

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Техносферная безопасность и производственный дизайн»

ЭКОЛОГИЯ ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2024

УДК 504(075.8)
ББК 20.1
Э40

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Техносферная безопасность и производственный дизайн» «27» ноября 2023 г., протокол № 4

Составители: д-р биол. наук, доц. А. В. Щур;
канд. вет. наук, доц. Т. Н. Агеева

Рецензент Н. В. Курочкин

Методические рекомендации к практическим занятиям содержат основные теоретические положения по теме, методику выполнения, формулы для расчета, варианты заданий и предназначены для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» очной и заочной форм обучения.

Учебное издание

ЭКОЛОГИЯ ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА

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 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2024

Содержание

1 Практическая работа № 1. Методика расчета выбросов газов от сжигания топлива автотранспортом.....	4
2 Практическая работа № 2. Инвентаризация выбросов промышленных предприятий.....	11
3 Практическая работа № 3. Полигоны захоронения отходов и их воздействие на окружающую среду	23
4 Практическая работа № 4. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании твердого топлива.....	32
5 Практическая работа № 5. Определение площади зеленых насаждений для воспроизводства кислорода в городе.....	39
Список литературы.....	48

1 Практическая работа № 1. Методика расчета выбросов газов от сжигания топлива автотранспортом

Цель работы: овладение методикой расчета выброса вредных веществ от автотранспорта.

1.1 Теоретическая часть

Эксплуатация автомобилей связана со значительным загрязнением окружающей среды отработавшими газами. Доля вредных компонентов отработавших газов в общем объеме атмосферных загрязнений газами в различных регионах страны достигает 80 %. Особенно негативное воздействие автомобильного транспорта проявляется в крупных городах.

В состав отработавших газов входят токсичные и поэтому наиболее опасные для здоровья человека: окись углерода, окислы (окись и двуокись) азота, углеводороды, альдегиды (формальдегид и др.), соединения серы, ядовитый свинец и его соединения, сажа и канцерогенное вещество бенз(а)пирен.

Транспортные источники загрязнения атмосферы обладают рядом специфических особенностей, учет которых необходим на любом уровне рассмотрения проблемы. По существующей классификации их можно отнести к линейным наземным непрерывно действующим источникам с переменной мощностью выброса, расположенных непосредственно в жилых районах города. Особую опасность для окружающей среды эти источники создают тем, что выброс осуществляется в приземном слое воздуха на очень небольшой высоте (менее 1 м).

Наиболее опасными для здоровья человека в выбросах автомобильного транспорта являются вещества канцерогенного характера. К ним относятся свинец, некоторые полициклические углеводороды (бенз(а)пирен).

Свинец образуется при сгорании тетраэтилсвинца (ТЭС) в двигателях внутреннего сгорания, который используется как антидетонатор для повышения октанового числа бензина. Если легкие фракции загрязнителей могут перемещаться на дальние расстояния, рассеиваясь на больших площадях, то соединения свинца выпадают локально. В результате движения автотранспорта происходит загрязнение свинцом почвы и растительности придорожной полосы. При этом распространение свинца зависит от наличия и плотности зеленых насаждений – чем она выше, тем меньше его в почве, а также наличия различных препятствий.

Токсичные вещества попадают в атмосферу не только в составе отработавших газов. Токсичными являются и сами углеводородные топлива. Особенно бензины, точнее их пары, выходящие из отверстий топливных баков и карбюратора, а также картерные газы двигателя. Автотранспорт также является мощным источником выделения аэрозолей, которые поступают в атмосферу города в результате неполного сгорания топлива в двигателях.

Таким образом, автомобильные дороги крупного города являются мощ-

ным источником как первичного, так и вторичного выделения веществ загрязнителей в атмосферу.

Расчет выбросов от автомобильного транспорта.

Массовый выброс загрязняющих веществ автомобильным транспортом при движении по данной улице M_{ij} рассчитывается по формуле

$$M_{ij} = m_{ij} \cdot L_{\text{общ}}^N \cdot 10^{-6}, \quad (1.1)$$

где $L_{\text{общ}}^N$ – суммарный годовой пробег автомобилей по данной улице, который является функцией времени, интенсивности и скорости движения АТС, км;

m_{ij} – приведенный пробеговый выброс, г/км;

$$m_{ij} = m_i \cdot K_{ri} \cdot K_{ti}; \quad (1.2)$$

m_i – пробеговый выброс i -го загрязняющего вещества транспортным средством, г/км;

K_{ri} – коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ при движении по территории населенных пунктов;

K_{ti} – коэффициент, учитывающий влияние технического состояния автомобилей на массовый выброс i -го загрязняющего.

Суммарный сезонный пробег по улице рассчитывается по следующей схеме:

$$L_{\text{общ}}^N = \sum_t^n L_{\text{сез}}^N = \sum_t^n v_{\text{авт}} t_g N_{\text{сез}}^N, \quad (1.3)$$

где $v_{\text{авт}}$ – скорость движения транспортных средств;

$N_{\text{сез}}^N$ – число автомобилей, прошедших по данной улице за сезон;

t_g – время движения автотранспортного средства по данной улице.

$$t_g = \frac{L}{v_{\text{авт}}}, \quad (1.4)$$

где L – длина улицы, км.

Исходя из формул (1.3) и (1.4), суммарный годовой пробег автомобилей будет вычисляться по формуле

$$L_{\text{общ}}^N = \sum_t^n L \cdot N_{\text{сез}}^N. \quad (1.5)$$

Число автомобилей, прошедших по данной улице за сезон, определяется по выражению

$$N_{\text{сез}}^N = t \cdot (N_y + N_{\text{д}} + N_{\text{г}} + N_{\text{н}}) \cdot n, \quad (1.6)$$

где t – время, $t = 6$ ч;

n – количество дней в сезоне.

Значения приведенного пробегового выброса i -го загрязняющего вещества данным типом транспортных средств приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Приведенный пробеговой выброс для различных видов

Тип автотранспорта	Примесь	Пробеговой выброс, г/км	Коэффициент			Приведенный пробеговой выброс, г/км
			K_{ri}	K_{ii}	K_{ni}	
Легковой	CO	13,0	0,87	1,75	–	19,8
	NO ₂	1,5	0,94	1,0	–	1,4
	CH	2,6	0,92	1,48	–	3,5
	SO ₂	0,076	1,15	1,15	–	0,1
	Pb	0,025	1,15	1,15	–	0,03
Грузовой бензиновый	CO	52,6	0,89	2,0	0,68	63,7
	NO ₂	5,1	0,79	1,0	0,67	2,7
	CH	4,7	0,85	1,83	0,87	6,4
	SO ₂	0,16	1,15	1,15	1,19	0,3
	Pb	0,023	1,15	1,15	1,19	0,04
Грузовой дизельный	CO	2,8	0,95	1,6	0,68	2,9
	NO ₂	8,2	0,92	1,0	0,82	6,2
	CH	1,1	0,93	2,1	0,76	1,6
	SO ₂	0,96	1,15	1,15	1,2	1,5
	Сажа	0,5	0,8	1,9	0,54	0,4
Автобусы бензиновые	CO	67,1	0,89	1,4	0,9	75,2
	NO ₂	9,9	0,79	1,4	0,89	9,7
	CH	5,0	0,85	1,4	0,96	5,7
	SO ₂	0,25	1,15	1,1	1,3	0,4
	Pb	0,037	1,15	1,1	1,3	0,1
Автобусы дизельные	CO	4,5	0,95	1,4	0,89	5,3
	NO ₂	9,1	0,92	1,4	0,93	10,9
	CH	1,4	0,93	1,4	0,92	1,7
	SO ₂	0,9	1,15	1,1	1,3	1,5
	Сажа	0,8	0,8	1,4	0,75	0,7

Расчет категории опасности автомобильного транспорта.

Категорию опасности автомобильного транспорта рассчитывают по аналогии с категорией опасности предприятия:

$$KOA = \sum_1^n \frac{M_i}{ПДК_i} \cdot \quad (1.7)$$

Для расчета КОА при отсутствии $ПДК_{cc}$ используют значения $ПДК_{mp}$, ОБУВ или уменьшенные в 10 раз значения предельно допустимой концентрации для рабочей зоны.

Расчет категории опасности дороги.

Взаимодействие автомобиля и дороги сопровождается выбросами пыли M_n , а пылеобразование на дорогах можно количественно описать через категорию опасности дороги (КОД), которая будет связана с количеством выбросов уравнением

$$КОД = \frac{M_n}{ПДК_n} = \frac{CV^y}{ПДК_n}, \quad (1.8)$$

где C – концентрация пыли в воздухе улицы;

V^y – объем воздуха, в котором рассеяна пыль.

Количество пыли, выбрасываемое N -м количеством автомобилей i -го класса, проходящих над поверхностью S_{Ai} рассчитывается по формуле

$$M_a^y = \psi_i \cdot S_{Ai} \cdot N_i, \quad (1.9)$$

где S_{Ai} – площадь проекции автомобиля на поверхность дороги, m^2 ;

ψ_i – сдуваемость пыли, $mg/(cm^2 \cdot c)$;

N_i – интенсивность движения автомобилей i -го класса.

Значения удельной сдуваемости для различных транспортных средств представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Значения удельной сдуваемости для различных транспортных средств

Тип автотранспортного средства	Значение удельной сдуваемости, мг/с
Легковой	240
Грузовой	516
Автобусы	541

Расчет категории опасности улицы.

В качестве комплексного показателя, характеризующего качество атмосферы на улице любого назначения используется категория опасности улицы (КОУ), которую следует определять через опасность (выбросы) автомобиля и качественные характеристики автомобильной дороги:

$$КОУ = КОА + КОД. \quad (1.10)$$

1.2 Практическая часть

Провести расчеты по вариантам задания и оформить отчет. Содержание отчета включает в себя исходное задание, формулы и результаты расчетов.

Результаты включают в себя:

1) расчет массы загрязняющих веществ, выбрасываемых автомобильным транспортом на данной улице, таблицу по суммарному выбросу вредных веществ (таблица 1.3);

2) расчет *КОА*, таблицу с результатами *КОВ* для различного вида транспорта (таблица 1.4);

3) выводы.

Таблица 1.3 – Количество загрязняющих веществ, выбрасываемое автотранспортом на данной улице (период исследования (зима, весна, лето, осень))

Название улицы	Тип автомобиля	Выбросы разных веществ по сезонам, т/сезон						Суммарный выброс, т/сезон
		СО	СН	NOx	SO ₂	Pb	Сажа	
	Легковые							
	Грузовые							
	Автобусы							
	Всего							

Таблица 1.4 – Значения категории опасности вещества для различного вида автотранспорта (период исследования (зима, весна, лето, осень))

Название улицы	Тип автомобиля	<i>КОВ</i> , м ³ /с						<i>КОА</i> , м ³ /с
		СО	СН	NOx	SO ₂	Pb	Сажа	
	Легковые							
	Грузовые							
	Автобусы							
	Всего							

Задания для работы представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Варианты заданий для расчета категории опасности улицы

Название улицы	Тип автомобиля	Интенсивность движения по сезонам, авт./ч				Длина улицы, м
		зима	весна	лето	осень	
1	2	3	4	5	6	7
Улица 1	Легковые	500	600	700	750	2000
	Грузовые	350	450	500	400	
	Автобусы	150	150	100	250	
	Всего	1000	1200	1300	1400	
Улица 2	Легковые	550	550	750	800	2500
	Грузовые	370	400	320	340	
	Автобусы	250	330	300	310	
	Всего	1120	1280	1370	1450	

Продолжение таблицы 1.5

1	2	3	4	5	6	7
Улица 3	Легковые	900	780	820	1000	3000
	Грузовые	200	360	410	390	
	Автобусы	150	200	230	190	
	Всего	1250	1340	1460	1580	
Улица 4	Легковые	930	1030	840	1010	3500
	Грузовые	330	320	390	410	
	Автобусы	150	190	230	160	
	Всего	1410	1540	1460	1580	
Улица 5	Легковые	1200	1330	1450	1370	4000
	Грузовые	370	370	390	330	
	Автобусы	130	200	160	100	
	Всего	1700	1900	2000	1800	
Улица 6	Легковые	830	860	910	940	4500
	Грузовые	100	110	115	120	
	Автобусы	70	80	75	90	
	Всего	1000	1050	1100	1150	
Улица 7	Легковые	945	915	970	905	5000
	Грузовые	130	145	120	115	
	Автобусы	105	90	110	60	
	Всего	1180	1150	1200	1080	
Улица 8	Легковые	1110	1050	1150	1010	5500
	Грузовые	90	120	140	180	
	Автобусы	10	80	60	20	
	Всего	1210	1250	1350	1210	
Улица 9	Легковые	1080	1210	1280	990	6000
	Грузовые	170	130	100	220	
	Автобусы	30	40	20	20	
	Всего	1280	1380	1400	1230	
Улица 10	Легковые	1020	1050	1100	980	6500
	Грузовые	200	110	300	160	
	Автобусы	80	90	100	90	
	Всего	1300	1350	1500	1250	
Улица 11	Легковые	700	720	800	780	7000
	Грузовые	130	140	160	105	
	Автобусы	10	20	40	15	
	Всего	840	880	1000	900	
Улица 12	Легковые	705	810	840	690	7500
	Грузовые	150	190	165	240	
	Автобусы	35	50	55	50	
	Всего	890	1050	1060	980	

