

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Практикум для студентов специальностей
1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и
производств (лёгкая промышленность)»
1-55 01 03 «Компьютерная мехатроника»

Витебск
2020

УДК 355.58

Составители:

В. Е. Савенок, Н. В. Скобова

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 2 от 30.10.2020.

Безопасность жизнедеятельности человека : практикум / сост. В. Е. Савенок, Н. В. Скобова. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 179 с.

Практикум разработан для студентов технических специальностей вуза. Предусматривает получение практических навыков по интегрированной дисциплине «Безопасность жизнедеятельности человека». Для решения практических задач дан необходимый теоретический и справочный материал, который позволяет обучающимся самостоятельно проводить расчеты.

Практикум составлен на основе учебной программы по курсу «Безопасность жизнедеятельности человека».

УДК 355.58

© УО «ВГТУ», 2020

Содержание

Введение	5
Практическая работа 1.....	6
Расчет количества загрязняющих веществ в выбросах от автомобильного транспорта.....	6
Практическая работа 2.	12
Расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе	12
Практическая работа 3.....	23
Определение категории воздействия объекта на атмосферный воздух..	23
Практическая работа 4.....	38
Расчет полигона размещения отходов производства.....	38
Практическая работа 5.....	43
Расчет нормативов допустимых сбросов сточных вод перед отведением в поверхностные водоемы.....	43
Практическая работа 6.....	49
Расчет выброса загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельной	49
Практическая работа 7	57
Расчет выбросов тяжелых металлов содержащихся в отходящих (дымовых) газах	57
Практическая работа 8.....	64
Оценка инженерной защиты персонала объектов экономики в чрезвычайных ситуациях	64
Практическая работа 9	73
Навыки оказания первой медицинской помощи	73
Практическая работа 10	86
Расчёт необходимого количества технических средств для ликвидации аварии с разливом нефтепродукта	86
Практическая работа 11	90
Оценка радиационной обстановки при аварии.....	90
на атомной электростанции	90
Практическая работа 12	98
Практические задачи радиационной безопасности.....	98

Практическая работа 13	109
Оценка химической обстановки на химически	109
опасных объектах.....	109
Практическая работа 14	125
Оценка пожарной обстановки	125
Практическая работа 15	141
Оценка обстановки при взрыве газовой смеси	141
Практическая работа 16	144
Оценка обстановки при наводнении.....	144
Практическая работа 17	153
Оценка влияния электромагнитных излучений.....	153
сотовой связи на жителей города.....	153
Практическая работа 18	158
Подсчет ущерба при аварийном сбросе нефтепродуктов в водный	158
объект	158
Список использованных источников.....	167
Приложение А	170
Приложение Б.....	173
Приложение В	175
Учебное издание	179

Введение

Интегрированная учебная дисциплина «Безопасность жизнедеятельности человека» включает обязательные для изучения на первой ступени высшего образования Республики Беларусь дисциплины: «Основы экологии», «Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций», «Радиационная безопасность».

Изучение дисциплины в вузах является одним из основных мероприятий обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь и обеспечивает общую грамотность в области безопасности жизни и профессиональной деятельности выпускников вузов. Курс является базовым для изучения специальных проблем безопасности в профилирующих дисциплинах.

Целью изучения дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека» является теоретическое и практическое обучение студентов фундаментальным вопросам безопасности жизни и профессиональной деятельности в условиях современной природной, техногенной, экономической, экологической и социальной обстановки, основам организации защиты людей, объектов и природной среды при угрозе и в чрезвычайных ситуациях. На современном этапе развития человеческого общества наблюдается рост количества опасных природных процессов и явлений, увеличивается количество техногенных аварий и катастроф, загрязняется среда обитания, появляются новые виды инфекционных заболеваний. Не устранена опасность военных конфликтов. Все это создает предпосылки для чрезвычайных ситуаций. Масштабы ущерба от них могут представлять угрозу национальной безопасности страны. В этих условиях стоит проблема выживания каждого человека, нации, человечества в чрезвычайных ситуациях. Поэтому главной задачей изучаемой дисциплины является получение требуемого объема знаний и умений, необходимых для решения конкретных проблем безопасности в повседневной жизни и профессиональной деятельности.

Практикум предназначен для использования на практических занятиях по разделам дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека» – «Основы экологии», «Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций», «Радиационная безопасность».

Практическая работа 1

Расчет количества загрязняющих веществ в выбросах от автомобильного транспорта

Цель работы: освоить навыки расчета выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта на основании методики согласно ТКП 17.08-03-2006.

1.1 Основные сведения

Источниками загрязнения воздушной среды являются топливные испарения из бака, двигателя и трубопроводов, картерные выбросы и отработанные газы (ОГ) автомобилей. Топливные испарения содержат около 200 различных углеводородов и имеют место:

- при заправке автомобиля (в среднем 1,4 г/л заливаемого топлива);

- при испарениях из топливного бака пропорционально площади испарения (независимо от того, работает двигатель или нет) [1].

Наибольшее количество веществ поступает в ОС с ОГ – гетерогенной смесью избыточного воздуха, продуктов полного и неполного сгорания топлива и смазочного масла, присадок к ним, конденсации и полимеризации различных веществ и частиц сажи, образующихся по температурному, кислородному и комбинированному механизму в ходе термического синтеза из воздуха. На долю оксидов азота (NO_x), оксида углерода (СО), углеводородов (C_nH_m), кислородсодержащих альдегидов (RCHO) и оксидов серы приходится приблизительно 85–90 % общей массы ОГ АТС [1]. Состав, количество и свойства этой сложной, неизученной до конца смеси изменяется в широких пределах и определяется:

- качеством, сортом, видом и условиями сгорания топлива, масел;
- типом, конструкцией, качеством регулировки и режимом работы ДВС;

- моделью, техническими параметрами и степенью изношенности автомобиля;

- параметрами улично-дорожной сети и др.

Важной особенностью ОГ дизелей является наличие канцерогенных ПАУ (поверхностных ароматических углеводородов) и диоксинов.

Содержащиеся в ОГ загрязняющие вещества по химической структуре, свойствам и характеру воздействия на организм человека можно классифицировать по следующим группам.

1.2 Выполнение работы

Провести расчет выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта по представленной методике.

Методика расчета выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта основана на ТКП 17.08-03-2006 (02120) (технический кодекс установившейся практики) [2], который устанавливает правила расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух механическими транспортными средствами при движении по всем элементам улично-дорожной сети населенных пунктов.

Принятые сокращения: МТС – механические транспортные средства; УДС – улично-дорожная сеть; ОДД – организация дорожного движения.

