномерности валовые выбросы i -го загрязняющего вещества с полигона определяются по формуле:

$$G_i = 0,01 \cdot G_{сум} \cdot C_{вес.i}, \text{ т/год}, \quad (1.14)$$

где $G_{сум}$ — суммарный валовый выброс всех компонентов биогаза с учетом коэффициента неравномерности, определяемый по формуле:

$$G_{сум} = M_{сум} \left(\frac{365 \cdot 24 \cdot 3600a}{12} + \frac{365 \cdot 24 \cdot 3600b}{12 \cdot 1,3} \right) \cdot 10^{-6}, \text{ т/год}. \quad (1.14a)$$

Примечание: a и b в формуле (1.14a), соответственно, периоды теплого и холодного времени года в месяцах (a при $t_{ср.мес} > 8$ °С; b при $0 < t_{ср.мес} \leq 8$ °С).

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Пример 1.

Исходные данные

1. Результаты анализов проб отходов, отобранных на полигоне:

- содержание органической составляющей в отходах $R = 55\%$;
- содержание жироподобных веществ в органике отходов $Ж = 2\%$;
- содержание углеводородных веществ в органике отходов $У = 83\%$;
- содержание белковых веществ в органических отходах $Б = 15\%$;
- средняя влажность отходов $W = 47\%$.

2. Результаты анализов проб биогаза:

Компонент	C_i , мг/м ³
Метан	660 908
Углерода диоксид	558 958
Толуол	9029
Аммиак	6659
Ксилол	5530
Углерода оксид	3148
Азота диоксид	1392
Формальдегид	1204
Этилбензол	1191
Ангидрид сернистый	878
Сероводород	326

Полигон функционирует 16 лет. Ежегодно на полигон в районе Москвы завозится 208 200 т отходов.

Расчет.

1. По формуле (1.5) определяем удельный выход биогаза (в кг от одного кг отходов) за период активного его выделения:

$$Q_w = 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100 - 47) \cdot (0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 83 + 0,34 \cdot 15) = 0,170236 \text{ кг/кг отходов.}$$

Период активного выделения биогаза для Москвы ($t_{\text{ср.тепл}} = 11,67 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{тепл}} = 244 \text{ дн.}$) составит по формуле (1.7):

$$t_{\text{ср}} = \frac{10248}{244 \cdot 11,67^{0,301966}} = 20 \text{ лет.}$$

2. По формуле (1.6) определяем количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне захороненных отходов:

$$P_{\text{год}} = \frac{0,170236}{20} \cdot 10^3 = 8,5118 \text{ кг/т отходов в год.}$$

3. По формуле (1.10) определяем плотность биогаза:

Компонент	C_i , мг/м ³
Метан	660 908
Углерода диоксид	558 958
Толуол	9029
Аммиак	6659
Ксилол	5530
Углерода оксид	3148
Азота диоксид	1392
Формальдегид	1204
Этилбензол	1191
Ангидрид сернистый	878
Сероводород	326
Итого	1 249 223

$$\rho_{\text{б.г}} = 10^{-6} \cdot 1\,249\,223 = 1,249 \text{ кг/м}^3.$$

4. По формуле (1.11) определяем весовое процентное содержание компонентов в биогазе (диоксид углерода как ненормируемое вещество из дальнейшего рассмотрения исключается):

Компонент	$C_{\text{вес.}i}$, %
Метан	52,915
Толуол	0,723
Аммиак	0,533
Ксилол	0,443
Углерода оксид	0,252
Азота диоксид	0,111
Формальдегид	0,096
Этилбензол	0,095
Ангидрид сернистый	0,070
Сероводород	0,026

5. По формуле (1.12) определяем удельные массы компонентов биогаза, выбрасываемые за год:

Компонент	$P_{уд.i}$, кг/т отходов в год
Метан	4,504019
Толуол	0,061540
Аммиак	0,045368
Ксилол	0,037707
Углерода оксид	0,021450
Азота диоксид	0,009448
Формальдегид	0,008171
Этилбензол	0,008086
Ангидрид сернистый	0,005958
Сероводород	0,002213