Окончание таблицы 1.5

1	2	3	4	5	6	7
Улица 13	Легковые	785	815	860	905	8000
	Грузовые	90	200	190	110	
	Автобусы	45	65	70	55	
	Всего	920	1080	1120	1070	
Улица 14	Легковые	950	960	1000	910	8500
	Грузовые	100	105	135	80	
	Автобусы	50	65	85	20	
	Всего	1100	1130	1220	1010	
Улица 15	Легковые	925	955	1105	965	9000
	Грузовые	110	125	130	175	
	Автобусы	55	60	65	60	
	Всего	1090	1140	1300	1200	
Улица 16	Легковые	13	15	18	14	9500
	Грузовые	7	6	5	9	
	Автобусы	2	4	5	3	
	Всего	22	25	28	26	
Улица 17	Легковые	16	20	22	15	10000
	Грузовые	7	9	11	7	
	Автобусы	5	6	5	4	
	Всего	28	35	38	36	
Улица 18	Легковые	17	31	35	32	10500
	Грузовые	9	8	10	10	
	Автобусы	6	6	3	4	
	Всего	32	45	48	46	
Улица 19	Легковые	30	36	39	33	11000
	Грузовые	9	15	16	18	
	Автобусы	3	4	3	4	
	Всего	42	55	58	56	
Улица 20	Легковые	37	40	42	38	11500
	Грузовые	13	15	18	17	
	Автобусы	5	6	4	5	
	Всего	55	61	64	60	

Контрольные вопросы

- 1 Воздействие автотранспорта на атмосферу города.
- 2 Влияние выбросов от автотранспорта на здоровье людей.
- 3 Распространение отработавших газов в зоне дороги.
- 4 Пылеобразование на автомобильных дорогах.
- 5 Предупреждение пылеобразования на автомобильных дорогах.

2 Практическая работа № 2. Инвентаризация выбросов промышленных предприятий

Цель работы: изучить методику и процедуру проведения и представления результатов инвентаризации выбросов промышленного предприятия; выполнить расчеты по инвентаризации выбросов и определению категории объекта (для ремонтных мастерских).

2.1 Инвентаризация выбросов промышленного предприятия

Инвентаризация выбросов служит основанием для разработки проекта нормативов или временных нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух. Инвентаризация выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух проводится:

- для новых, модернизируемых, реконструируемых стационарных источников выбросов в срок не позднее чем через два года с даты выхода на проектную мощность технологического оборудования;
- для действующих стационарных источников выбросов в зависимости от категории объекта (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Периодичность проведения инвентаризации выбросов в зависимости от категории действующего предприятия

Категория объектов воздействия	I	II	III	IV	V
Периодичность проведения инвентаризации выбросов, лет	Один раз в 4 года	Один раз в 5 лет	Один раз в 5 лет	Один раз в 6 лет	Один раз в 10 лет

При проведении инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух необходимо учесть:

- все источники выделения ЗВ и источники выбросов, в том числе неработающие, резервные, находящиеся в ремонте и т. п.;
- все ЗВ, которые могут образоваться при осуществлении всех процессов, предусмотренных технологическим регламентом производства, от всех организованных и неорганизованных стационарных источников выбросов.

Результаты инвентаризации выбросов оформляются в виде отчета, состав и содержание которого определяются Инструкцией о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (утв. постановлением Министерства ПР и ООС Республики Беларусь № 42 от 23.06.2009 г.).

Инвентаризация выбросов проводится в несколько этапов:

- выявление всех источников выделения ЗВ на территории предприятия (технологическая установка, устройство, аппарат, агрегат, станок и др.);
- выявление всех ЗВ, выделяющихся в производственных процессах;
- определение величины выбросов для каждого ЗВ;
- оформление результатов расчетов.

Определение величины выбросов ЗВ для инвентаризации может произво-

даться как инструментальным, так и расчетным способом.

Валовый выброс ЗВ – количество ЗВ, поступающего в атмосферный воздух за рассматриваемый период (чаще всего – за год, т/год), т.

Максимальный выброс ЗВ – максимальное количество ЗВ, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами в единицу времени, г/с.

Удельные показатели выделения ЗВ – усредненные значения величин образования ЗВ, определенные на основании инструментальных замеров, аналитических расчетов и отнесенные к различным единицам: количеству расходуемого материала, времени, мощности технологического оборудования.

Расчетные методы определения величины выбросов ЗВ.

Расчет выбросов ЗВ при сварке металлов.

Валовое выделение j -го ЗВ, т/год, при использовании i -го типа сварочного материала на отдельном источнике выделения рассчитывается по формуле

$$W_{j\tau}^{te} = 10^{-6} \cdot \sum_{i=1}^k q_i^j \cdot B_i, \quad (2.1)$$

где k – количество типов сварочного материала, применяемого на отдельном источнике выделения в течение года;

q_i^j – удельное количество j -го ЗВ, выделяющегося при расплавлении единицы массы i -го типа расходуемого сварочного материала на отдельном источнике выделения, г/кг;

B_i – количество используемого в течение года i -го типа сварочного материала на отдельном источнике выделения, кг/год.

Валовый выброс j -го ЗВ, т/год, поступающего в атмосферный воздух от z -го источника выброса при сварке, рассчитывается по формуле

$$W_j^{te} = \left(1 - \frac{\eta_z}{100}\right) \cdot K_w \cdot \sum_{\tau=1}^m W_{j\tau}^{te}, \quad (2.2)$$

где W_j^{te} – валовое выделение j -го ЗВ при использовании i -го типа сварочного материала на отдельном источнике выделения;

η_z – степень очистки газовой смеси z -го источника выброса, которая обеспечивается при использовании газоочистных и пылеулавливающих установок, %;

m – количество отдельных источников выделения (рабочих мест), объединенных в один источник выброса;

K_w – поправочный коэффициент, учитывающий условия осаждения образующегося аэрозоля. Он применяется в случаях, если помещение не оборудовано системой общеобменной вентиляции, отсутствуют газоочистные установки (ГОУ), а выброс ЗВ осуществляется через оконные и дверные проемы.

Расчет выбросов при механической обработке металлов.

Валовое выделение j -го ЗВ, т/год, при механической обработке металлов без охлаждения на отдельном источнике выделения рассчитывается по формуле

$$F_{j\tau}^{te} = 10^{-6} \cdot \sum_{i=1}^k q_i^j \cdot T_{\tau}, \quad (2.3)$$

где k – количество типов металлов и сплавов, обрабатываемых на отдельном источнике выделения в течение года;

q_i^j – удельное количество j -го ЗВ, выделяющегося при механической обработке i -го типа металла в единицу времени на отдельном источнике выделения, г/ч;

T_{τ} – время механической обработки металла на отдельном источнике выделения, в течение которого происходит выделение ЗВ за год, ч.

Валовый выброс j -го ЗВ, т/год, поступающего в атмосферу от z -го источника выброса при механической обработке металлов, находится по формуле

$$F_j^{te} = \left(1 - \frac{\eta_z}{100}\right) \cdot K_m \cdot \sum_{\tau=1}^m F_{j\tau}^{te}, \quad (2.4)$$

где F_j^{te} – валовое выделение j -го ЗВ при механической обработке металлов, т/год;

K_m – поправочный коэффициент, учитывающий условия осаждения образующегося аэрозоля. Поправочный коэффициент равен единице в случае наличия ГОУ.

Расчет выбросов при зарядке и ремонте аккумуляторных батарей.

Валовый выброс серной кислоты M_j , т/год, при зарядке кислотных аккумуляторных батарей, рассчитывается по формуле

$$M_j = g_i \cdot \sum_{i=1}^n Q_i \cdot a_i \cdot 10^{-9}, \quad (2.5)$$

где g_i – удельное выделение j -го ЗВ, $g_i = 0,9$ мг/(А·ч);

Q_i – номинальная емкость i -х заряжаемых аккумуляторных батарей, А·ч;

a_i – количество зарядок батарей i -го типа за год.

Расчет выбросов при механической обработке древесины.

Валовый выброс пыли древесной M_M , т/год, поступающей в атмосферу от источника выброса при механической обработке древесины, определяется по формуле

$$M_M = 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^k \left[K_i^o \cdot q_i \cdot \left(T_i - T_i^g \cdot \frac{n}{100} \right) \right], \quad (2.6)$$

где k – количество отдельных источников выделения древесной пыли, объединенных в один источник выброса;

K_i^o – коэффициент эффективности местных отсосов для i -го источника выделения, принимается на основе инструментальных замеров. При отсутствии данных инструментальных замеров $K_i^o = 0,9$;

q_i – среднечасовое количество древесной пыли, кг/ч, образующееся при обработке древесины на i -м источнике выделения;

T_i – продолжительность работы i -го источника выделения, ч/год;

T_i^g – продолжительность работы газоочистного оборудования на i -м источнике выделения, ч/год. При отсутствии газоочистного оборудования $T_i^g = 0$;

n – эффективность очистки воздуха газоочистным оборудованием, %. При отсутствии газоочистного оборудования $n = 0$.

Практическая часть.

Провести инвентаризацию выбросов в ремонтных мастерских согласно выданному заданию. В ремонтных мастерских производится механическая обработка металлических деталей и заготовок, расположен сварочный пост, столярный участок, аккумуляторный участок. Исходные данные для расчетов приведены в таблицах 2.2–2.7. Расчеты провести в соответствии с формулами (2.1)–(2.6). Результаты представить в форме таблицы 2.2. Оформить отчет.

Таблица 2.2 – Обобщенные данные о выбросах ЗВ от всех источников выделения (пример)

Загрязняющее вещество			В том числе		Из поступивших на очистку		Выброс ЗВ в атмосферный воздух	
Код	Наименование	Класс опасности	выбрасывается без очистки, т/год	поступает на очистку, т/год	выброшено в атмосферу, т/год	уловлено, т/год	г/с	т/год
0301	Азота диоксид	2	0,5572	–	–	–	0,4461	0,5572
0304	Азота оксид	3	0,0724	–	–	–	0	0,0724
0703	Бенз(а)-пирен	1	0,000009	–	–	–	$2 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$
2936	Пыль древесная	3	–	–	1,6707	–	0,015	1,6707
0330	Серы диоксид	3	0,0647	–	–	–	0,0090	0,0647
2902	Твердые частицы	3	10,3450	–	–	–	0,3335	10,345
0337	Углерода оксид	4	5,1803	–	–	–	4,7975	5,1803
Итого							5,6011	17,8904

Таблица 2.3 – Материалы и условия выделения ЗВ на сварочном участке

Вариант	Вид сварки	Используемый материал	Количество аппаратов	V_i , кг/год	η_z , %	Условие выделения ЗВ
1	2	3	4	5	6	7
1	Ручная дуговая штучными электродами	УОНИ-13/65 MP-3	2 1	400 350	0	Через оконные и дверные проемы
2	Ручная дуговая штучными электродами	УОНИ-13/65 MP-3	1 2	400 350	90	Очистка через ГОУ
3	Полуавтоматическая без газовой защиты	Присадочная проволока	2	500	90	Очистка через ГОУ

Окончание таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7
4	Полуавтоматическая без газовой защиты	Присадочная проволока	2	500	0	Через оконные и дверные проемы
5	Полуавтоматическая в среде углекислого газа	Электродная проволока	3	300	0	Через оконные и дверные проемы
6	Ручная дуговая штучными электродами	АНО-4 АНЖР-2	2 1	250 300	0	Через оконные и дверные проемы
7	Ручная дуговая штучными электродами	АНО-4 АНЖР-2	2 1	250 300	90	Очистка через ГОУ
8	Полуавтоматическая без газовой защиты	Присадочная проволока	3	400	90	Очистка через ГОУ
9	Полуавтоматическая без газовой защиты	Присадочная проволока	3	400	0	Через оконные и дверные проемы
10	Полуавтоматическая в среде углекислого газа	Электродная проволока	3	300	90	Очистка через ГОУ
11	Ручная дуговая штучными электродами	ЭА 606/П	2	400	0	Через оконные и дверные проемы
12	Ручная дуговая штучными электродами	ЭА 606/П	2	400	90	Очистка через ГОУ
13	Ручная дуговая штучными электродами	АНО-4 МР-3	1 2	300 350	0	Через оконные и дверные проемы
14	Ручная дуговая штучными электродами	АНО-4 МР-3	1 2	300 350	90	Очистка через ГОУ
15	Полуавтоматическая в среде углекислого газа	Электродная проволока	2	300	90	Очистка через ГОУ