Таблица 1.1 – Классификация транспортных средств

Тип транспортного средства	Вид топлива, потребляемого ДВС	Принимаемое для ТКП наименование
Мотоциклы	бензин	М
Легковые автомобили	бензин, газ	ЛБ
	дизельное топливо	ЛД
Грузовые автомобили до 3,5 тонн	бензин, газ	ГАБ
Автобусы до 5 тонн	дизельное топливо	ГАД
Грузовые автомобили св. 3,5 тонн	дизельное топливо	ГД
Автобусы городские и сочленения	дизельное топливо	АГ
Автобусы междугородные	дизельное топливо	АМ

При расчете выбросов загрязняющих веществ используются три градации МТС:

1. Градация МТС-1 (табл. 1.2) используется при расчете выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов на основе данных натурных обследований транспортного потока.

Таблица 1.2 – Градация МТС-1

Состав транспортных средств	Доля Δm	Расчетная модель в соответствии с таблицей 1.1
1	2	3
Мотоциклы	100 %	М
Легковые автомобили	80 %	ЛБ
	20 %	ЛД
Грузовые автомобили до 3,5 тонн	40 %	ГАБ
	60 %	ГАД
Грузовые автомобили св. 3,5 тонн	100 %	ГД
Автобусы городские и сочлененные	100 %	АГ
Автобусы междугородные и дальнего следования	100 %	АМ
Автобусы до 5 тонн	40 %	ГАБ
	60 %	ГАД

2. Градация МТС-2 (табл. 1.3) используется при расчете выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов на основе данных прогнозируемой транспортной нагрузки.

Таблица 1.3 – Градация МТС-2

Состав транспортных средств	Доля Δm	Расчетная модель в соответствии с таблицей 1.1
Легковые автомобили	1 %	М
	79 %	ЛБ
	20 %	ЛД
Грузовые автомобили	35 %	ГАБ
	55 %	ГАД
	10 %	ГД
Автобусы	40 %	АГ
	25 %	ГАБ
	25 %	ГАД
	10 %	АМ

3. Градация МТС-3 (табл. 1.4) используется при расчете выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в случае отсутствия данных о структуре транспортного потока либо при автоматизированном сборе данных при помощи детекторов транспорта.

Таблица 1.4 – Градация МТС-3

Состав транспортных средств	Доля Δm	Расчетная модель в соответствии с таблицей 1.1
Легковые автомобили	1 %	М
	79 %	ЛБ
	20 %	ЛД
Остальные МТС	28 %	ГАБ
	44 %	ГАД
	8 %	ГД
	16 %	АГ
	4 %	АМ

Для расчетов выбросов загрязняющих веществ используются следующие параметры дорожного движения: объем движения МТС, скорость движения транспортного потока, длина участка УДС, количество остановок транспортного потока, количество задержек транспортного потока. Определение параметров дорожного движения может производиться любым известным натурным или расчетным способом.

1.2.1 Определение параметров дорожного движения

Исходные данные представлены в таблице 1.5.

1. Объем движения МТС O_j авт. (автомобилей) определяется как количество МТС j -типа, прошедших заданный участок УДС за расчетный период по результатам натуральных обследований, измерений детекторами транспорта, прогноза расчетными моделями и другого с учетом суточной, недельной, сезонной неравномерности либо рассчитывается по формуле

$$O_j = \Delta_m \cdot (\Delta_j \cdot Q \cdot T), \quad (1.1)$$

где Δ_m – доля МТС данной расчетной модели в соответствии с принятой градацией (табл. 1.2, 1.3, 1.4); Δ_j – доля МТС j -го типа в составе транспортного потока; Q – средняя расчетная интенсивность движения (часовая), авт./ч; T – расчетный фонд времени, ч.

2. Скорость движения V определяется как скорость сообщения соответствующего транспортного потока на всем протяжении участка УДС.

3. Длина участка УДС L определяется по траектории движения соответствующего транспортного потока по геоподоснове, чертежам архитектурно-строительных проектов, проектов ОДД, методами анализа фото- и видеоизображений (фотограммометрии), натурального измерения расстояний и другими способами, обеспечивающими точность ± 10 метров.

4. Удельное количество остановок S определяется как количество зафиксированных остановок (торможений–разгонов) транспортных средств соответствующего транспортного потока, отнесенное к общему количеству прошедших транспортных средств соответствующего транспортного потока. При определении остановки должны быть привязаны к источникам-причинам остановки (светофорное регулирование, затор, конфликты, стоп-линии, конфликтные точки и зоны и другие) с определением характера и средней скорости движения потока до и после остановки.

5. Удельная задержка D определяется как время нахождения транспортных средств соответствующего транспортного потока в неподвижном состоянии «на холостом ходу», отнесенное к общему количеству прошедших транспортных средств соответствующего транспортного потока. При определении задержки должны быть привязаны к источникам-причинам задержки (светофорное регулирование, затор, конфликты, стоп-линии, конфликтные точки и зоны и др.).

Таблица 1.5 – Исходные данные для расчета

№ варианта	Продолжительность расчетного периода Т, ч	Дата замера	Интенсивность движения, Q авт./ч	Средняя скорость потока, V, км/ч	Соотношение МТС в транспортном потоке, Л/Г/А (доля Δ _j), %	Длина участка, L, км	Среднее кол-во остановок, S, ост/авт.	Время задержки на 1 авто, D, мин/авт.
1	1	31.12	1600	70	70/10/20	5	6	2,4
2	2	02.02	300	60	20/40/40	1	3	1,2
3	3	02.05	1200	60	60/25/15	5	6	2,4
4	8	21.12	800	80	70/20/10	4	5	2
5	2	30.06	500	40	40/30/30	2	3	1,2
6	3	30.07	700	40	70/10/20	4	5	2
7	1	10.08	830	80	20/40/40	4	5	2
8	2	20.09	900	80	60/25/15	4	5	2
9	3	30.04	1000	50	70/20/10	4	6	2,4
10	8	12.11	450	50	40/30/30	4	3	1,2
11	2	24.01	900	60	70/10/20	4	5	2
12	3	15.03	700	60	20/40/40	3	5	2
13	4	25.10	900	40	60/25/15	4	5	2
14	6	17.11	1200	40	70/20/10	5	6	2,4
15	8	28.02	360	70	40/30/30	1	3	1,2
16	1	10.05	680	70	70/10/20	4	5	2
17	3	12.06	920	80	20/40/40	3	5	2
18	6	30.07	1200	80	60/25/15	5	6	2,4
19	8	18.03	1100	60	70/20/10	5	6	2,4
20	4	16.08	750	50	40/30/30	4	5	2
21	1	25.09	850	50	70/15/15	3	4	1,8
22	5	17.05	1220	60	65/15/20	5	5	1,9
23	3	10.10	940	40	55/30/15	4	6	1,7
24	4	12.01	690	70	60/35/5	2	5	2,3
25	2	09.07	730	60	45/40/15	3	6	2,2
26	2	04.08	1320	50	30/55/15	3	4	2
27	5	19.04	1100	40	30/45/25	5	3	1,5