6. Активно вырабатывают биогаз отходы, завезенные на полигон за период с начала его работы до момента расчета минус последние два года, т.е. за 14 лет:

$$208\,200 \cdot 14 = 2\,914\,800 \text{ т}$$

По формулам (1.12) и (1.13) рассчитываем максимальные разовые и валовые выбросы загрязняющих веществ. Суммарный максимальный разовый выброс биогаза полигона составит (формула 1.13):

$$M_{\text{сум}} = \frac{8,5118 \cdot 2914800}{86,4 \cdot 244} = 1176,865 \text{ г/с.}$$

В том числе без CO_2 — по формуле (1.13a):

Компонент	M_i , г/с
Метан	622,73805
Толуол	8,50873
Аммиак	6,27269
Ксилол	5,21351
Углерода оксид	2,96570
Азота диоксид	1,30632
Формальдегид	1,12979
Этилбензол	1,11802
Ангидрид сернистый	0,82381
Сероводород	0,30598

Валовые выбросы биогаза (т/год) рассчитываются по формуле (1.14):

$$G_{\text{сум}} = 1176,865 \cdot \left(\frac{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 5}{12} + \frac{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 3}{12 \cdot 1,3} \right) \cdot 10^{-6} = 22601,23737 \text{ т/год.}$$

($a = 5$ мес.; $b = 3$ мес.)

В том числе (без CO_2) по формуле (1.14a):

Компонент	G_i , т/год
Метан	11959,44598
Толуол	163,40696
Аммиак	120,46461
Ксилол	100,12349
Углерода оксид	56,95512
Азота диоксид	25,08738
Формальдегид	21,69719
Этилбензол	21,47118
Ангидрид сернистый	15,82087
Сероводород	5,87632

Пример 2.

Исходные данные

- Результаты анализов проб отходов, отобранных на полигоне:
 - содержание органической составляющей в отходах $R = 55\%$;
 - содержание жироподобных веществ в органике отходов $Ж = 2\%$;
 - содержание углеводородных веществ в органике отходов $У = 83\%$;
 - содержание белковых веществ в органике отходов $Б = 15\%$;
 - средняя влажность отходов $W = 47\%$.
- Полигон функционирует более 30 лет.
- Ежегодно на полигон завозится 20 000 т отходов.

Расчет

1. По формуле (1.5) определяем удельный выход биогаза (в кг от одного кг отходов) за период активного его выделения:

$$Q_w = 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100 - 47) \cdot (0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 83 + 0,34 \cdot 15) = 0,170236 \text{ кг/кг отходов.}$$

Период активного выделения биогаза, например, для Адлера ($t_{\text{ср.тепл}} = 14,11^\circ\text{C}$; $T_{\text{тепл}} = 365 \text{ дн.}$) составит по формуле (1.7):

$$t_{\text{сбр}} = \frac{10248}{365 \cdot 14,11^{0,301966}} = 13 \text{ лет}$$

2. По формуле (1.6) определяем количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне захороненных отходов:

$$P_{\text{уд}} = \frac{0,170236}{13} \cdot 10^3 = 13,09508 \text{ кг/т отходов в год.}$$

3. Принимаем весовое процентное содержание компонентов в биогазе аналогичным п. 4 примера 1.

Компонент	$C_{\text{вес.}i}, \%$
Метан	52,915
Толуол	0,723
Аммиак	0,533
Ксилол	0,443
Углерода оксид	0,252
Азота диоксид	0,111
Формальдегид	0,096
Этилбензол	0,095
Ангидрид сернистый	0,070
Сероводород	0,026

4. По формуле (1.12) определяем удельные массы компонентов биогаза, выбрасываемые за год:

Компонент	$P_{\text{уд.}i}, \text{ кг /т отходов в год}$
Метан	6,929260
Толуол	0,094677
Аммиак	0,069797
Ксилол	0,058011
Углерода оксид	0,033000
Азота диоксид	0,014536
Формальдегид	0,012571
Этилбензол	0,012440
Ангидрид сернистый	0,009167
Сероводород	0,003405