Таблица 2.4 – Удельные выбросы ЗВ при сварочных работах

Используемый материал	Наименование, код и удельное количество выделяемых ЗВ, г/кг						
	Железо (II) оксид (в пересчете на железо) (0123)	Марганец и его соединения (в пересчете на марганец (IV) оксид) (0143)	Хром (VI) (0203)	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния менее 70 % (2908)	Фтористые соединения газообразные (в пересчете на фтор) (0342)	Азота диоксид (0301)	Углерода оксид (0337)
УОНИ-13/65	4,49	1,41	–	0,8	1,97	–	–
ЭА 606/П	9,72	0,68	0,3	–	0,004	1,3	1,4
АНО-4	15,73	1,66	–	0,41	–	–	–
МР-3	9,77	1,73	–	–	0,4	–	–
АНЖР-2	12,46	–	0,83	–	2,91	–	–
Присадочная проволока	11,86	0,54	–	–	0,36	–	–
Электродная проволока	1,03	0,48	–	0,02	–	–	–

Таблица 2.5 – Характеристики станков и условия выделения ЗВ на участке механической обработки металлов

Вариант	Вид станка	Количество станков	Диаметр круга, мм	Удельное количество выделяемой пыли (диоксид кремния менее 70 % (2908)), г/ч	Время работы станка, ч/год	η_z , %	Условие выделения ЗВ
1	Заточной	1	200	72,0	2304	0	Через оконные и дверные проемы
	Сверлильный	1	–	25,2	1728		
2	Сверлильный	2	–	25,2	1152	95	Очистка через ГОУ
	Круглошлифовальный	1	300	154,8	240		
3	Круглошлифовальный	1	400	180,0	576	85	Очистка через ГОУ
	Заточной	1	300	122,4	1920		
4	Плоскошлифовальный	1	250	151,2	288	0	Через оконные и дверные проемы
	Заточной	1	400	172,8	1056		
5	Заточной	2	350	144,0	1728	0	Через оконные и дверные проемы
	Сверлильный	1	–	25,2	960		
6	Сверлильный	1	–	25,2	1584	90	Очистка через ГОУ
	Круглошлифовальный	1	350	169,2	528		
7	Круглошлифовальный	1	300	154,8	264	95	Очистка через ГОУ
	Заточной	2	200	72,0	1440		
8	Плоскошлифовальный	1	350	180,0	960	85	Очистка через ГОУ
	Заточной	2	400	172,8	1584		
9	Заточной	1	350	144,0	1152	0	Через оконные и дверные проемы
	Сверлильный	2	–	25,2	528		
10	Сверлильный	1	–	25,2	1920	0	Через оконные и дверные проемы
	Круглошлифовальный	1	400	180,0	264		
11	Круглошлифовальный	1	350	169,2	576	90	Очистка через ГОУ (промышленный пылесос)
	Заточной	1	450	194,4	2304		
12	Плоскошлифовальный	1	400	198,0	1152	95	Очистка через ГОУ
	Заточной	1	400	172,8	2112		
13	Заточной	1	350	144,0	960	85	Очистка через ГОУ
	Сверлильный	1	–	25,2	1056		
14	Сверлильный	1	–	25,2	288	0	Через оконные и дверные проемы
	Круглошлифовальный	2	300	154,8	1728		
15	Круглошлифовальный	1	400	180,0	528	0	Через оконные и дверные проемы
	Заточной	2	350	144,0	1056		

Таблица 2.6 – Характеристики используемых аккумуляторов

Вариант	Тип аккумуляторов	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость заряжаемых аккумуляторных батарей, А·ч	Количество зарядок батарей за год
1	6СТ-54	12	54	2500
	6СТ-78	12	78	300
	6СТ-68	12	68	1800
2	3СТ-98	6	98	400
	3СТ-135	6	135	3000
	6СТ-78	12	78	2200
3	6СТ-54	12	54	1600
	6СТ-78	12	78	460
	3СТ-135	6	135	800
4	6СТ-54	12	54	2000
	6СТ-78	12	78	4000
	6СТ-68	12	68	1800
5	3СТ-98	6	98	800
	3СТ-135	6	135	1900
	6СТ-78	12	78	2500
6	6СТ-54	12	54	3000
	6СТ-78	12	78	2400
	3СТ-135	6	135	480
7	6СТ-54	12	54	560
	6СТ-78	12	78	2200
	6СТ-68	12	68	1800
8	3СТ-98	6	98	2020
	3СТ-135	6	135	400
	6СТ-78	12	78	600
9	6СТ-54	12	54	2500
	6СТ-78	12	78	3000
	3СТ-135	6	135	480
10	6СТ-54	12	54	1800
	6СТ-78	12	78	3000
	6СТ-68	12	68	860
11	3СТ-98	6	98	1960
	3СТ-135	6	135	2480
	6СТ-78	12	78	960
12	6СТ-54	12	54	2800
	6СТ-78	12	78	2200
	3СТ-135	6	135	2000
13	6СТ-54	12	54	460
	6СТ-78	12	78	1460
	6СТ-68	12	68	2400
14	3СТ-98	6	98	1500
	3СТ-135	6	135	2000
	6СТ-78	12	78	1400
15	6СТ-54	12	54	480
	6СТ-78	12	78	690
	3СТ-135	6	135	1190

Таблица 2.7 – Характеристики станков и условия выделения ЗВ на столярном участке

Вариант	Вид станка	Количество станков	Удельное количество древесной пыли, образующейся при обработке древесины, кг/ч	Продолжительность работы станка, ч/год	Условие выделения ЗВ	Продолжительность работы ГОУ, ч/год	η , %
1	CP-12	2	83,7	777,6	Через оконные и дверные проемы	–	–
	C16-2A	1	18,85	855,36			
2	KCM-1A	2	27,95	622,08	Через оконные и дверные проемы	–	–
	CP-18	1	125,0	933,12			
3	C16-2A	1	18,85	855,36	Очистка через ГОУ	855	90
	ШлЗЦ-2	1	45,5	1555,2		1555	
4	KCM-1A	2	27,95	933,12	Очистка через ГОУ	930	74
	CP-12	1	83,7	1710,72		1500	
5	C16-2A	1	18,85	1555,2	Очистка через ГОУ	1500	90
	CP-18	1	125,0	518,4		500	
6	CP-12	1	83,7	1710,72	Через оконные и дверные проемы	–	–
	C16-2A	1	18,85	570,24			
7	KCM-1A	2	27,95	518,4	Очистка через ГОУ	518	85
	CP-18	1	125,0	1866,24		1866	
8	C16-2A	1	18,85	1710,72	Очистка через ГОУ	1500	85
	ШлЗЦ-2	1	45,5	622,08		600	
9	KCM-1A	1	27,95	1244,16	Через оконные и дверные проемы	–	–
	CP-12	1	83,7	570,24			
10	C16-2A	1	18,85	1140,48	Через оконные и дверные проемы	–	–
	CP-18	2	125,0	1036,8			
11	CP-12	2	83,7	933,12	Очистка через ГОУ	500	90
	C16-2A	1	18,85	518,4		500	
12	KCM-1A	2	27,95	1244,16	Очистка через ГОУ	1244	80
	CP-18	2	125,0	1710,72		1710	
13	C16-2A	2	18,85	855,36	Очистка через ГОУ	500	95
	ШлЗЦ-2	1	45,5	518,4		500	
14	KCM-1A	1	27,95	1866,24	Очистка через ГОУ	1866	80
	CP-12	1	83,7	1555,2		1555	
15	C16-2A	2	18,85	570,24	Очистка через ГОУ	570	90
	CP-18	2	125,0	622,08		620	

2.2 Определение категории объекта воздействия на атмосферный воздух

Определение категории объекта воздействия на атмосферный воздух производится в соответствии с Инструкцией о порядке отнесения объектов воздействия на атмосферный воздух к определенным категориям (утв. постановлением Министерства ПР и ООС Республики Беларусь № 30 от 29.05.2009 г.).

Объекты воздействия относятся к определенной категории на основании:

- количественного и качественного состава выбросов ЗВ в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия (далее – критерий *C*);
- значения относительного показателя опасности объекта воздействия;
- вероятности наступления на объекте воздействия событий, имеющих неблагоприятные последствия для качества атмосферного воздуха, возникновения техногенной и экологической опасности (далее – критерий *Z*);
- количества стационарных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия;
- количества мобильных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия;
- размера зоны воздействия исходя из значений расчетных приземных концентраций, создаваемых стационарными источниками выбросов в жилой зоне (далее – расчетная приземная концентрация).

Критерий *C* определяется по формуле

$$C = \sum_1^n \frac{(M_i)^{a_i}}{ПДК_{cc}}, \quad (2.7)$$

где *n* – количество ЗВ, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия;

M_i – масса выброса *i*-го ЗВ, кг/год;

ПДК_{cc} – значение среднесуточной ПДК или ОБУВ *i*-го ЗВ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест отдыха населения, определяемое согласно нормативам качества атмосферного воздуха, мкг/м³;

a_i – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень воздействия *i*-го ЗВ с воздействием ЗВ 3-го класса опасности, имеющая следующие значения:

- 1,7 – для ЗВ 1-го класса опасности;
- 1,3 – для ЗВ 2-го класса опасности;
- 1,0 – для ЗВ 3-го класса опасности;
- 0,9 – для ЗВ 4-го класса опасности;
- 1,2 – для ЗВ, по которым не установлен класс опасности.

Значение относительного показателя опасности объекта воздействия определяется по формуле

$$ПО = \sum_i^n \frac{M_i}{ПДК_{сг}}, \quad (2.8)$$

где *n* – количество ЗВ, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия;

M_i – масса выброса *i*-го ЗВ, кг/год;

ПДК_{сг} – значение среднегодовой ПДК или ОБУВ *i*-го ЗВ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест отдыха населения, определяемое согласно нормативам качества атмосферного воздуха, мкг/м³.

По критерию Z объект воздействия относится к категории особо опасных или опасных в соответствии с Инструкцией по определению объектов, представляющих повышенную техногенную и экологическую опасность, условно уязвимых в диверсионном отношении, утвержденной постановлением МЧС Республики Беларусь от 21 июля 2003 г. № 29. Остальные объекты относятся к категории неопасных. *Мастерские, которые являются объектом расчета данной практической работы, относятся к категории неопасных.*

Определение значений расчетных приземных концентраций основывается на величинах, рассчитанных в долях ПДК или ОБУВ ЗВ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест отдыха населения без учета фоновых концентраций по отдельным веществам и группам ЗВ, обладающих суммацией действия.

Категория объектов воздействия определяется на основании суммы условных баллов K_1 и K_2 .

Условные баллы K_1 определяются согласно таблице 2.8 и рассчитываются по формуле

$$K_1 = 2A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5, \quad (2.9)$$

где A_1 – число условных баллов, определяемое в зависимости от значения критерия C ;

A_2 – число условных баллов, определяемое в зависимости от значения относительного показателя опасности объекта воздействия;

A_3 – число условных баллов, определяемое в зависимости от значения критерия Z ;

A_4 – число условных баллов, определяемое по количеству стационарных источников выбросов, отвечающих граничным показателям;

A_5 – число условных баллов, определяемое по количеству мобильных источников выбросов, отвечающих граничным показателям.

Условные баллы K_2 рассчитываются по формуле

$$K_2 = 2B_1 + B_2 + B_3, \quad (2.10)$$

где B_1 – количество ЗВ и (или) групп ЗВ, обладающих суммацией действия, по которым расчетная приземная концентрация превышает единицу;

B_2 – количество ЗВ и (или) групп ЗВ, обладающих суммацией действия, по которым расчетная приземная концентрация находится в диапазоне от 0,8 до 1,0;

B_3 – число условных баллов, определяемое в зависимости от размера зоны воздействия, отвечающих граничным показателям согласно таблице 2.9.

Значения расчетных приземных концентраций и значения K_2 не рассчитываются и приравниваются к нулю в случаях:

– когда значение условных баллов K_1 менее шести;

– когда значение условных баллов K_1 более шести, но менее 10 и относительный показатель опасности объекта воздействия менее 0,1.

В зависимости от суммы условных баллов K_1 и K_2 определяется категория объекта воздействия по таблице 2.10, а по таблице 2.1 – периодичность прове-

2 Рассчитать категорию объекта воздействия на атмосферный воздух по формулам (2.9) и (2.10), таблицам 2.8–2.10. Результаты представить по форме таблицы 2.12.