1.2.2 Правила расчета выбросов загрязняющих веществ

1. Выбросы веществ, г, определяются как сумма выбросов при движении транспортного потока E_i^1 , при остановке (торможении–разгоне) и задержке (работе на холостом ходу) и рассчитываются по формуле

$$E_i^1 = (E_i^m + E_i^s + E_i^d) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (1.2)$$

где E_i^m – выбросы i -го вещества в атмосферный воздух при движении транспортного потока, г, определяемые по формуле (1.3); E_i^s – выбросы i -го вещества в атмосферный воздух при остановке (торможении–разгоне), г, определяемые по формуле (1.4); E_i^d – выбросы i -го вещества в атмосферный воздух при задержке движения (работе на холостом ходу), г, определяемые по формуле (1.5); K_1 – поправочный коэффициент, учитывающий долю в транспортном потоке МТС расчетных моделей ЛБ и ЛД с холодным (неразогретым) двигателем, определяется по таблице А.5 (приложение А); K_2 – поправочный коэффициент, учитывающий продольный уклон проезжей части, принимаем $K_2=1$; K_3 – поправочный коэффициент, учитывающий состояние покрытия проезжей части (1 – хорошее, 1,05 – удовлетворительное, 1,10 – неудовлетворительное), принимаем $K_3=1$.

2. Выбросы i -го вещества в атмосферный воздух при движении транспортного потока E_i^m , г, рассчитываются по формуле

$$E_i^m = \sum_{j=1}^n q_{ij}^m \cdot L \cdot O_j, \quad (1.3)$$

где q_{ij}^m – удельные выбросы i -го вещества при движении j -го типа МТС в зависимости от скорости движения V , г/авт. км (грамм на один автомобиль на один километр), определяются по таблице А.1 (приложение А); V – скорость транспортного потока, км/ч; L – длина участка УДС, км; O_j – объем движения j -типа МТС, авт.; n – количество типов МТС, определяемое в зависимости от принимаемой градации в соответствии с таблицей 1.3.

3. Выбросы i -го вещества в атмосферный воздух при остановке (торможении–разгоне) транспортного потока E_i^s , г, рассчитываются по формуле

$$E_i^s = \sum_{j=1}^n q_{ij}^s \cdot S \cdot K \cdot O_j, \quad (1.4)$$

где q_{ij}^s – удельные выбросы i -го вещества при остановке (торможении–разгоне) j -го типа МТС, г/ост. (грамм на одну остановку), определяются по таблице А.2 (приложение А); S – удельное количество остановок транспортного потока, ост./авт. (остановок на один автомобиль); K – коэффициент коррекции выбросов в зависимости от скорости движения транспортного потока, определяется по таблице А.3 (приложение А).

4. Выбросы i -го вещества в атмосферный воздух при задержке движения (работе на холостом ходу), E_i^d , г, рассчитываются по формуле

$$E_i^d = \sum_{j=1}^n q_{ij}^d \cdot D \cdot O_j, \quad (1.5)$$

где q_{ij}^d – удельные выбросы i -го вещества при задержке j -го типа МТС, г/мин (грамм в минуту), определяются по таблице А.4; D – удельная задержка транспортного потока, мин/авт. (минут на один автомобиль).

Контрольные вопросы:

1. Какие факторы уличного движения влияют на количество выбрасываемых загрязняющих веществ?
2. На какие группы классифицируют загрязняющие вещества, выбрасываемые от автотранспорта?
3. Как влияет на организм человека оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота?
4. Меры по защите от выбросов от автотранспорта.

Практическая работа 2

Расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Цель работы: освоение методики расчета приземных концентраций примесей в заданной точке согласно ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий».

2.1 Общие сведения

Для современных технологических площадок характерно наличие разнообразных выбросов: технологических и вентиляционных, организованных и неорганизованных, высоких и низких, точечных и линейных, нагретых и холодных, стабильных и периодического действия [1].

К технологическим относятся хвостовые выбросы технологических процессов, выбросы при продувке технологического оборудования, постоянно действующие дыхательные трубы, периодически действующие предохранительные клапаны, трубы ТЭЦ и котельных и т. п. Технологические выбросы характеризуются высокой концентрацией вредных веществ при небольшом объеме газовой смеси [2].

К вентиляционным относятся выбросы общеобменной и местной вытяжной вентиляции. Вентиляционные выбросы общеобменной вентиляции характеризуются большими объемами газовой смеси, но низкими концентрациями вредных веществ.

Технологические выбросы, а также выбросы местной вытяжной вентиляции должны проходить предварительную очистку в пылегазоочистных аппаратах.

К организованным относятся выбросы, отводимые от мест выделения системой газоотводов, что позволяет применять для улавливания содержащихся в них вредных веществ соответствующие установки.

Неорганизованными являются выбросы, возникающие за счет негерметичности открыто устанавливаемого технологического оборудования, коммуникаций, канализационных колодцев, пробоотборников и т. п.

По перепаду температур между выбросом и окружающей средой источники можно разделить на *нагретые и холодные*, а по геометрическим параметрам (высоте выброса, форме выбросного устройства) выбросы разделяют на *высокие и низкие, точечные и линейные*. К точечным выбросам относятся трубы, шахты, крышные вентиляторы и т. д., к линейным – аэрационные фонари, технологические линии и ряд близко расположенных источников загрязнения.

В зависимости от высоты устья источника выброса вредного вещества над уровнем земной поверхности различают источники:

- высокие, $H \geq 50$ м;
- средней высоты, $H = 10-50$ м;
- низкие, $H = 2-10$ м;

– наземные, $H \leq 2$ м.

Рассеивание – это перенос и усреднение концентрации примесей в атмосфере. Рассеивание выбросов в атмосфере подчиняется законам турбулентной диффузии. На процесс рассеивания оказывают влияние состояние атмосферы, расположение предприятий и источников выбросов.

Рассеивание происходит под действием трех процессов: действие ветра; диффузия по осям Z , Y , X ; пульсации по осям Z , Y , X . Направления осей: X – параллельно ветру и земле; Y – параллельно земле и перпендикулярно ветру; Z – перпендикулярно земле и ветру (рис. 2.1).