5. Активно вырабатывают биогаз отходы, завезенные на полигон за последние 13 лет минус последние два года, т.е. за 11 лет:

$$20\,000 \cdot 11 = 220\,000 \text{ т.}$$

По формулам (1.12) и (1.13) рассчитываем максимальные разовые и валовые выбросы загрязняющих веществ. Суммарный максимальный разовый выброс биогаза полигона составит (формула 1.13):

$$M_{\text{сум}} = \frac{13,09508 \cdot 220\,000}{86,4 \cdot 365} = 91,35328 \text{ г/с}$$

В том числе без CO₂ (формула 1.13а):

Компонент	G _i , т/год
Метан	1465,80499
Толуол	20,02791
Аммиак	14,76470
Ксилол	12,27160
Углерода оксид	6,98068
Азота диоксид	3,07482
Формальдегид	2,65931
Этилбензол	2,63161
Ангидрид сернистый	1,93908
Сероводород	0,72023

1.6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

Расчет поверхности осаждения отстойника твердых частиц в гравитационном поле

1.1. Скорость свободного осаждения твердых частиц сферической формы под действием силы тяжести в неограниченном объеме жидкости может быть рассчитана исходя из баланса силы тяжести, силы выталкивания (силы Архимеда) и силы сопротивления движению (силы Стокса) по формуле:

$$u = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g (\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}})}{\mu_{\text{с}}}, \quad (1.15)$$

где u — скорость свободного осаждения, м/с;

r — радиус сферической частицы, м;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

$\rho_{\text{т}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ — плотность твердой и жидкой фаз, соответственно, кг/м³;

$\mu_{\text{с}}$ — динамическая вязкость суспензии, Па·с.

Вязкость суспензии не зависит от формы и размеров частиц, но зависит от объемной доли твердой фазы в суспензии ε и определяется следующим образом:

$$\mu_{\text{с}} = \mu_{\text{ж}}(1 + 2,5\varepsilon) \text{ при } \varepsilon \leq 0,1; \quad (1.16a)$$

$$\mu_{\text{с}} = \mu_{\text{ж}}(1 + 4,5\varepsilon) \text{ при } \varepsilon > 0,1, \quad (1.16б)$$

где $\mu_{\text{ж}}$ — вязкость жидкой фазы.

Объемная доля твердой фазы в суспензии может быть выражена через массовую долю x следующим образом. Плотность суспензии $\rho_{\text{с}}$ определяется соотношением:

$$\rho_{\text{с}} = \rho_{\text{т}}x + \rho_{\text{ж}}(1 - x). \quad (1.17)$$

В этом случае масса суспензии G_c , выраженная через ее объем V_c и плотность, равна $G_c = V_c \rho_c$, масса твердой фазы в суспензии равна $G_T = xG_c = xV_c \rho_c$, а ее объем $V_T = G_T / \rho_T = xV_c \rho_c / \rho_T$.

Объемная доля твердой фазы в суспензии равна $\varepsilon = V_T / V_c = x \rho_c / \rho_T$.

Подставив в последнее выражение значение ρ_c из (1.17), получим:

$$\varepsilon = x \left[x + \frac{\rho_{жс}}{\rho_m} (1-x) \right] \quad (1.18)$$

1.2. *Скорость стесненного осаждения* в общем случае описывается критериальным уравнением вида: $Re = f(Ar, 1-x)$, где Re и Ar — критерии Рейнольдса и Архимеда соответственно.

В расчетной практике скорость стесненного осаждения вычисляют по формулам:

$$u_{ст} = u(1-\varepsilon)^2 \cdot 10^{-1,82\varepsilon} \text{ при } \varepsilon \leq 0,3; \quad (1.19a)$$

$$u_{ст} = u \frac{0,123 \cdot (1-\varepsilon)^3}{\varepsilon} \text{ при } \varepsilon > 0,3. \quad (1.19б)$$

1.3. *Поверхность осаждения отстойника*, необходимая для удаления из суспензии частиц радиусом r и более, определяется по формуле:

$$F = V_{осв} / u_{ст}, \quad (1.20)$$

где $V_{осв}$ — объем осветленной жидкости, получаемый в единицу времени, м³/с.