Таблица 2.12 – Результаты расчета категории объекта воздействия на атмосферный воздух (пример)

Критерий	Наименование критерия	Значение	Количество баллов
A_1	Число условных баллов, определяемое в зависимости от значения критерия C	262,903	1
A_2	Число условных баллов, определяемое в зависимости от значения $ПО$	0,2193	1
A_3	Число условных баллов, определяемое в зависимости от значения критерия Z	Неопасное	0
A_4	Число условных баллов, определяемое по количеству стационарных источников выбросов	2	0
A_5	Число условных баллов, определяемое по количеству мобильных источников выбросов	56	2
K_1	$K_1 = 2A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$	–	5
B_1	Количество ЗВ и/или групп ЗВ, обладающих суммой действия, по которым расчетная приземная концентрация превышает единицу	Не определяется, т. к. K_1 менее 6	
B_2	Количество ЗВ и/или групп ЗВ, обладающих суммой действия, по которым расчетная приземная концентрация находится в диапазоне от 0,8 до 1,0		
B_3	Число условных баллов в зависимости от размера зоны воздействия		
K_2	$K_2 = 2B_1 + B_2 + B_3$	–	0
K	$K = K_1 + K_2$	–	5
Категория объекта воздействия		–	V

Контрольные вопросы

1 В чем заключается инвентаризация выбросов и для каких объектов она осуществляется?

2 Какие условия должны быть выполнены при проведении инвентаризации выбросов?

3 Какие этапы включает в себя инвентаризация выбросов?

3 Практическая работа № 3. Полигоны захоронения отходов и их воздействие на окружающую среду

Цель работы: спроектировать полигон твердых бытовых отходов и оценить его влияние на окружающую среду.

3.1 Теоретическая часть

Действующая на протяжении всей человеческой истории линейная схема: добыча – переработка (производство) – употребление – пополнение отходов – становится все менее приемлемой. Под отходы отчуждаются пахотные земли, а также ухудшается состояние нашей среды обитания. Известны следующие подходы к твердым бытовым отходам (ТБО):

- стихийное складирование на открытых свалках (необорудованные);
- организованные свалки (формирование больших объемов без утилизации газов и стока);
- полигоны ТБО с утилизацией биогаза (анаэробная деструкция органики с выделением метана);
- компостирование (биохимический процесс обезвоживания);
- глубокое прессование твердого компонента в кипы при давлении до 80 МПа (на Минском мусороперерабатывающем заводе – это кубы, объем 0,7 м³ и массой 700 кг при сокращении объема в 20 раз);
- пиролиз (нагрев и сжигание при $t = 600\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ высокотоксичных отходов сельхозхимии, фармацевтических производств, после ухода за больными и т. п.).

В последнее время все шире используется такая система сбора и переработки ТБО, как *рисайклинг*.

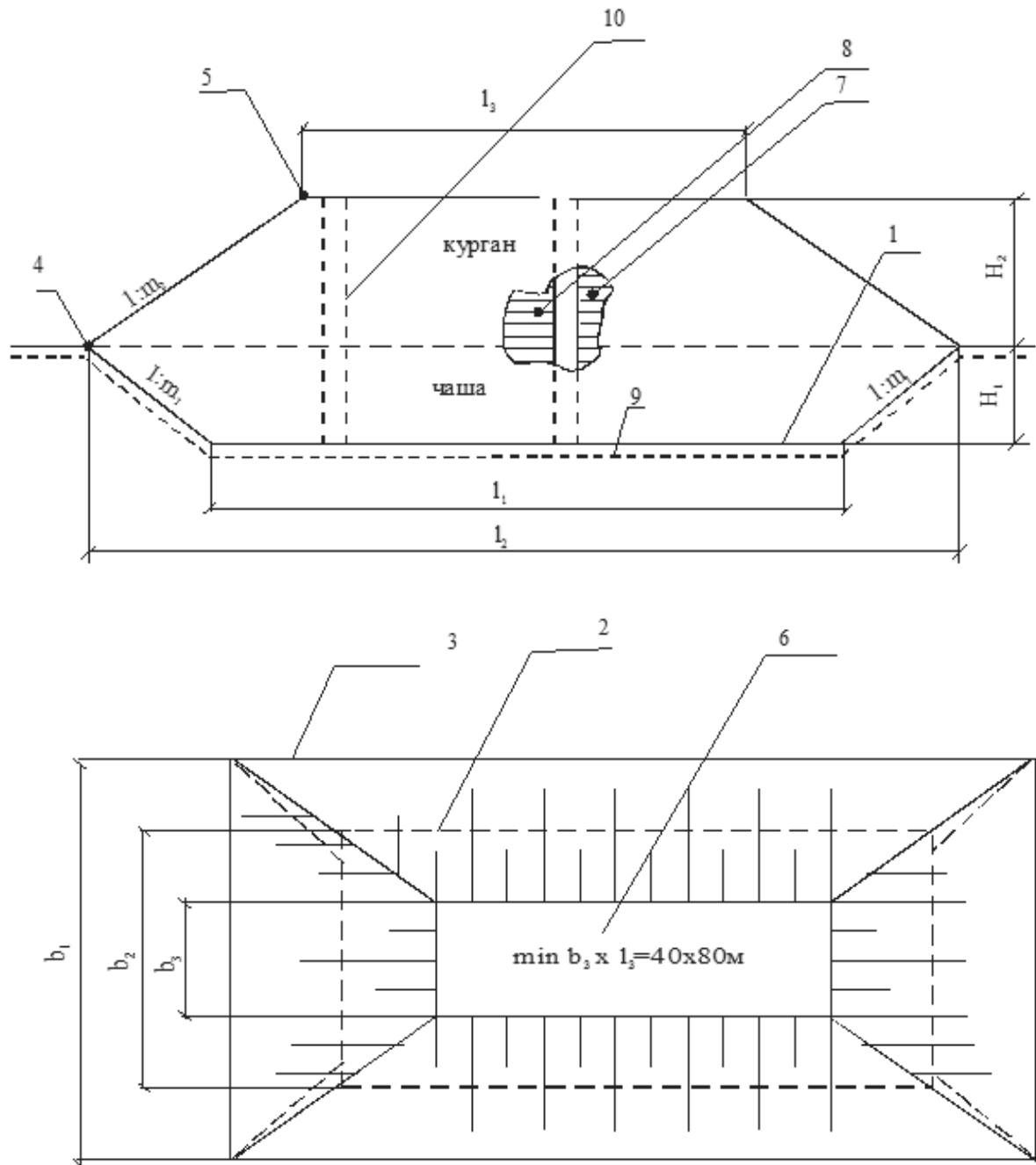
Рисайклингом называют рационализированную систему сбора и переработки компонентов ТБО в продукты, имеющие потребительскую стоимость. Он начинается с раздельного сбора и идентификации отходов, пригодных для повторной переработки. Затем следует сортировка по типу сырья и переработка.

Ежегодно в Республике Беларусь образуется примерно 40...50 млн т твердых промышленных и бытовых отходов. Около 30 % из них перерабатывается, а основная часть утилизируется.

Устройство и возведение полигона ТБО.

Полигоны захоронения ТБО являются специальными природоохранительными сооружениями, предназначенными для сбора, хранения и обезвреживания отходов. Они также должны обеспечивать высокую степень экологической безопасности для окружающей среды. На полигонах ТБО утилизируются отходы от служб коммунального хозяйства, предприятий торговли, питания, некоторые виды промышленных отходов, не обладающие токсичными или радиоактивными свойствами, а также строительный и уличный мусор.

В состав сооружений полигона ТБО входят чаша и курган (рисунок 3.1).



1 – дно скважины; 2 – нижний периметр (контур) чаши; 3 – верхний контур чаши (нижний периметр кургана); 4 – бровка откоса чаши (подошва откоса кургана); 5 – бровка откоса кургана; 6 – верхняя площадка; 7 – рабочий пласт ТО мощностью 2 м; 8 – изоляционный слой грунта толщиной 0,25 м; 9 – водопроницаемый экран; 10 – колодец сбора биогаза; l – длина полигона; b – ширина

Рисунок 3.1 – Схема полигона ТБО

Чаша представляет собой выемку с изолирующим экраном для защиты грунтовой среды от фильтратной жидкости. Глубина выемки H_1 и высота кургана H_2 рассчитываются исходя из предполагаемого объема накопления отходов в течение 15–25 лет, а на расчетный период 15 лет – приводятся в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Ориентировочные значения величин площади участка складирования

В гектарах

Количество проживающих, тыс. чел.	Высота складирования отходов, м					
	12	20	25	35	45	60
50	6,5	4,5...5,5	–	–	–	–
100	12,5	8,5	6,5...7,5	–	–	–
250	31,0	21,0	16,0	11,5	–	–
500	61,0	41,0	31,0	23,0	16,5...20	–
750	91,0	61,0	46,0	34,0	26,0	–
1000	121,0	81,0	61,0	45,0	35,0	27,0...31,0

Высота откоса H_1 при устройстве строительного котлована под будущую чашу определяется по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения для заданного коэффициента устойчивости η (формула проф. Г. И. Тер-Степаняна – проф. М. Н. Гольдштейна):

$$\eta = f \cdot A + \left[\frac{c}{\gamma H_1} \right] B, \quad (3.1)$$

где f – коэффициент внутреннего трения, $f = \operatorname{tg} \varphi$;

φ – угол внутреннего трения грунта основания, град;

c – удельное сцепление, кПа;

γ – собственный вес грунта, кН/м³;

A и B – коэффициенты, зависящие от геометрических размеров сползающего клина, при условии прохождения поверхности скольжения через подошву откоса (принимаются по таблице 3.2).

Таблица 3.2 – Коэффициенты, зависящие от геометрических размеров сползающего клина

Коэффициент	Заложение откоса 1: m_1								
	1:1	1:1,25	1:1,5	1:1,75	1:2	1:2,25	1:2,5	1:2,75	1:3
A	2,37	2,64	2,64	2,87	3,23	3,19	3,53	3,59	3,59
B	5,79	6,05	6,50	6,58	6,70	7,27	7,30	8,02	8,91

Исходя из формулы (3.1), высота откоса H_1 котлована при принятом значении величины η вычисляется следующим образом:

$$H_1 = \frac{c \cdot B}{\gamma (\eta - f \cdot A)}. \quad (3.2)$$

Контуры кургана назначаются исходя из рекомендуемого заложения его

откосов $m_2 = 1:3 \dots 1:4$.

Высота складирования H_2 , м, определяется исходя из условия заложения внешних откосов $1: m_2$ и необходимости иметь размеры верхней площадки не менее 40×80 м для обеспечения работы мусоровозов и бульдозеров. Каждый пласт ТБО имеет мощность 2 м, а на него укладывают изоляционный грунтовый слой толщиной 0,25 м.

Расчет вместимости полигона и объема отходов.

1 В соответствии с заданным количеством жителей города и пользуясь данными таблицы 3.1, определяем площадь S , га, участка прямоугольной формы. Принято считать, что наиболее экономичны земельные участки, близкие по форме к прямоугольнику с соотношением сторон $l_2 : b_2 = (1,7 \dots 2,1):1$.

2 После установления длины l_2 и ширины b_2 земельного участка определяются размеры строительного котлована (чаши). Его глубина H_1 определяется по формуле (3.2).

Размеры l_1 , b_1 , м, площади дна котлована:

$$l_1 = l_2 - 2[H_1 / (1 : m_1)] = l_2 - 2m_1H_1; \quad (3.3)$$

$$b_1 = b_2 - 2[H_1 / (1 : m_1)] = b_2 - 2m_1H_1. \quad (3.4)$$

Размеры l_3 , b_3 , м, верхней площадки кургана:

$$l_1 = l_2 - 2[H_2 / (1 : m_2)] = b_2 - 2m_1H_1; \quad (3.5)$$

$$b_3 = b_2 - 2[H_2 / (1 : m_2)] = b_2 - 2m_2H_2. \quad (3.6)$$

3 Объем V_1 , м³, чаши захоронения (формула как для усеченной правильной пирамиды) определяется как

$$V_1 = \frac{1}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})H_1, \quad (3.7)$$

где S_1 – площадь дна котлована, м²; $S_1 = b_1 \cdot l_1$;

S_2 – площадь сечения в уровне бровки откоса чаши, м²; $S_2 = b_2 \cdot l_2$.

4 Объем V_2 , м³, кургана захоронения вычисляется по формуле

$$V_2 = \frac{1}{3}(S_2 + S_3 + \sqrt{S_2 \cdot S_3})H_2, \quad (3.8)$$

где S_3 – площадь сечения в уровне верхней площадки, м².

5 Общая вместимость полигона V , м³, рассчитывается как

$$V = V_1 + V_2. \quad (3.9)$$

6 Потребность в изолирующем материале (грунте) определяется по формуле

$$V_{gp} = V(1 - 1/\kappa), \quad (3.10)$$

где κ – коэффициент коррекции вместимости полигона вследствие введения слоя грунта изоляции, $\kappa = 1,25$.