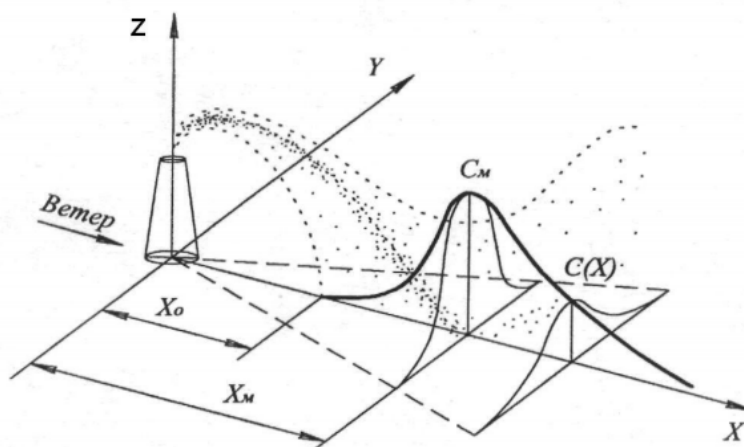


Рисунок 2.1 – Схема распределения концентраций примесей в приземном слое

Рассеивание по горизонтали определяется действием ветра, по вертикали – разностью температур и плотностью воздуха. В результате рассеивания в зоне дыхания на высоте 1,5–2,5 м формируются приземные концентрации C_M (рис. 2.2).

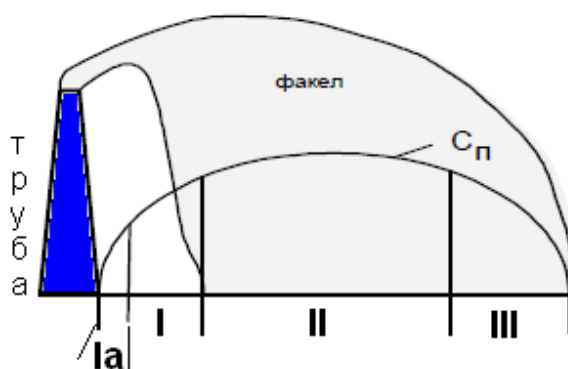


Рисунок 2.2 – Распространение примесей в атмосфере: I – зона переброски факела; Ia – зона неорганизованного загрязнения; II – зона задымления; III – зона постепенного снижения концентраций

Основным документом, регламентирующим расчет рассеивания выбросов промышленных предприятий, является ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий».

Метеопараметры

Ветер. Направление и скорость ветра не остаются постоянными. Вследствие непрерывного изменения направления ветра расчетная точка то попадает в факел выброса, то выходит из него. При увеличении скорости ветра приземная концентрация уменьшается. Опасной называется скорость ветра, при которой приземные концентрации максимальны (пригибание факела выброса к земле).

Влажность. С повышением влажности приземная концентрация пыли увеличивается.

Рельеф. На наветренной стороне холмов и в понижениях рельефа приземная концентрация увеличивается.

Температурная стратификация атмосферы. Обычно температура понижается с увеличением высоты. Температурный градиент составляет приблизительно $1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ высоты. При определенных условиях наступает инверсия – состояние атмосферы, характеризующееся отклонениями температурного градиента. Инверсии могут быть приземные и приподнятые. Толщина инверсионного слоя может меняться так же, как и высота появления инверсий. В инверсионных условиях ослабляется турбулентный обмен, что ведет к ухудшению рассеивания и увеличению приземных концентраций.

Согласно натурным обследованиям ГГО им. А. И. Воейкова, к наиболее опасным условиям загрязнения воздуха для высоких источников относятся:

– приподнятая инверсия, нижняя граница которой находится над источником выбросов, увеличивающая максимальную приземную концентрацию на 50–100 %;

– штилевой слой, расположенный ниже источника выброса, когда на уровне выбросов скорость движения ветра в 1,5–2,0 раза превышает величину скорости выброса.

Для низких источников выбросов наиболее неблагоприятным является сочетание приземной инверсии со слабым ветром.

Застройка. Здания, находящиеся в набегающем потоке, вызывают изменения в полях скоростей воздушного потока и искажают его. Над зданием скорость ветра увеличивается, за зданием снижается и на некотором расстоянии от него достигает первоначального значения. На наветренных поверхностях здания создается избыточное давление, а на наветренных – разрежение. При обтекании зданий воздушным потоком над зданием и за ним образуются зоны аэродинамической тени (рис. 2.3).

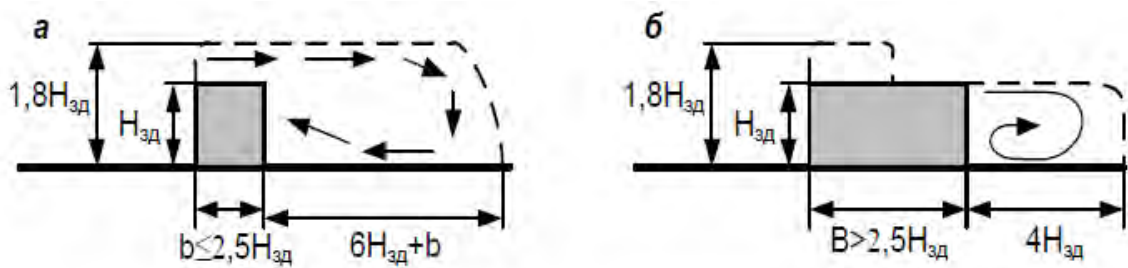


Рисунок 2.3 – Схема движения воздушного потока при обтекании здания ветром, направленным перпендикулярно их продольной оси:
а – узкое здание; б – широкое здание

Параметры источников выбросов

Интенсивность выброса. При увеличении массы выброса приземная концентрация увеличивается.

Высота источника выброса. С увеличением высоты источника выброса повышается площадь факела и приземная концентрация уменьшается.

Температура уходящих газов. При повышении температуры выброса увеличивается подъем факела выброса, площадь его увеличивается и приземная концентрация уменьшается.

Скорость выхода газовой смеси. С повышением скорости выхода газовой смеси увеличивается подъем факела выброса, площадь его увеличивается и приземная концентрация уменьшается.

Агрегатное состояние. Газы рассеиваются лучше. Чем крупнее пыль, тем выше скорость осаждения и выше приземные концентрации [2].

2.2 Выполнение работы

Исходные данные

1. Подготовить исходные данные, используя таблицу Б.1. Внести в таблицу значения массы вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с

$$M_{CO}^C =$$

$$M_{NO2}^C =$$

$$M_{SO2}^C =$$

$$M_{пыль др.}^C =$$

2. Параметры источников выбросов (табл. Б.2) записать в виде таблицы:

Нагретый источник
Высота источника выброса $H =$

Холодный источник
 $H =$

Диаметр источника выброса $D =$	$D =$
Объемный расход выбрасываемой газовой смеси $V_1 =$	$V_1 =$
Температура газовой смеси $T^Г =$	$T^Г =$
$\eta_3 =$	$\eta_3 =$

3. Метеопараметры (табл. Б.3)

$T_B =$; $U =$.