Задача 1. Рассчитайте поверхность осаждения отстойника, теоретически необходимую для осаждения из суспензии диоксида кремния частиц с эффективным диаметром 100 мкм и более. Производительность отстойника 1000 м³/ч. Массовая доля твердой фазы в суспензии 0,1. Вязкость воды равна $1,002 \cdot 10^{-3}$ Па·с при 20 °С; плотность воды $1 \cdot 10^3$ кг/м³; плотность диоксида кремния $2,651 \cdot 10^3$ кг/м³.

Решение. Объемная доля диоксида кремния в суспензии рассчитывается по формуле (1.18):

$$\varepsilon = 0,1 \cdot \left[0,1 + \frac{1000}{2651} (1-0,1) \right] = 0,044.$$

Вязкость суспензии определяется по формуле (1.16a):

$$\mu_c = 1,002 \cdot 10^{-3} (1 + 2,5 \cdot 0,044) = 1,112 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с.}$$

Скорость свободного осаждения рассчитывается по формуле (1.15) при $r = 50$ мкм = $5 \cdot 10^{-5}$ м равна:

$$u = \frac{2}{9} (5 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 9,81 \cdot \frac{2651 - 1000}{1,112 \cdot 10^{-3}} = 8,09 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Скорость стесненного осаждения определяется по формуле (1.19a):

$$u_{ст} = 8,09 \cdot 10^{-3} (1 - 0,044)^2 \cdot 10^{-1,82 \cdot 0,044} = 6,16 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Производительность отстойника по осветленной жидкости $V_{осв} = 1000$ м³/ч или $1000 / 3600 = 0,278$ м³/с. Поверхность осаждения при этой производительности равна:

$$F = 0,278 / 6,16 \cdot 10^{-3} = 45 \text{ м}^2.$$

2. Курсовой проект на тему «Организация сбора и транспортирования ТКО на территории микрорайона»

2.1. Цель и задачи курсового проекта

Целью курсовой работы является закрепление теоретических знаний, полученных в процессе изучения дисциплины «Утилизация и рециклинг ТКО» и приобретение навыков для решения практических задач в данной области. Задачи, решаемые в курсовой работе, направлены на формирование у обучающихся наиболее полного представления о безопасном сборе, утилизации и переработке твердых коммунальных отходов, мероприятиях, направленных на осуществление этих задач. Вопросы, рассматриваемые в процессе организации сбора, транспортирования и утилизации ТКО:

- анализ источников ТКО в микрорайоне;
- расчет показателей использования автомобилей на маршруте;
- расчет затрат на перевозку и экономически обоснованного тарифа на сбор и вывоз ТКО.

2.2. Содержание, объем и оформление курсового проекта

Курсовая работа разрабатывается на основании индивидуальных заданий, выдаваемых преподавателем, по вариантам, и состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части. Расчетно-пояснительная записка выполняется на бумаге стандартного формата А4 и сшивается в папку. Общий объем записки 10–20 страниц. Необходимые чертежи выполняются на листе формата А3 или А2.

Расчетно-пояснительная записка включает содержание, исходные данные индивидуального задания, введение, общую часть, расчеты и пояснения к каждому разделу работы, заключение. Во введении описывается цель и задачи курсовой работы. В каждом из разделов приводятся цель работы, расчетные формулы и таблицы, расчеты, выводы. Выводы должны быть основаны на анализе полученных результатов. Графическая часть включает план микрорайона в масштабе 1:500; 1:1000 с расположением мест расположения мусорных контейнеров, эффективными схемами движения мусоровозов.