7 Общий объем $V_{ТБО}$, м³ складирования отходов на полигоне

$$V_{ТБО} = V - V_{gp}. \quad (3.11)$$

Расчет выделяющегося биогаза.

В толще складированной массы отходов идет биотермический анаэробный процесс распада органических веществ. Конечным продуктом этого процесса является биогаз, основу которого составляют метан и диоксид углерода. Биогаз также содержит пары воды, сероводород, аммиак, оксид углерода, оксиды азота и ряд других вредных примесей. Ориентировочная продолжительность периода образования биогаза составляет 10–30 лет, а максимальное выделение его с поверхности полигона приходится на седьмой год хранения.

1 Объем V_3 , м³, и масса M_3 , т, образующегося в течение года биогаза рассчитываются по формулам

$$V_3 = M_{ТБО} \cdot W_{y\delta}; \quad (3.12)$$

$$M_3 = V_3 \cdot \rho_3, \quad (3.13)$$

где $M_{ТБО}$ – масса ТБО, завезенная на полигон;

$$M_{ТБО} = V_{ТБО} \cdot \rho_{ТБО}; \quad (3.14)$$

$\rho_{ТБО}$ – плотность отходов, $\rho_{ТБО} = 0,75$;

$W_{y\delta}$ – удельный выход биогаза, $W_{y\delta} = 5,1$ м³/т;

ρ_3 – плотность биогаза, $\rho_3 = 1,248$ кг/м³.

2 Суточные объем V_{3C} , м³/сут, и масса M_{3C} , кг, биогаза находятся по формулам

$$V_{3C} = V_3 / 365; \quad (3.15)$$

$$M_{3C} = V_{3C} \cdot \rho_3. \quad (3.16)$$

3 Выбросы M_i , т/год, основных загрязняющих ингредиентов в атмосферу

$$M_i = \frac{M_{ТБО} \cdot M_{Bi}}{100000}, \quad (3.17)$$

где M_{Bi} – параметр выброса i -го вещества, принимаемый по данным таблицы 3.3.

Таблица 3.3 – Параметры выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферу полигоном ТБО вместимостью 100000 т

Наименование веществ	$ПДК_{MP}$, мг/м ³	$ПДК_{cc}$, мг/м ³	Класс опасности	Выброс, M_{Bi} , т/год
Азота диоксид	0,085	0,04	2	0,70973
Аммиак	0,2	0,04	4	0,39108
Ангидрид сернистый	0,5	0,05	3	0,05
Бензол (С ₆ Н ₆)	1,5	0,1	2	0,00114
Дихлорэтан	3	1	2	0,048
О-крезол	0,028	–	2	0,1176
Метан	100	25	4	115,69
Метилбензол (толуол)	0,6	0,6	3	0,1
Пропан	100	25	4	0,02
Сероводород	0,008	–	2	0,0652
Углерода оксид	3	3	4	1,2
Хлорэтан	–	0,2	4	0,044

Расчет сточных вод полигона.

В результате протекания процесса анаэробного разложения ТБО и проникновения внутрь тела полигона воды и влаги образуется фильтрат, представляющий собой темную, дурно пахнущую жидкость. Основными источниками образования сточных вод полигона являются: атмосферные осадки; избыточная влага складированных отходов, удаляемая из них при укладке с уплотнением; потребление воды на хозяйственно-бытовые нужды.

1 Суточный объем $V_{4,ф}$, м³, фильтрата, выделяющийся с уложенной массы отходов, определяется по формуле

$$V_{4,ф} = \kappa_1(Q_1 + Q_2)/365, \quad (3.18)$$

где κ_1 – коэффициент, учитывающий влагопоглощающую и испарительную способность бытовых отходов, $\kappa_1 = 0,1 \dots 0,15$;

Q_1 – суммарное годовое количество осадков, м³/год, выпадающих на поверхность отходов,

$$Q_1 = S_2 \cdot \bar{h}; \quad (3.19)$$

\bar{h} – среднегодовая норма осадков, м;

Q_2 – суммарное годовое количество прочих вод, м³/год, распределяемых по поверхности отходов,

$$Q_2 = K_L \cdot N \cdot n_m; \quad (3.20)$$

K_L – расход воды на мойку одного контейнера, $K_L = 0,06 \text{ м}^3$;

N – число контейнеров в сутки;

n_m – число дней в году, когда осуществляется мойка контейнеров, $n_m = 160$.

2 Содержание веществ в фильтрате по видам для проектируемого полигона за сутки Q_c , кг, и за год Q_z , т, при хранении отходов:

$$Q_c = 10^{-3} V_{4,\phi} \cdot C_\phi; \quad (3.21)$$

$$Q_z = Q_c \cdot 365, \quad (3.22)$$

где C_ϕ – концентрация вещества (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Концентрация вещества в фильтрате

Наименование вещества	Концентрация вещества в фильтрате C_ϕ , мг/л		
	ПДК	в период образования	при хранении
Хлориды	350	1550...3000	1550...3000
Сульфаты	500	300...500	5...30
Взвешенные частицы	0,75 к фону	130...600	130...600
Железо общее	0,3	50,0	4...25
Медь	0,5	0,08...2,0	0,08...2,0
Цинк	1,0	0,6...1,0	0,3...0,5
Марганец	0,1	0,8...1,2	0,8...1,2
Никель	0,1	0,2...0,4	0,2...0,4
Фосфаты	3,5	8,5...15	8,5...15
Азот аммонийных солей	1,0	100...1200	100...1200
Азот нитратов	10,2	70...500	70...500
Хром	0,5	0,11...0,5	0,11...0,5
Нефтепродукты	0,3	0,7...1,0	–

Мероприятия по защите окружающей среды от воздействия полигона ТБО.

1 *Мониторинг выбросов.* В процессе образования выбросов загрязняющих веществ полигоном ТБО осуществляют контроль за:

- работой технологического оборудования;
- соблюдением регламентов технологического процесса;
- составом атмосферного воздуха и химизмом грунтовых вод по внешнему периметру границы СЗЗ.

2 *Отвод биогаза.* Для исключения скопления биогаза в теле полигона предусматривается его отвод через сеть дегазационных колодцев. За основу конструкции приняты сборные железобетонные колодцы диаметром 1500 мм.

На поверхности защитного экрана устанавливается плита днища диаметром 2 м, на ней монтируются железобетонные кольца. Монтаж колец произво-

дится без заделки стыков, с засыпкой внутренней полости щебнем. С наружной стороны выполняется фильтрующая обсыпка кольцевым слоем толщиной 0,15...0,35 м. Перед укладкой изолирующего слоя в массу отходов укладывают радиальные газопроводы из полиэтиленовых труб с выводом их в дегазационные вертикальные колодцы. Законченный колодец сверху перекрывают шатровой крышкой с газовыпуском.

Разогретый внутри массива отходов до 40 °С...50 °С биогаз легче воздуха. Из толщи отходов по газопроводам и фильтрующей обсыпке он проникает во внутреннюю полость колодцев и поднимается вверх. Отвод его в атмосферу осуществляется через дефлекторы.

3 *Сбор и обезвреживание фильтрата.* Жидкий сток с участка захоронения отходов собирается специальной дренажной системой из перфорированных пластмассовых труб. Далее по сборному магистральному коллектору он самотеком сбрасывается в колодцы-отстойники за пределы карты складирования. В колодце-отстойнике монтируется насос. В летний период стоки перекачиваются в сборно-разборную систему трубопроводов для разлива по поверхности карт складирования полигона.

Излишки стоков фильтрата удаляются из колодцев ассенизационной машиной и вывозятся на городские очистные сооружения.

Для отвода потока незагрязненных атмосферных и талых вод с участка и предотвращения подтопления полигона по его периметру устраиваются бетонные лотки сечением 0,5×0,5 м со сбором вод в понижения рельефа.

4 *Рекультивация полигонов.* Процесс рекультивации захороненных отходов начинается после завершения складирования и перехода свалочного материала в стабилизированное состояние и состоит из двух этапов – технического и биологического.

На первом этапе выполняются геологические, гидрогеологические, геофизические, ландшафтно-геохимические исследования. Этот этап включает также планировку, формирование откосов, строительство дорог, гидротехнических и других сооружений. На биологическом этапе осуществляются работы по восстановлению нарушенных земель.

3.2 Практическая часть

В соответствии с заданным количеством жителей города (см. таблицу 3.1) определить необходимую вместимость полигона ТБО, объемы выделяющегося биогаза и сточных вод. Провести необходимые расчеты и оформить отчет. Содержание отчета включает в себя цель работы, исходное задание, формулы и результаты расчетов.

1 Исходные данные варианта (значения величин γ , c , φ , η , m_1 , \bar{h} и N) принять согласно таблице 3.5.

2 Выполнить расчет по определению вместимости полигона, объемов отходов и грунта изоляционных слоев (см. формулы (3.1)–(3.11)).

3 Определить объемы биогаза, выделяющегося при деструкции органики в

складируемой массе (см. формулы (3.12)–(3.17)).

4 Рассчитать объемы фильтратных стоков и массы, содержащихся в них загрязняющих веществ (см. формулы (3.18)–(3.22)).

5 Сделать вывод о влиянии полигона на окружающую среду.

Таблица 3.5 – Варианты заданий для проектирования полигона ТБО

Номер варианта	Количество жителей, тыс. чел.	Наименование грунта основания	Собственный вес грунта γ , кН/м ³	Удельное сцепление грунта C , кПа	Угол внутреннего трения φ , град	Коэффициент устойчивости откоса η	Заложение откосов чаши $1 : m_1$	Региональная норма осадков \bar{h} , м/год	Число контейнеров в сутки N
1	50	Песок	16	1,7	35	1,2	1:1	0,52	150
2	60	Супесь	19	18	24	1,5	1:1,5	0,498	160
3	70	Суглинок	20,5	37	15	1,7	1:2,5	0,5	155
4	90	Песок	17	2	30	1,25	1:1	0,55	180
5	100	Супесь	18,5	7	28	1,4	1:1,75	0,62	200
6	110	Суглинок	20	34	19	1,8	1:2,25	0,633	220
7	100	Глина	22,5	40	14	1,9	1:2,5	0,61	230
8	250	Супесь	17,2	17	25	1,6	1:1,25	0,62	300
9	270	Суглинок	20,9	38	14	1,8	1:2,75	0,6	350
10	280	Глина	22	42	9	1,9	1:3	0,58	320
11	300	Песок	16	1,5	38	1,15	1:1	0,6	310
12	350	Супесь	18	19	23	1,5	1:2	0,498	350
13	400	Глина	20,8	39	18	1,8	1:2,5	0,54	400
14	450	Глина	22	43	8,5	1,9	1:3	0,64	420
15	500	Супесь	19	18	23	1,4	1:2,5	0,630	450
16	500	Суглинок	21	38	14	1,7	1:2,75	0,54	450
17	750	Глина	22	41	13	1,9	1:3	0,62	500
18	750	Песок	16	1,6	39	1,15	1:1	0,65	520
19	50	Песок	16	1,7	35	1,2	1:1,5	0,52	150
20	60	Супесь	19	18	24	1,5	1:1,5	0,498	160
21	70	Суглинок	20,5	37	15	1,7	1:2,5	0,5	155
22	90	Песок	17	2	30	1,25	1:1	0,55	180
23	100	Супесь	18,5	7	28	1,4	1:1,75	0,62	200
24	110	Суглинок	20	34	19	1,8	1:2,25	0,633	220
25	100	Глина	22,5	40	14	1,9	1:2,5	0,61	230
26	250	Супесь	17,2	17	25	1,6	1:1,25	0,62	300
27	270	Суглинок	20,9	38	14	1,8	1:2,75	0,6	350
28	280	Глина	22	42	9	1,9	1:3	0,58	320

Контрольные вопросы

- 1 Классификация отходов производства и отходов потребителя.
- 2 Методы обращения с отходами.
- 3 Состав и устройство полигонов ТБО.
- 4 Методы снижения воздействия полигонов ТБО на окружающую среду.

4 Практическая работа № 4. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании твердого топлива

Цель работы: изучить методику и выполнить расчет выбросов загрязняющих веществ в результате сжигания твердого топлива от установок, мощностью до 25 МВт.

4.1 Теоретическая часть

Концентрация загрязняющего вещества (ЗВ) в сухих дымовых газах – концентрация вещества, измеренная за котлом, пересчитанная на сухой дымовой газ и приведенная к условному коэффициенту избытка воздуха $\alpha_T = 1,4$ и нормальным условиям.

Максимальный выброс ЗВ – максимальное количество ЗВ, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами.

Валовый выброс ЗВ – количество ЗВ, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами за рассматриваемый период (год, квартал, месяц).