4. Место расположения объекта и объект (табл. Б.3)

Расчет

1. Рассчитать значение средней скорости выхода газовой смеси (W_0 , м/с) из устья источника для источников холодных и нагретых выбросов:

$$W_0 = \frac{4 \cdot V_1}{\pi \cdot D^2}, \quad (2.1)$$

где V_1 – расход газовой смеси (м³/с), D – диаметр устья источника выброса (м), ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси $T^Г$ и температурой окружающего атмосферного воздуха $T^в$ (°С).

$$\Delta T = T^Г - T^в, \quad (2.2)$$

2. Рассчитать значения параметров: фактор критерия нагретости – f, f_e , вспомогательные параметры – v_M, v_M' .

$$f = \frac{1000 \cdot W_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (2.3)$$

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (2.4)$$

$$v_M' = \frac{1,3 \cdot W_0 \cdot D}{H}, \quad (2.5)$$

$$f_e = 800 \cdot (v_M')^3, \quad (2.6)$$

при $f < 100$ – выбросы считаются «нагретыми», при $f \geq 100$ – выбросы считаются «холодными».

3. Рассчитать значения коэффициентов m и n в зависимости от параметров f и v_M .

Коэффициент m определяется в зависимости от f :

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \text{ при } f < 10, \quad (2.7)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}, \text{ при } f \geq 100. \quad (2.8)$$

Коэффициент n при $f < 100$ определяется в зависимости от v_M (табл. 2.1). Значение n при $f \geq 100$ определяется в зависимости от v'_M (табл. 2.2).

Таблица 2.1 – Расчет коэффициента n при $f < 100$

Коэффициент n	v_M
$n=1$	при $v_M \geq 2$
$n = 0,532 \cdot v_M^2 - 2,13 \cdot v_M + 3,13$	$0,5 \leq v_M < 2$
$n = 4,4 \cdot v_M$	$v_M < 0,5$

Таблица 2.2 – Расчет коэффициента n при $f \geq 100$

Коэффициент n	v'_M
$n=1$	при $v'_M \geq 2$
$n = 0,532 \cdot (v'_M)^2 - 2,13 \cdot v'_M + 3,13$	$0,5 \leq v'_M < 2$
$n = 4,4 \cdot v'_M$	$v'_M < 0,5$

4. Рассчитать для каждого вредного вещества максимальную приземную концентрацию C_M , мг/м³, при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника при неблагоприятных метеоусловиях:

Нагретый источник

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot n \cdot m \cdot F \cdot \eta_P}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (2.9)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, для Республики Беларусь $A=160$; M – масса вредного

вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с (см. исх. данные); F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Для газообразных веществ и мелкодисперсных аэрозолей, скорость упорядоченного оседания которых равна 0, $F = 1$; для мелкодисперсных аэрозолей при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов η_3 не менее 90 % $F = 2$; от 75 до 90 % $F = 2,5$; менее 75 % и при отсутствии очистки $F = 3$. Значения η_3 указаны в варианте задания (табл. Б.1); m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; H – высота источника выброса над уровнем земли, м; η_p – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности. В случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот не более 50 м на 1 км² $\eta_p = 1$. V_1 – расход газовой смеси, м³/с; ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T^r и температурой окружающего воздуха T^B , °С.

Значение T_B принимается равным средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года.

Холодные выбросы: для $f \geq 100$ (или $\Delta T \approx 0$)
при $v'_M \geq 0.5$

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot n \cdot F \cdot \eta_p}{7,1 \cdot H^{\frac{4}{3}} \cdot \sqrt{W_0 \cdot V_1}}, \quad (2.10)$$

при $v'_M < 0.5$

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot 0,9 \cdot F \cdot \eta_p}{H^{\frac{7}{3}}}, \quad (2.11)$$

Вывод: оценить опасность загрязнения атмосферы показателем уровня загрязнения в приземном слое:

$$УЗ = \frac{C_M}{ПДК_{M.P.}} \leq 1, \quad (2.12)$$

где $ПДК$ – максимально разовая предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества, мг/м³ (табл. Б.4).

Учесть, что SO_2 , NO_2 и CO имеют однонаправленное действие, поэтому эти вещества обладают эффектом суммации

$$УЗ = \frac{C_{M(SO_2)}}{ПДК_{M.P.(SO_2)}} + \frac{C_{M(NO_2)}}{ПДК_{M.P.(NO_2)}} + \frac{C_{M(CO)}}{ПДК_{M.P.(CO_2)}} \leq 1, \quad (2.13)$$

Если $УЗ > 1$, уровень загрязнения считается опасным.

Опасность отсутствует, если на расстоянии X_M наблюдается условие не превышения уровня загрязнения.

5. Определить расстояние X_M , м, от источника выброса, на котором при неблагоприятных метеоусловиях достигается максимальная приземная концентрация C_M , мг/м³.

Расчет выполняется:

- а) для газообразных примесей;
- б) твердых веществ от нагретого источника;
- в) твердых веществ от холодного источника:

$$X_M = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (2.14)$$

где d – безразмерный коэффициент, находится по таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Расчет безразмерного коэффициента d

v_M	Нагретый источник $f \leq 100$	Холодный источник $f > 100$ или $\Delta T \approx 0$
при $v_M \leq 0,5$	$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_s})$	$d = 5,7$
$0,5 < v_M \leq 2$	$d = 4,95 \cdot v_M \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_s})$	$d = 11,4 \cdot v'_M$
$v_M > 2$	$d = 7 \cdot \sqrt{v_M} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_s})$	$d = 16 \cdot \sqrt{v'_M}$

6. Определить значение опасной скорости ветра U_M , м/с, на уровне флюгера (обычно 10 м от уровня земли), при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации C_M (табл. 2.4):

Таблица 2.4 – Расчет значения опасной скорости ветра U_M

v_M	Нагретый источник $f \leq 100$	v'_M	Холодный источник $f > 100$ или $\Delta T \approx 0$
при $v_M \leq 0,5$	$U_M = 0,5$	$v'_M \leq 0,5$	$U_M = 0,5$
$0,5 < v_M \leq 2$	$U_M = v_M$	$0,5 < v'_M \leq 2$	$U_M = v'_M$
$v_M > 2$	$U_M = v_M \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f})$	$v'_M > 2$	$U_M = 2,2 \cdot \sqrt{v'_M}$

7. Определить значение приземной концентрации каждого вещества $C_{МИ}$, мг/м³, при неблагоприятных метеоусловиях и скорости ветра U , м/с, отличающейся от опасной скорости ветра U_M , м/с. Значение U принять в расчетах равной среднегодовой скорости ветра по таблице Б.3.

$$C_{МИ} = r \cdot C_M, \quad (2.15)$$

где r – безразмерная величина, определяемая в зависимости от U/U_M по формулам:

$$r = 0,67 \cdot \left(\frac{U}{U_M}\right) + 1,67 \cdot \left(\frac{U}{U_M}\right)^2 + 1,34 \cdot \left(\frac{U}{U_M}\right)^3, \text{ при } \left(\frac{U}{U_M}\right) \leq 1 \quad (2.16)$$

$$r = \frac{3 \cdot \left(\frac{U}{U_M}\right)}{2 \cdot \left(\frac{U}{U_M}\right)^2 - \left(\frac{U}{U_M}\right) + 2}, \text{ при } \left(\frac{U}{U_M}\right) > 1 \quad (2.17)$$

8. Рассчитать расстояние от источника выброса $X_{МИ}$, м, на котором достигается концентрация $C_{МИ}$, мг/м³

$$X_{МИ} = p \cdot X_M, \quad (2.18)$$

где p – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения U/U_M по формулам:

$$p = 3 \text{ при } \frac{U}{U_M} \leq 0,25, \quad (2.19)$$

$$p = 8,43 \left(1 - \frac{U}{U_M}\right)^5 + 1 \text{ при } 0,25 < \frac{U}{U_M} \leq 1, \quad (2.20)$$

$$p = 0,32 \left(\frac{U}{U_M}\right) + 0,68 \text{ при } \frac{U}{U_M} > 1. \quad (2.21)$$

9. Рассчитать значение приземной концентрации при неблагоприятных метеоусловиях C_p , мг/м³, в различных точках от оси факела.