2.3. Описание курсового проекта

Контейнеры и бункеры-накопители размещаются, устанавливаются на специально оборудованных площадках. Организация движения при сборе ТКО должна обеспечивать наибольшую производительность и наименьшую себестоимость перевозок. Перевозки ТКО автомобильным транспортом осуществляются по заранее разработанным маршрутам. Выбор оптимального маршрута движения является важной задачей, во многом определяющей эффективность использования подвижного состава: его производительность, себестоимость перевозок, показатели топливоиспользования.

Каждому варианту соответствует заданный автомобиль-мусоровоз. При транспортировке ТКО мусоровозами предусмотрена возможность перегрузки отходов, то есть имеется контейнер, приспособленный для захвата при загрузке механизированным способом. У каждого автомобиля свой способ погрузки-разгрузки (см. выше).

Часть 1. Расчет технико-эксплуатационных показателей использования подвижного состава на маршруте.

Выбирается способ перевозки ТКО:

- маятниковый с разновидностями — с обратным порожним пробегом, с груженым пробегом в обоих направлениях, с обратным не полностью груженым пробегом;
- кольцевой с разновидностями — сборный, развозочный.

Движение организовано на маршруте с учетом скорости автомобиля и остановок.

Часть 2. Технология и организация вывоза ТКО.

В этой части рассматриваются технические характеристики автомобиля, производится расчет технико-эксплуатационных показателей использования мусоровозов на маршруте, количество автомобилей на маршруте, объем вывоза ТКО за год, среднее время одного рейса, количество рейсов, совершаемых ежегодно. Расстояние перевозки определяется по карте микрорайона.

Часть 3. Расчет экономически обоснованного тарифа на сбор и вывоз ТКО.

Рассчитываются затраты на сбор и вывоз ТКО: на оплату труда производственного персонала, на топливо и смазочные материалы, на приобретение резины, на амортизационные отчисления, на техническое обслуживание и текущий ремонт, на замену контейнеров, общепарковые затраты. Рассчитывается экономически обоснованный тариф на сбор и вывоз ТКО на одного человека в месяц, рассчитанный по затратному методу.

В заключение делается вывод, обосновываются предложения по оптимизации затрат.

2.4. Вопросы для подготовки к защите курсового проекта

1. Цель и задачи, решаемые при выполнении курсового проекта.
2. Перечень критериев выбора решения при выполнении курсового проекта.
3. Полигоны для захоронения ТКО. Назначение, область применения, принципиальные схемы, техническая характеристика.
4. Предельно допустимые концентрации основных загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферный воздух на полигонах ТКО.
5. Критерии оценки полученных при курсовом проектировании результатов.
6. Причины выявленных ошибок и предложения по их исправлению.
7. Схема завода по комплексной переработке бытовых отходов.
8. Извлечение черных и цветных металлов на мусороперерабатывающем заводе.
9. Мусороперерабатывающие заводы. Назначение, область применения, конструктивные схемы, технические характеристики.
10. Виды и источники информации, используемые при выполнении курсового проекта.
11. Практическое применение результатов, полученных при выполнении курсового проекта.
12. Теоретические положения, используемые при нахождении решений.
13. Альтернативные варианты решения задач, поставленных в курсовом проекте.

Библиографический список

1. Охрана окружающей среды и основы природопользования [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Техносферная безопасность» / Э.В. Пьядичев, Р.В. Шкрабак, В.С. Шкрабак ; под ред. В.С. Шкрабака. — Санкт-Петербург : Проспект Науки, 2015. — 223 с.
2. Технология твердых бытовых отходов [Текст] : учебник для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Сервис» / Л.Я. Шубова, М.Е. Ставровский, А.В. Олейник. — Москва : Альма-М; Инфра-М, 2018. — 396 с.
3. Олейник П.П. Организация системы переработки строительных отходов и получение вторичных ресурсов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Олейник П.П., Олейник С.П. — Электронные текстовые данные. — Саратов : Вузовское образование, 2019. — 193 с.
4. Харламова М.Д., Курбатова А.И. Твердые отходы: технологии утилизации, методы контроля, мониторинг: учебное пособие. — Москва : Юрайт, 2017. — 231 с.