Сжигание топлива для получения тепловой и электрической энергии оказывает негативное воздействие на состояние окружающей среды. При сжигании твердого топлива образуются оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, твердые частицы, бенз(а)пирен. Рассчитывают максимальные и валовые выбросы загрязняющих веществ в соответствии с ТКП 17.08-01–2006 (02120) для котлов теплопроизводительностью до 25 МВт.

Определение выбросов оксидов азота.

Методика определения выбросов оксидов азота состоит из двух этапов. Первоначально определяют максимальные и валовые выбросы для всех оксидов азота суммарно, а затем производится перерасчет на диоксид и оксид азота. Оксид азота для максимального выброса, как правило, не определяется.

Максимальный выброс оксидов азота M_{NOx} , г/с, определяется по формуле

$$M_{NOx} = B_S \cdot Q_i^r \cdot K_{NOx}^T (\max) \cdot \beta_p, \quad (4.1)$$

где Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

β_p – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, $\beta_p = 1$;

B_S – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, кг/с.

$$B_S = \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot B^f, \quad (4.2)$$

где q_4 – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %;

B^f – фактический расход топлива на работу котла при максимальном режиме горения, кг/с.

$$B^f = \frac{100 \cdot N}{Q_i^r \cdot \eta}, \quad (4.3)$$

где N – расчетная нагрузка котла, МВт;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

η – КПД котла на расчетной нагрузке, %.

Удельный выброс оксидов азота при расчете максимального выброса определяется по формуле

$$K_{NOx}^T (\max) = 10^{-3} \cdot H_T \cdot \alpha_T \cdot K_T \cdot \sqrt{B_S \cdot (Q_i^r)^3}, \quad (4.4)$$

где H_T – характеристика топлива;

α_T – коэффициент избытка воздуха;

B_S – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке (см. формулу (4.2));

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

K_T – коэффициент выброса азота оксидов (для костры $K_T = 0,3$, для остальных видов топлива $K_T = 0,4$).

С учетом трансформации оксидов азота в атмосфере, выбросы диоксида азота вычисляются по формуле

$$M_{NO_2} = 0,8 \cdot M_{NOx}, \quad (4.5)$$

где M_{NOx} – максимальный выброс оксидов азота (см. формулу (4.1));

M_{NO_2} – максимальный выброс диоксида азота, г/с.

Валовый выброс оксидов азота M_{NOx}^{te} , т/год, определяется по формуле

$$M_{NOx}^{te} = 10^{-3} \cdot B_S^T \cdot Q_i^r \cdot K_{NOx}^T (\text{вал}) \cdot \beta_p, \quad (4.6)$$

где Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

β_p – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, $\beta_p = 1$;

B_S^T – расчетный расход топлива, т/год.

$$B_S^T = \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot B, \quad (4.7)$$

где q_4 – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %;

B – фактический расход топлива, т/год.

Удельный выброс оксидов азота при расчете валового выброса вычисляется по формуле

$$K_{NOx}^T (\text{вал}) = 10^{-3} \cdot H_T \cdot \alpha_T \cdot K_T \cdot \sqrt{B^{te} \cdot (Q_i^r)^3}, \quad (4.8)$$

где H_T – характеристика топлива;

α_T – коэффициент избытка воздуха;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

K_T – коэффициент выброса азота оксидов (для костры $K_T = 0,3$, для остальных видов топлива $K_T = 0,4$);

B^{te} – расчетный расход топлива на работу котла, т/год.

$$B^{te} = \frac{B_S^T}{3,6 \cdot T}, \quad (4.9)$$

где T – общее количество часов работы котла за год на данном виде топлива, ч;

B_S^T – расчетный расход топлива, т/год (см. формулу (4.7)).

Для валовых выбросов оксидов азота также производится пересчет по формулам:

$$M_{NO_2}^{te} = 0,8 \cdot M_{NOx}^{te}; \quad (4.10)$$

$$M_{NO}^{te} = 0,13 \cdot M_{NOx}^{te}, \quad (4.11)$$

где M_{NOx}^{te} – валовый выброс оксидов азота, т/год (см. формулу (4.6));

$M_{NO_2}^{te}$ – валовый выброс диоксида азота, т/год;

M_{NO}^{te} – валовый выброс оксида азота, т/год.

Определение выбросов диоксида серы.

Максимальный выброс серы диоксида M_{SO_2} , г/с, определяется по формуле

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B^f \cdot S^r(\max) \cdot (1 - \eta_{s1}) \cdot (1 - \eta_{s2}) \cdot 10^3, \quad (4.12)$$

где B^f – фактический расход топлива на работу котла при максимальном режиме горения, кг/с (см. формулу (4.3));

$S^r(\max)$ – максимальное содержание серы в рабочей массе топлива, %;

η_{s1} – доля серы оксидов, связываемых летучей золой в котле;

η_{s2} – доля серы оксидов, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц, $\eta_{s2} = 0$.

Валовый выброс серы диоксида $M_{SO_2}^{te}$, т/год, рассчитывается по формуле

$$M_{SO_2}^{te} = 0,02 \cdot B \cdot S^r(\text{вал}) \cdot (1 - \eta_{s1}) \cdot (1 - \eta_{s2}), \quad (4.13)$$

где B – фактический расход топлива за год, т/год;

$S^r(\text{вал})$ – среднее содержание серы в рабочей массе топлива, %.

Определение выбросов оксида углерода.

Максимальный выброс углерода оксида M_{CO} , г/с, находят по формуле

$$M_{CO} = B_S \cdot C_{CO}(\max), \quad (4.14)$$

где B_S – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, кг/с (см. формулу (4.2));

$C_{CO}(\max)$ – выход оксида углерода при расчете максимального выброса, г/кг.

$$C_{CO}(\max) = q_3(\max) \cdot R \cdot Q_i^r, \quad (4.15)$$

где $q_3(\max)$ – потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %;

R – коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Валовый выброс углерода оксида M_{CO}^{te} , т/год, определяется по формуле

$$M_{CO}^{te} = 10^{-3} \cdot B_s^t \cdot C_{CO}(\text{вал}), \quad (4.16)$$

где B_s^t – расчетный расход топлива, т/год (см. формулу (4.7));

$C_{CO}(\text{вал})$ – выход оксида углерода при сжигании топлива при расчете максимального выброса, г/кг.

$$C_{CO}(\text{вал}) = q_3(\text{вал}) \cdot R \cdot Q_i^r, \quad (4.17)$$

где $q_3(\text{вал})$ – потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %;

R – коэффициент, учитывающий долю потерю тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Определение выбросов твердых частиц.

Максимальный выброс твердых частиц M_{PM} , г/с, находят по формуле

$$M_{PM} = 0,01 \cdot B^f \cdot (1 - \eta_C) \cdot \left(\alpha_{ab} \cdot A^r + q_{ab} \cdot \frac{Q_i^r}{32,68} \right) \cdot 10^3, \quad (4.18)$$

где B^f – фактический расход топлива на работу котла при максимальном режиме горения, кг/с (см. формулу (4.3));

η_C – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях, $\eta_C = 0$;

α_{ab} – доля золы, уносимой газами из котла;

A^r – максимальная зольность топлива на рабочую массу, %;

q_{ab} – потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива, %;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Валовый выброс твердых частиц M_{PM}^{te} , т/год, рассчитывается по формуле

$$M_{PM}^{te} = 0,01 \cdot B \cdot (1 - \eta_C) \cdot \left(\alpha_{ab} \cdot A^r + q_{ab} \cdot \frac{Q_i^r}{32,68} \right), \quad (4.19)$$

где B – фактический расход топлива, т/год;

η_C – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях, $\eta_C = 0$;

α_{ab} – доля золы, уносимой газами из котла;

A^r – максимальная зольность топлива на рабочую массу, %;

q_{ab} – потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива, %;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Определение выбросов бенз(а)пирена при слоевом сжигании твердых топлив.

Максимальная концентрация бенз(а)пирена C_{bp} , мг/м³, в дымовых газах определяется по формуле

$$C_{bp} = 10^{-6} \cdot \left(\frac{H_T \cdot (Q_i^r)^2 - \frac{P}{t_H}}{e^{0,12 \cdot (\alpha_T - 1)}} \right) \cdot \frac{\alpha_T}{1,4} \cdot K_n \cdot K_d, \quad (4.20)$$

где H_T – характеристика топлива;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

α_T – коэффициент избытка воздуха;

t_H – температура насыщения пара, $t_H = 70$ °С;

P – коэффициент, характеризующий температурный уровень экранов, $P = 290$;

K_d – коэффициент, учитывающий степень улавливания бенз(а)пирена золоуловителем, $K_d = 1$;

K_n – коэффициент, учитывающий нагрузку котла.

$$K_n = \left(\frac{Q_n}{Q_f} \right)^{1,2}, \quad (4.21)$$

где Q_n – номинальная теплопроизводительность котла;

Q_f – фактическая теплопроизводительность котла.

Средняя концентрация бенз(а)пирена C_{bp} (ср), мг/м³, в дымовых газах рассчитывается по формуле

$$C_{bp} (\text{ср}) = 10^{-6} \cdot \left(\frac{H_T \cdot (Q_i^r)^2 - \frac{P}{t_H}}{e^{0,12 \cdot (\alpha_T - 1)}} \right) \cdot \frac{\alpha_T}{1,4}, \quad (4.22)$$

где H_T – характеристика топлива;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

α_T – коэффициент избытка воздуха;

t_H – температура насыщения пара, $t_H = 70$ °С;

P – коэффициент, характеризующий температурный уровень экранов, $P = 290$.

Максимальный выброс бенз(а)пирена M_{bp} , мг/м³, определяется по формуле

$$M_{bp} = C_{bp} \cdot V_{dry} \cdot 10^{-3}, \quad (4.23)$$

где C_{bp} – максимальная концентрация бенз(а)пирена в дымовых газах, мг/м³;
 V_{dry} – объем сухих дымовых газов, м³/с.

$$V_{dry} = B_S \cdot V_{dry}^{1,4}, \quad (4.24)$$

где B_S – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, кг/с (см. формулу (4.2));

$V_{dry}^{1,4}$ – объем сухих дымовых газов при $\alpha_0 = 1,4$ и нормальных условиях.

Валовый выброс бенз(а)пирена M_{BP}^{te} , т/год, рассчитывается по формуле

$$M_{BP}^{te} = C_{bp}(\text{ср}) \cdot V_{dry}(\text{вал}) \cdot 10^{-6}, \quad (4.25)$$

где $C_{bp}(\text{ср})$ – средняя концентрация бенз(а)пирена в дымовых газах, мг/м³;

$V_{dry}(\text{вал})$ – объем сухих дымовых газов, т/год;

$$V_{dry}(\text{вал}) = B_S^t \cdot V_{dry}^{1,4}. \quad (4.26)$$

4.2 Практическая часть

Рассчитать выбросы ЗВ от мини-котельной мощностью N , работающей на твердом топливе. Исходные данные представлены в таблице 4.1. Результаты расчетов представить в форме таблицы 4.2. Оформить отчет.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета

Показатель	Обозначение	Вид используемого топлива				
		Щепа малоплотной древесины	Дрова	Опилки	Древесные отходы, обрезки	Костра для топливных нужд
1	2	3	4	5	6	7
Расход топлива, т/год	B	313	1914	6240	3150	4860
Теплопроизводительность котла, МВт	N	0,3	1,163	5,2	2,14	3,44
Номинальная теплопроизводительность котла, Гкал/ч	Q_n	300	1000	5000	2000	3400
Фактическая теплопроизводительность котла, Гкал/ч	Q_f	210	700	4650	1680	2990
КПД котла, %	η	85	80	85	90	80
Общее количество часов работы котла за год на данном виде топлива, ч	T	8760	8760	4320	3600	5040
Объем сухих дымовых газов при $\alpha_0 = 1,4$ и нормальных условиях, м ³ /с	$V_{dry}^{1,4}$	4,7	4,13	4,17	4,39	5,49
Низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг	Q_f^t	11,68	10,22	10,32	10,9	14,49

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7
Максимальное содержание серы в рабочей массе топлива	S^r (max)	0,10	0,05	0,05	0,05	0,15
Среднее содержание серы в рабочей массе топлива	S^r (вал)	0,10	0,05	0,05	0,05	0,15
Доля серы оксидов, связываемых летучей золой в котле	η_{s1}	0,58	0,69	0,55	0,63	0,55
Максимальная зольность топлива	A^r	3,0	0,6	0,6	0,6	2,5
Характеристика топлива	H_T	13,2	14,3	14,3	13,2	12,1
Коэффициент избытка воздуха в топке	α_T	2,5	2,5	2,0	2,5	2,0
Потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %	q_4	4,0	4,0	1,5	4,0	2,0
Потери тепла от химической неполноты сгорания топлива (max), %	q_3 (max)	0,7	0,7	0,5	0,7	0,5
Потери тепла от химической неполноты сгорания топлива (вал), %	q_3 (вал)	0,6	0,6	0,4	0,6	0,4
Коэффициент, учитывающий долю потерю тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива	R	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Доля золы, уносимая газами из котла	α_{ab}	0,15	0,2	0,2	0,2	0,25
Потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива	q_{ab}	2,5	1,0	0,7	1,2	0,5

Таблица 4.2 – Результаты расчетов максимальных и валовых выбросов загрязняющих веществ от мини-котельной, работающей на твердом топливе

Код ЗВ	Наименование ЗВ	Максимальный выброс, г/с	Валовый выброс, т/год
0301	Доксид азота		
0304	Оксид азота	Не определяется	
0703	Бенз(а)пирен		
0330	Диоксид серы		
2902	Твердые частицы (суммарно)		
0337	Оксид углерода		

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение валового и максимального выбросов ЗВ.
- 2 Выбросы каких ЗВ определяются при сжигании твердого топлива?
- 3 Дайте определение ПДК.