9.1. Рассчитать значение C , мг/м³, на расстоянии X , м, от источника по оси факела выброса.

9.1.1. Определить значение X :

а) $X = 0,5X_M$;

б) $X = X_M$;

в) $X = 2X_M$;

г) $X = 4X_M$;

д) $X = 8X_M$;

е) $X = 10X_M$;

9.1.2. Рассчитать значения безразмерного параметра S_1 в зависимости от отношения X/X_M и коэффициента F по формулам:

$$S_1 = 3(X / X_M)^4 - 8(X / X_M)^3 + 6(X / X_M)^2 \text{ при } X / X_M \leq 1; \quad (2.22)$$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13(X / X_M)^2 + 1} \text{ при } 1 < X / X_M \leq 8; \quad (2.23)$$

$$S_1 = \frac{X / X_M}{3,58(X / X_M)^2 - 35,2(X / X_M) + 120} \text{ при } F \leq 1,5 \text{ и } X / X_M > 8; \quad (2.24)$$

$$S_1 = \frac{1}{0,1(X / X_M)^2 - 2,47(X / X_M) - 17,8} \text{ при } X / X_M > 8 \text{ и } F > 1,5. \quad (2.25)$$

Для низких или наземных источников (высотой не более 10 м) при значениях $X/X_M < 1$ величина S_1 заменяется на S_1^H

$$S_1^H = 0,125(10 - H) + 0,125(H - 2)S_1 \text{ при } 2 \leq H < 10. \quad (2.26)$$

9.1.3. Рассчитать значение C , мг/м^3 для каждого ингредиента выброса

$$C = S_1 \cdot C_M \quad (2.27)$$

9.1.4. Построить график зависимости концентрации выбросов от расстояния от источника (пример графика представлен на рисунке 2.4).

10. Рассчитать суммарную концентрацию твердых веществ в расчетной точке от холодного и нагретого источников, мг/м^3 .

$$C_{ТВ} = C_{рИГ}^{ТВ} + C_{рИХ}^{ТВ} \quad (2.28)$$

11. Сравнить концентрации в расчетной точке с ПДК (табл. Б.4). Сделать вывод об уровне загрязнения и достаточности мероприятий по защите атмосферы от загрязнений. Если $C_p \leq \text{ПДК}_{\text{сс}}$, то предусмотренных мероприятий для соблюдения санитарных норм в местах воздухозабора достаточно, если $C_p > \text{ПДК}_{\text{сс}}$, то следует предложить дополнительные меры по защите атмосферного воздуха.

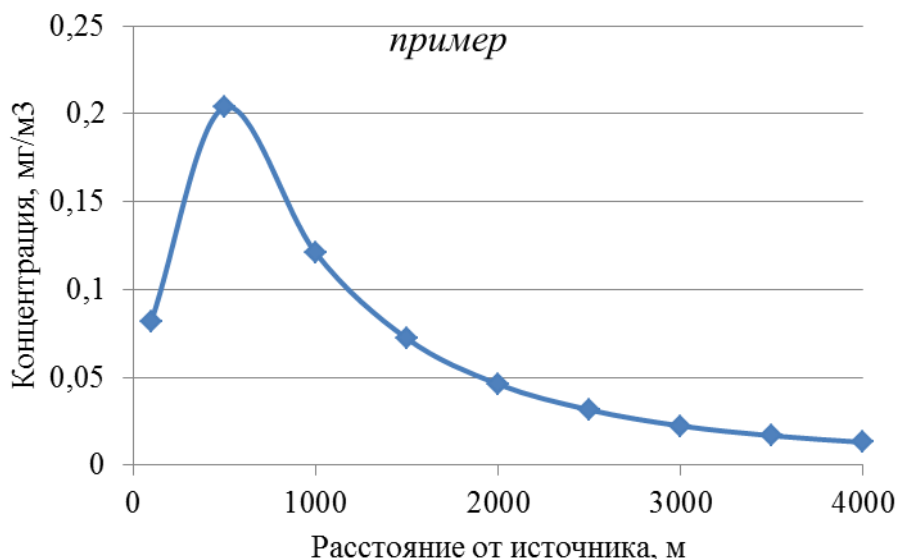


Рисунок 2.4 – Пример графика зависимости концентраций выброса от расстояния от источника выброса

Контрольные вопросы:

1. Перечислите, как классифицируются источники выбросов.
2. Приведите примеры источников выбросов согласно классификации.
3. Как метеопараметры влияют на рассеивание выбросов от стационарных источников?
4. Как параметры источника выброса влияют на рассеивание выбросов?
5. Как рельеф местности и параметры застройки влияют на рассеивание выбросов?

Практическая работа 3

Определение категории воздействия объекта на атмосферный воздух

Цель работы: изучить методику определения категории воздействия объекта на атмосферный воздух.

3.1 Общие сведения

Данная практическая работа разработана на основании подпункта 1.6 пункта 1 статьи 7 Закона Республики Беларусь от 16 декабря 2008 года «Об охране атмосферного воздуха» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2009 г., N 4, 2/1554) согласно инструкции, которая устанавливает порядок отнесения объектов воздействия на атмосферный воздух к определенным категориям [6].

По степени воздействия на атмосферный воздух объекты воздействия подразделяются на пять категорий [6].

Объекты воздействия относятся к определенной категории на основании:

- количественного и качественного состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия (далее – критерий С);

- значения относительного показателя опасности объекта воздействия (ПО);

- 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).

3.2 Выполнение работы

Расчеты начинаются с определения критерия С по формуле

$$C = \sum_1^n \left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_{cc}} \right)^{a_i} \quad (3.1)$$

где n – количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов,

находящихся на объекте воздействия; M_i – масса выброса i -го загрязняющего вещества, кг/год; ПДК_{сс} – значение среднесуточной предельно-допустимой концентрации (ПДК) или ориентировочно-безопасного уровня воздействия (ОБУВ) i -го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест отдыха населения, $мкг/м^3$, определяемое согласно нормативам качества атмосферного воздуха [7] (табл. 3.4). В случае отсутствия установленного для загрязняющего вещества значения среднесуточной ПДК (ОБУВ) для определения критерия C используются наиболее низкое значение из максимальной разовой ПДК, умноженной на 0,4, и значения ПДК загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны деленной на 10; a_i – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень воздействия i -го загрязняющего вещества с воздействием загрязняющего вещества третьего класса опасности, имеющая следующие значения [8]:

1,7 – для загрязняющих веществ 1-го класса опасности;

1,3 – для загрязняющих веществ 2-го класса опасности;

1,0 – для загрязняющих веществ 3-го класса опасности;

0,9 – для загрязняющих веществ 4-го класса опасности;

1,2 – для загрязняющих веществ, которым не установлен класс опасности.

Значение относительного показателя опасности объекта воздействия определяется по формуле

$$ПО = \sum_1^n \frac{M_i}{ПДК_{ср}} \quad (3.2)$$

где n – количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия; M_i – масса выброса i -го загрязняющего вещества, т/год; ПДК_{ср} – значение среднегодовой ПДК или ОБУВ i -го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест отдыха населения, $мкг/м^3$, определяемое согласно нормативам качества атмосферного воздуха. В случае отсутствия установленного для загрязняющего вещества значения среднегодовой ПДК для определения относительного показателя опасности объекта воздействия используется значение максимальной разовой или среднесуточной ПДК, деленное на 10 и 4 соответственно [6].

По критерию Z объект воздействия относится к категории особо опасных или опасных в соответствии с подпунктами 5.3, 5.4, 5.6–5.10 пункта 5 и подпунктами 6.1–6.7, 6.10, 6.12 пункта 6 [9]. Иные объекты воздействия относятся к неопасным.

Категория объектов воздействия определяется на основании суммы условных баллов $K1$ и $K2$ согласно таблице 3.3. Значения расчетных приземных концентраций и значения $K2$ не рассчитываются и приравняются к нулю в случаях:

- когда значение условных баллов $K1$ менее шести;
- когда значение условных баллов $K1$ более шести, но менее 10 и относительный показатель опасности объекта воздействия, рассчитанный по формуле (3.2) менее 0,1.

Условные баллы $K1$, $K2$ рассчитываются по формулам

$$K1 = 2A1 + A2 + A3 + A4 + A5, \quad (3.3)$$

$$K2 = 2B1 + B2 + B3, \quad (3.4)$$

где $A1$ – число условных баллов, определяемое по таблице 3.1 в зависимости от рассчитанного по формуле (3.1) значения критерия C ; $A2$ – число условных баллов, определяемое в зависимости от значения относительного показателя опасности объекта воздействия, рассчитанного по формуле (3.2), согласно таблице 3.1; $A3$ – число условных баллов, определяемое в зависимости от значения критерия Z , определенного в соответствии с [6], согласно таблице 3.1 (в данной работе принимаем $A3=0$); $A4$ – число условных баллов, определяемое по количеству стационарных источников выбросов, отвечающих граничным показателям согласно таблице 3.1; $A5$ – число условных баллов, определяемое по количеству мобильных источников выбросов, отвечающих граничным показателям согласно таблице 3.1 (в данной работе принимаем $A5=1$); $B1$ – количество загрязняющих веществ и (или) групп загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия, по которым расчетная приземная концентрация превышает единицу; $B2$ – количество загрязняющих веществ и (или) групп загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия, по которым расчетная приземная концентрация находится в диапазоне от 0,8 до 1 (в данной работе принимаем $B1=B2=0$); $B3$ – число условных баллов, определяемое в зависимости от размера зоны воздействия, отвечающих граничным показателям согласно таблице 3.2.

К зоне воздействия объекта воздействия относятся все территории, расположенные внутри внешней границы, которая определяется как замкнутая линия на местности, вне которой для любой точки местности для любого из выбрасываемых загрязняющих веществ выполняется условие

$$q_{np,j} = \frac{C_{np,j}}{ПДК_{mрj}} < 0,2, \quad (3.5)$$

где C_{npj} – приземная концентрация j -го загрязняющего вещества, создаваемая стационарными источниками выбросов объекта воздействия в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест отдыха населения без учета фоновых концентраций, $мг/м^3$; $ПДК_{npj}$ – значение максимальной разовой предельно допустимой концентрации (ОБУВ) j -го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест отдыха населения, $мг/м^3$, определяемое согласно нормативов качества атмосферного воздуха.

Таблица 3.1 – Значение коэффициентов A_i для определения категории объектов воздействия на атмосферный воздух

Критерий	Число условных баллов, A_i				
	0	1	2	3	4
1 Зависимость от количественного и качественного состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов, находящихся на объекте воздействия, C	0	от 0 до 10^3	от 10^3 до 10^4	от 10^4 до 10^6	Не менее 10^6
2 Показатель опасности объекта воздействия, $ПО$	Менее 0,01	От 0,01 до 0,29	От 0,3 до 29,99	От 30 до 99,99	Более 99,99
3 Техногенная и экологическая опасность объекта воздействия, Z	неопасное	опасное	особо опасное	–	–
4 Количество стационарных источников выбросов	До 5	От 6 до 10	От 11 до 50	От 51 до 100	свыше 100
5 Количество мобильных источников выбросов	До 5	От 6 до 25	От 26 до 99	От 100 до 499	Не менее 500

Таблица 3.2 – Значение коэффициента B_3 в зависимости от размера зоны воздействия

Критерий	Число условных баллов, B_3				
	0	1	2	3	4
Размер зоны воздействия, $м$	до 100	от 101 до 300	от 301 до 1000	от 1001 до 3000	Более 3000

Таблица 3.3 – Граничные условия для деления объектов воздействия на атмосферный воздух по категориям в зависимости от суммы условных баллов

Сумма условных баллов	до 5	от 6 до 10	от 11 до 16	от 17 до 21	Свыше 21
Категория объектов воздействия	V	IV	III	II	I