5 Практическая работа № 5. Определение площади зеленых насаждений для воспроизводства кислорода в городе

Цель работы: изучить методику и рассчитать потребность в площади древесно-кустарниковой растительности для выработки кислорода на дыхание человека и работы автотранспорта в городах.

5.1 Теоретическая часть

Зеленые насаждения являются органической частью планировочной структуры современного города, выполняя санитарно-гигиенические и декоративно-планировочные функции.

К санитарно-гигиеническим функциям относятся:

1) *снижение запыленности воздуха.* Зеленые насаждения очищают городской воздух от пыли. Этот процесс происходит следующим образом. Загрязненный воздушный поток, встречающий на своем пути зеленый массив, замедляет скорость, в результате чего под влиянием силы тяжести 60 %...70 % пыли, содержащейся в воздухе, оседает на деревья и кустарники. Распространению или движению пыли препятствуют не только деревья и кустарники, но и газоны, которые задерживают поступательное движение пыли, перегоняемой ветром из разных мест. Среди зеленых насаждений запыленность воздуха в 2–3 раза меньше, чем на открытых городских территориях. Древесные насаждения уменьшают запыленность воздуха даже при отсутствии лиственного покрова.

Пылезадерживающие свойства различных пород деревьев и кустарников неодинаковы и зависят от морфологических особенностей листьев. Лучше всего задерживают пыль шершавые листья и листья, поверхность которых покрыта ворсинками, как у сирени. Если принять количество пыли, задерживаемой 1 см² поверхности листа тополя за единицу, то количество пыли, удерживаемой таким же по площади листом клена остролистного, составит 2, сирени 3, вяза 6. На листовой поверхности одного взрослого дерева осаждается за летний период пыли: вяз шероховатый – до 23 кг, тополь канадский – до 34 кг, вяз перистоветвистый – до 18 кг, сирень – до 0,6 кг, ясень – до 27 кг, ива – до 38 кг, клен – до 33 кг, акация белая – до 0,2 кг;

2) *снижение загазованности воздуха.* Зеленые насаждения значительно уменьшают вредную концентрацию находящихся в воздухе газов. Например, концентрация окислов азота, выбрасываемых промышленными предприятиями, снижается на расстоянии 1 км от места выбросов до 0,7 мг/м³, а при наличии зеленых насаждений – до 0,13 мг/м³. Вредные газы поглощаются растениями, а твердые частицы аэрозолей оседают на листьях, стволах и ветках растений.

Газозащитная роль зеленых насаждений во многом определяется степенью их газоустойчивости. К слабоповреждаемым породам относятся вяз (шершавый и гладкий), ель колючая, ива древовидная, клен ясенелистый, осина, тополь (берлинский, бальзамический, канадский и черный), яблоня сибирская, акация желтая, боярышник сибирский, вишня дикая, калина обыкновенная, смородина черная, сирень обыкновенная; к среднеповреждаемым – береза бородавчатая, ель Энгель-

мана, лиственница сибирская, рябина обыкновенная, ива корзиночная, клен татарский и т. д. Растения с повышенной интенсивностью фотосинтеза имеют меньшую устойчивость к газам. Хорошими поглотителями свинца по обочинам дорог считаются белая акация, сирень, береза бородавчатая, барбарис.

Особенностью зеленых насаждений является также то, что они в результате фотосинтеза поглощают из воздуха углекислый газ и выделяют кислород. В среднем 1 га хорошего леса поглощает ежегодно до 6,5 т углерода и выделяет при этом около 5 т кислорода. На участках со средним древостоем поглощается соответственно углерода 4,1 т и выделяется 3,2 т кислорода. Разные породы древесно-кустарниковых растений обладают неодинаковой интенсивностью фотосинтеза и поэтому выделяют различное количество кислорода. Дерево с большей лиственной массой выделяет больше кислорода;

3) *фитонцидное действие*. Большинство растений выделяет летучие и нелетучие вещества – *фитонциды*, обладающие способностью убивать вредные для человека болезнетворные бактерии или тормозить их развитие. Например, фитонциды дубовой листвы уничтожают возбудителя дизентерии, фитонциды почек тополя, антоновских яблок, эвкалипта губительно действуют на вирус гриппа, фитонциды капусты задерживают рост палочки Коха, фитонциды чеснока и черемши убивают и те и другие.

К числу ярко выраженных фитонцидных деревьев и кустарников относятся береза, дуб, тополь, черемуха. Известно более 500 видов деревьев, имеющих фитонцидные свойства. Особенно много фитонцидов образуют хвойные породы; 1 га можжевельника выделяет в сутки 30 кг летучих веществ. Большое количество фитонцидов (20...25 кг) выделяют сосна и ель. Благодаря способности растений выделять фитонциды воздух парков содержит в 200 раз меньше бактерий, чем воздух улиц. В определенных дозах фитонциды благотворно влияют на нервную систему человека, усиливают двигательную активность, способствуют улучшению обмена веществ;

4) *ветрозащита*. В практике градостроительного проектирования нередко возникает необходимость защиты городской застройки от неблагоприятных ветров. В этом случае поперек основного ветрового потока устраивают защитные полосы зеленых насаждений. Защитная роль полос зеленых насаждений определяется их плотностью и расположением, а также типом застройки. Ветрозащитными свойствами обладают зеленые насаждения даже сравнительно небольшой высоты и плотности посадки. Ветрозащитное влияние неширокой зеленой полосы, состоящей из восьми рядов деревьев высотой 15...17 м, отмечается на расстоянии 300...600 м. В этой зоне скорость ветра составляет 25 %...30 % первоначальной. Наиболее эффективны ажурные защитные полосы, пропускающие сквозь себя до 40 % ветра всего потока;

5) *регуляция температуры и влажности воздуха*. Зеленые насаждения, защищая почву и поверхности стен зданий от прямого солнечного облучения, предохраняют их от сильного перегрева и тем самым от повышения температуры воздуха. Температура воздуха внутри зеленого массива в среднем на 2 °С...3 °С ниже, чем внутри городского квартала. Наиболее эффективно снижают температуру растения с крупными листьями, которые значительно

часть энергии отражают не поглощая и таким образом способствуют снижению количества солнечной энергии. На степень смягчения температурного режима на озелененных участках по сравнению с открытыми пространствами влияют размеры озелененной территории, а также плотность посадок деревьев и кустарников. Небольшие площади зеленых насаждений и редкая древесная посадка незначительно снижают температуру воздуха.

Нагреваясь, поверхность листьев деревьев и кустарников испаряет в воздух большое количество влаги. Так, один хорошо развитый бук испаряет в день около 0,6 т воды. Если принять относительную влажность на улице равной 100 %, то в жилом квартале с озеленением влажность будет составлять 116 %, на бульваре – 205 %, в парке – 204 %. Повышение влажности на 15 % воспринимается организмом как понижение температуры на 3,5 °С. Даже неширокие древесно-кустарниковые полосы (10,5 м) уже на расстоянии 600 м увеличивают влажность воздуха на 8 % по сравнению с открытой площадью. Влажностный режим среди зеленых насаждений в жаркую погоду является смягченным и не имеет таких резких колебаний, как на открытых участках;

б) *шумозащита*. Зеленые насаждения, располагаемые между источниками шума (транспортные магистрали, электропоезда и т. д.) и жилыми домами, участками для отдыха и спортивными площадками, снижают уровень шума на 5 %...10 %. Кроны лиственных деревьев поглощают 26 % падающей на них звуковой энергии. Хорошо развитые кустарниковые и древесные породы с густой кроной на участке шириной в 30...40 м могут снижать уровни шума на 17...23 дБА, небольшие скверы и внутриквартальные посадки с редкими деревьями – на 4...7 дБА. Крупные лесные массивы снижают уровни шума авиационных моторов на 22 %...56 % по сравнению с открытым местом на том же расстоянии.

5.2 Практическая часть

Задача. Определите необходимую площадь зеленых зон в городах и вокруг городов для воспроизводства кислорода, расходуемого в результате дыхания людьми и работы двигателей внутреннего сгорания, а также массу поглощаемого углекислого газа и выделяемого кислорода.

Исходные данные. Объем легких среднестатистического человека составляет 2 л. Человек в среднем в минуту делает F выдохов (таблица 5.1). Содержание кислорода в воздухе $C_{атм.в.}$ составляет 20,8 %. При выдохе содержание кислорода в воздухе $C_{выдох}$ составляет 16,4 %. Средняя площадь земли, занимаемая одним взрослым деревом, $S_{крона1} = 8,5 \text{ м}^2$. Средний расход топлива $V_{топл}$ принять равным 10 л/100 км. Количество кислорода, расходуемое при сжигании 1 кг топлива, $K_{O_2} = 2,9 \text{ кг}$. Исходные данные по вариантам приведены в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Исходные данные к задаче

Вариант	Город	Численность населения $N_{жст}$, чел.	Количество машин на 1000 чел. k_a , шт.	Средний пробег автомобиля $L_{ср}$, км	Среднее количество вдохов F	Породный состав зеленых насаждений (доля деревьев i -й породы) c_i								
						Тополь	Липа	Клен плагано-видный	Клен вязо-лиственный	Береза	Дуб	Каштан	Сосна	Ель
1	Могилев	380440	281	29000	18	0,18	0,12	0,05	0,05	0,07	0,09	0,12	0,12	0,2
2	Гомель	535229	267	30000	22	0,13	0,15	0,08	0,04	0,03	0,15	0,18	0,19	0,05
3	Минск	1974800	322	33000	21	0,11	0,14	0,04	0,08	0,06	0,1	0,19	0,2	0,08
4	Витебск	377722	300	27000	19	0,14	0,09	0,03	0,06	0,12	0,04	0,08	0,2	0,24
5	Гродно	368662	352	31000	20	0,17	0,13	0,07	0,12	0,1	0,07	0,16	0,15	0,03
6	Брест	343985	321	28000	18	0,2	0,17	0,09	0,13	0,06	0,12	0,11	0,11	0,01
7	Борисов	142993	302	18000	22	0,24	0,09	0,05	0,09	0,08	0,08	0,1	0,25	0,02
8	Бобруйск	217940	273	19000	21	0,21	0,12	0,06	0,08	0,12	0,05	0,15	0,15	0,06
9	Орша	115938	259	15000	19	0,27	0,06	0,01	0,09	0,14	0,02	0,08	0,1	0,23
10	Новополоцк	102288	350	14000	20	0,18	0,08	0,03	0,12	0,13	0,03	0,07	0,11	0,25
11	Полоцк	85078	331	16000	21	0,15	0,07	0,02	0,11	0,2	0,02	0,08	0,09	0,26
12	Мозырь	111801	348	19000	18	0,13	0,08	0,1	0,12	0,03	0,2	0,15	0,18	0,01
13	Барановичи	179439	328	18000	22	0,14	0,1	0,12	0,14	0,05	0,18	0,09	0,16	0,02
14	Солигорск	106839	356	15000	21	0,3	0,09	0,11	0,13	0,04	0,17	0,09	0,06	0,01
15	Пинск	138045	268	14000	19	0,14	0,08	0,12	0,13	0,05	0,2	0,15	0,12	0,01
16	Молодечно	95233	328	27000	20	0,19	0,21	0,05	0,07	0,05	0,08	0,06	0,13	0,16

Таблица 5.2 – Выделение кислорода и поглощение углекислого газа лесным массивом площадью 1 га за вегетационный период

Порода дерева	Тополь	Липа	Клен плагано-видный	Клен вязолиственный	Береза	Дуб	Каштан	Сосна	Ель
Поглощение CO_2 g_i , т/га	46,2	16,5	24,2	24,5	15,7	29,7	26,3	11,0	6,6
Продуктивное O_2 p_i , т/га	34,9	12,5	20,8	19,6	11,3	22,5	21,2	9,0	5,0

Методические указания к выполнению задачи

1 Определить, сколько атмосферного воздуха среднестатистический человек пропускает через легкие за год, по формуле

$$V_6 = V_1 \cdot d \cdot F \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3, \quad (5.1)$$

где V_6 – общий объем воздуха, пропущенный человеком через свои легкие за год, л/год;

V_1 – объем легких среднестатистического человека, л;

d – коэффициент обмена воздуха в легких человека, $d = 0,3$;

F – количество вдохов и выдохов в минуту;

t_1 – минут в часе;

t_2 – часов в сутках;

t_3 – суток в году.

2 Рассчитать количество чистого кислорода V_{O_2} , л/год, в объеме пропущенного за год воздуха, используя формулу

$$V_{O_2} = V_6 \cdot \frac{c_{атм.в.} - c_{выдох}}{100}, \quad (5.2)$$

где $c_{атм.в.}$ – содержание кислорода в атмосферном воздухе, %;

$c_{выдох}$ – содержание кислорода в выдохе человека, %.

3 Определить массу кислорода, необходимого одному человеку для дыхания в год, $m_{O_2 1}$, кг/год, если плотность кислорода $\rho = 1,429$ кг/м³, по формуле

$$m_{O_2 1} = V_{O_2} \cdot \rho \cdot 10^{-3}. \quad (5.3)$$

4 Найти общую массу кислорода, необходимого для жизнеобеспечения в течение года населением всего города, m_{O_2} , т/год, по формуле

$$m_{O_2} = m_{O_2 1} \cdot N_{жит}, \quad (5.4)$$

где $N_{жит}$ – численность населения города, чел.

5 Рассчитать продуцирование кислорода существующими зелеными насаждениями города в течение года на 1 га деревьев соответствующих пород R_{O_2} , т/(га·год), по формуле

$$R_{O_2} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i, \quad (5.5)$$

где c_i – доля деревьев i -й породы;

p_i – удельное продуцирование кислорода деревьями i -й породы, т/га.

6 Определить необходимую площадь зеленых насаждений для обеспечения населения города кислородом $S_{дых}$, га, по формуле

$$S_{\text{дых}} = \frac{m_{\text{O}_2}}{R_{\text{O}_2}}. \quad (5.6)$$

7 Найти количество деревьев, соответствующих необходимой площади зеленых насаждений для обеспечения населения города кислородом, $N_{\text{дер дых}}$, шт., по формуле

$$N_{\text{дер дых}} = \frac{S_{\text{дых}}}{S_{\text{крона 1}}} \cdot 10^4, \quad (5.7)$$

где $S_{\text{крона 1}}$ – средняя площадь земли, занимаемая одним взрослым деревом.

8 Рассчитать количество автомобилей в городе n_a , шт., по формуле

$$n_a = \frac{N_{\text{жит}}}{1000} \cdot k_a, \quad (5.8)$$

где k_a – количество автомобилей на 1000 чел.

9 Определить количество кислорода, сжигаемое одной машиной в течение года, $m_{\text{O}_2 1a}$, кг/год, по формуле

$$m_{\text{O}_2 1a} = L_{\text{ср}} \cdot \frac{V_{\text{топл}}}{100} \cdot \rho_{\text{топл}} \cdot K_{\text{O}_2}, \quad (5.9)$$

где $L_{\text{ср}}$ – средний пробег одного автомобиля, км;

$V_{\text{топл}}$ – средний расход топлива на 100 км пробега, л/100 км;

$\rho_{\text{топл}}$ – коэффициент использования кислорода, $\rho_{\text{топл}} = 0,8$;

K_{O_2} – количество кислорода, расходуемое при сжигании 1 кг топлива, кг.

10 Рассчитать количество кислорода, расходуемого всеми автомобилями города, $m_{\text{O}_2 a}$, т/год, по формуле

$$m_{\text{O}_2 a} = m_{\text{O}_2 1a} \cdot n_a, \quad (5.10)$$

где n_a – количество автомобилей в городе, шт.

11 Определить необходимую площадь зеленых насаждений для компенсации расхода кислорода при сжигании в двигателях внутреннего сгорания $S_{\text{авт}}$, га, по формуле

$$S_{\text{авт}} = \frac{m_{\text{O}_2 a}}{R_{\text{O}_2}}. \quad (5.11)$$

12 Рассчитать количество деревьев, соответствующих необходимой площади зеленых насаждений для компенсации кислорода при сжигании в двигателях внутреннего сгорания, $N_{\text{дер авт}}$, шт., по формуле

$$N_{дер авт} = \frac{S_{авт}}{S_{крона 1}} \cdot 10^4. \quad (5.12)$$

13 Определить суммарную площадь зеленых насаждений, необходимых для компенсации расхода кислорода при дыхании и сжигании в двигателях внутреннего сгорания, $S_{общ}$, га, по формуле

$$S_{общ} = S_{дых} + S_{авт}. \quad (5.13)$$

14 Рассчитать поглощение CO_2 зелеными насаждениями города с учетом их породного состава R_{CO_2} , т/(га·год), по формуле

$$R_{CO_2} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot g_i, \quad (5.14)$$

где g_i – удельное поглощение углекислого газа деревьями i -й породы, т/га.

15 Определить массу CO_2 , которую будут поглощать полученные по расчету зеленые насаждения, m_{CO_2} , т/год, по формуле

$$m_{CO_2} = R_{CO_2} \cdot S_{общ}. \quad (5.15)$$

Пример решения задачи для варианта 16 (г. Молодечно)

1 Примем, что человек в среднем делает 20 вдохов в минуту (F). Определим, сколько атмосферного воздуха среднестатистический человек пропускает через легкие по формуле (5.1):

$$V_в = V_1 \cdot d \cdot F \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 = 2 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 = 6\,307\,200 \text{ л.}$$

2 Так как кислорода во вдыхаемом воздухе 20,8 %, а в выдыхаемом 16,4 %, то в год человеку нужно кислорода

$$V_{O_2} = V_в \cdot \frac{20,8 - 16,4}{100} = V_в \cdot 0,044 = 6307200 \cdot 0,044 = 277\,517 \text{ л.}$$

3 Масса кислорода, необходимого одному человеку в год,

$$m_{O_21} = V_{O_2} \cdot \rho \cdot 10^{-3} = 277517 \cdot 0,001429 = 396,6 \text{ кг.}$$

4 Населению г. Молодечно в год необходима следующая масса кислорода:

$$m_{O_2} = m_{O_21} \cdot N_{жит} = 396,6 \cdot 95233 = 37766694 \text{ кг} \approx 37767 \text{ т.}$$

5 Относительное продуцирование кислорода с учетом долевого соотношения древесных пород вокруг заданного города на 1 га:

$$R_{O_2} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i = 0,19 \cdot 34,9 + 0,21 \cdot 12,5 + 0,05 \cdot 20,8 + 0,07 \cdot 19,6 + \\ + 0,05 \cdot 11,3 + 0,08 \cdot 22,5 + 0,06 \cdot 21,2 + 0,13 \cdot 9 + 0,16 \cdot 5 = 17,3 \text{ т/(га}\cdot\text{год)}.$$

6 Необходимая площадь зеленых насаждений для обеспечения кислородом населения города:

$$S_{\text{дых}} = \frac{m_{O_2}}{R_{O_2}} = \frac{37767}{17,3} = 2183 \text{ га.}$$

7 Количество деревьев, соответствующих необходимой площади зеленых насаждений для обеспечения кислородом населения города:

$$N_{\text{дер дых}} = \frac{S_{\text{дых}}}{S_{\text{крона 1}}} \cdot 10^4 = 2568235 \text{ шт.}$$

8 Определяем количество автомобилей в городе:

$$n_a = \frac{N_{\text{жит}}}{1000} \cdot k_a = \frac{95233}{1000} \cdot 328 = 31236 \text{ шт.}$$

9 Количество кислорода, сжигаемое одной машиной в течение года:

$$m_{O_{21a}} = L_{\text{ср}} \cdot \frac{V_{\text{мопл}}}{100} \cdot \rho_{\text{мопл}} \cdot K_{O_2} = 27000 \cdot \frac{10}{100} \cdot 0,8 \cdot 2,9 = 6264 \text{ кг.}$$

10 Количество кислорода, сжигаемое всеми автомобилями города:

$$m_{O_{2a}} = m_{O_{21a}} \cdot N_{\text{авт}} = 6264 \cdot 31236 = 195\,662\,304 \text{ кг} = 195\,662 \text{ т.}$$

11 Необходимая площадь зеленых насаждений для компенсации расхода кислорода при сжигании в двигателях внутреннего сгорания:

$$S_{\text{авт}} = \frac{m_{O_{2a}}}{R_{O_2}} = \frac{195662}{17,3} = 11310 \text{ га.}$$

12 Количество деревьев, соответствующих необходимой площади зеленых насаждений для компенсации кислорода при сжигании в двигателях внутреннего сгорания:

$$N_{\text{дер авт}} = \frac{S_{\text{авт}}}{S_{\text{крона 1}}} \cdot 10^4 = \frac{11310}{8,5} \cdot 10000 = 13300560 \text{ шт.}$$

13 Общая площадь необходимых зеленых насаждений составляет:

$$S_{общ} = S_{дых} + S_{авт} = 2183 + 11310 = 13493 \text{ га.}$$

14 Относительное поглощение CO_2 с учетом породного состава зеленых насаждений на 1 га:

$$R_{\text{CO}_2} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot g_i = 0,19 \cdot 46,2 + 0,21 \cdot 16,5 + 0,05 \cdot 24,2 + 0,07 \cdot 24,5 + 0,05 \cdot 15,7 + \\ + 0,08 \cdot 29,7 + 0,06 \cdot 26,3 + 0,13 \cdot 11 + 0,16 \cdot 6,6 = 22,4 \text{ т/(га}\cdot\text{год)}.$$

15 Тогда масса поглощенного углекислого газа

$$m_{\text{CO}_2} = R_{\text{CO}_2} \cdot S_{общ} = 22,4 \cdot 13493 = 302\,643 \text{ т.}$$

Контрольные вопросы

1 Каким образом зеленые насаждения снижают запыленность атмосферы города?

2 Как различаются пылезадерживающие свойства различных пород деревьев и кустарников?

3 Каким образом зеленые насаждения влияют на загазованность городского воздуха?

4 От чего зависит газозащитная функция зеленых насаждений?

5 Выделение кислорода и поглощение углекислого газа у различных пород зеленых насаждений.

6 В чем заключается фитонцидное действие растений?

7 Какие породы деревьев обладают наиболее ярко выраженными фитонцидными свойствами?

8 В чем заключается ветрозащитная функция зеленых насаждений?

9 Как зеленые насаждения регулируют температурный режим города?

10 Как зеленые насаждения влияют на относительную влажность воздуха?

11 Как зеленые насаждения влияют на уровень шума в городе?

Список литературы

- 1 **ЭкоНиП 17.01.06-001–2017**. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности [Электронный ресурс]: постановление М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь, 18 июля 2017 г., № 5-т // Эталон – Беларусь / НЦПИ. – Минск, 2019. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 20.11.2023.
- 2 **ТКП 17.06-08–2012 (02120)**. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод. – Минск: Минприроды, 2012. – 73 с.
- 3 Инструкция о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Электронный ресурс]: постановление М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь, 23 июня 2009 г., № 42 // Эталон-Беларусь / НЦПИ. – Минск, 2019. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 20.11.2023.
- 4 Инструкция о порядке установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Электронный ресурс]: постановление М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь, 23 июня 2009 г., № 43 // Эталон-Беларусь / НЦПИ. – Минск, 2019. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 22.11.2023.
- 5 Инструкция о порядке отнесения объектов воздействия на атмосферный воздух к определенным категориям [Электронный ресурс]: постановление М-ва ПР и ООС Респ. Беларусь, 29.05.2009 г., № 30 // Эталон-Беларусь / НЦПИ. – Минск, 2019. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 22.11.2023.
- 6 Основы экологии: курс лекций / А. В. Щур [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2014. – 142 с.: ил.
- 7 **Челноков, А. А.** Общая и прикладная экология: учебное пособие / А. А. Челноков, К. Ф. Саевич, Л. Ф. Ющенко; под общ. ред. К. Ф. Саевича. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 654 с.: ил.
- 8 **Шаршунов, В. А.** Очистка сточных вод и утилизация их отходов: справочное пособие / В. А. Шаршунов. – Минск : Мисанта, 2020. – 642 с.
- 9 Экология : учебник и практикум для вузов / Под общ. ред. А. В. Тотая, А. В. Корсакова. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2020. – 352 с.
- 10 Экология: учебник / А. В. Щур [и др.]. – Рязань: ИП Викулов К. В., 2021. – 248 с.