Таблица 3.4 – ПДК(ОБУВ) загрязняющих веществ

№ п/п	Загрязняющее вещество	Код вещества	Класс опасности	ПДК, ОБУВ мкг/м ³		
				мр	сс	сг
1	Азот (II) оксид (азота оксид)	0304	3	400,0	240,0	100,0
2	Азот (IV) оксид (азота диоксид)	0301	2	250,0	100,0	40,0
3	Аммиак	0303	4	200,0	80,0	20,0
4	Бенз(а)пирен	0703	1	–	5нг/м ³	1нг/м ³
5	Бензол	0602	2	100,0	40,0	10,0
6	Бутилацетат	1210	4	100,0	–	–
7	Бутан-1-ол (бутиловый спирт)	1042	3	100,0	–	–
8	Водород	0316	2	200,0	100,0	50,0
9	Железа (II) оксид (железо и его соединения)	0123 0130	3	200,0	100,0	40,0
10	Каучук СКТН (пыль)	2928	б/к	500,0	–	–
11	Ксилолы	0616	3	200,0	100,0	20,0
12	Кумол	0612	4	14,0	–	–
13	Марганец и его соединения в пересчете на марганец (IV) оксид	0143	2	10,0	5,0	1,0
14	Масло минеральное	2735	3	50,0	20,0	5,0
15	Метан	0410	4	50·10 ³	20·10 ³	5·10 ³
16	Метилэтилкетон	1409	3	100,0	40	10
17	Натрия гидрохлорид	0150	б/к	10,0	–	–
18	Пропан-2-ол (спирт изопропиловый)	1051	3	600,0	200,0	60,0
19	Пропан-2-он (ацетон)	1401	4	350,0	150,0	35,0
20	Пыль древесная	2936	3	400	160	40
21	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния <70 %	2908	3	300,0	100,0	30,0
22	Серы диоксид (сера (IV) оксид)	0330	3	500,0	200,0	50,0
23	Свинец	0184	1	1,0	0,3	0,1
24	Спирт этиловый (этанол)	1061	4	5000,0	2000,0	500,0
25	Стирол	0620	2	40,0	8,0	2,0
26	Твердые частицы	2902	3	300,0	150,0	100,0
27	Толуол	0621	3	600,0	300,0	100,0
28	Углеводороды алициклические	0551	4	1400,0	560,0	140,0
29	Углеводороды непред. алифатического ряда C ₂ –C ₅	0550	4	3·10 ³	1,2·10 ³	300,0
30	Углеводороды предельные алифатического ряда C ₁ –C ₁₀ (алканы)	0401	4	25·10 ³	10·10 ³	2,5·10 ³
31	Углеводороды предельные алифатического ряда C ₁₁ –C ₁₉	2754	4	1000,0	400,0	100,0
32	Углерода оксид	0337	4	5000,0	3000,0	500,0
33	Фтористые газообразные соединения (в пересчете на фтор)	0342	2	20,0	5,0	1,0
34	Цинка оксид	0229	3	250,0	150,0	50,0
35	Этилацетат	1240	3	200,0	50,0	–
36	Этилбензол	0627	3	20,0	–	–
37	Этилмеркаптан (этантиол)	1728	3	0,05	–	–
38	Этилцеллозольв	1119	б/к	700,0	–	–

*В случае отсутствия вещества в таблице принимать значения строки 20.

3.2 Варианты заданий

Исходными данными для расчета являются соответствующие вашему варианту производства с источниками выброса вредных веществ и их параметры (см. табл. 3.5).

Варианты:

- 1 (производство № 1, 2);
- 2 (производство № 3, 4);
- 3 (производство № 5, 6);
- 4 (производство № 7, 8);
- 5 (производство № 1, 3);
- 6 (производство № 1, 4);
- 7 (производство № 1, 5);
- 8 (производство № 1, 6);
- 9 (производство № 1, 7);
- 10 (производство № 1, 8);
- 11 (производство № 2, 3);
- 12 (производство № 2, 4);
- 13 (производство № 2, 5);
- 14 (производство № 2, 6);
- 15 (производство № 2, 7);
- 16 (производство № 2, 8);
- 17 (производство № 3, 5);
- 18 (производство № 3, 6);
- 19 (производство № 3, 7);
- 20 (производство № 3, 8).

Дополнительно: варианты 1–10 – размер зоны воздействия 80 м, производства неопасные; варианты 11–15 – размер зоны воздействия 150 м, производства неопасные; варианты 16–20 – размер зоны воздействия 350 м, производства опасные.

Контрольные вопросы:

1. Для чего объекты воздействия на атмосферный воздух относятся к определенным категориям?
2. Что такое ПДК_{мр}, ПДК_{сс}, ПДК_{сг}?
3. Что учитывает и от чего зависит критерий С?
4. Как определяется значение относительного показателя ПО?
5. Как рассчитать условные баллы К1 и К2?

Таблица 3.5 – Параметры выбросов ЗВ в атмосферный воздух

Производство	цех	наименование источника выделения	число часов работы в год	Источник выброса		Загрязняющее вещество		Выброс загрязняющих веществ			
								до очистки		после очистки	
				Количество, наименование	номер	код	наименование	г/с	т/г	г/с	т/г
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Производство 1	Гараж	сварочные посты	40	1, труба	0001	0123	Железа (II) оксид			0,0275	0,0018
						0143	Марганец и его соедин.			0,0048	0,0011
						0342	Фтористые соединения (в пересчете на фтор)			0,0011	0,0024
	Мастерская	заточные станки	200	1, труба	0002	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	0,384	0,296	0,0384	0,0296
	Котельная	котел КЧ	6100	1, труба	0003	0304	Азота (II) оксид			0,1432	0,2049
						0301	Азота (IV) оксид			0,8810	1,2612
						0337	Углерода оксид			2,0998	2,6315
						2902	Твердые частицы			7,2593	7,8803
						0330	Серы диоксид			0,3314	0,3169
						0703	Бенз(а)пирен			2,38E-06	2,38E-06
	Склад	сверлильный станок	300	1, труба	0004	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	1,324	1,296	0,1324	0,1296
	Участок ремонта обуви	клейка подошв	600	1, труба	0005	1401	Ацетон			0,0107	0,1800
						0621	Толуол			0,0560	0,3960
						1240	Этилацетат			0,0069	0,092
						1051	Спирт изопропил.			0,0019	0,0099
1042						Бутиловый спирт			0,0019	0,0089	
0401						Углев.пред.С1–С10			0,0026	0,0826	
2928	Каучук СКТН (пыль)			0,0672	0,0321						

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Производство 2	Промзона	сварочные посты	40	1, труба	0006	0123	Железа (II) оксид			0,0275	0,0019
						0143	Марганец и его соедин.			0,0048	0,0081
						0342	Фтористые соединения (в пересчете на фтор)			0,0011	0,0080
	Цех № 1	покрасочная камера	300	1, труба	0007	1401	Ацетон			0,0548	0,0598
						0621	Толуол			0,4102	0,7662
						1240	Этилацетат			0,0935	0,1015
						1409	Метилэтилкетон			0,0858	0,0928
						1061	Спирт этиловый			0,0288	0,0318
						1210	Бутилацетат			0,0658	0,0266
						1042	Бутиловый спирт			0,0666	0,0768
						0627	Этилбензол			0,0248	0,0268
						1119	Этилцеллозольв			0,0028	0,0028
						0401	Углев. пред. C ₁ -C ₁₀			0,0553	0,0356
						0602	Бензол			0,0251	0,0353
	Цех № 1	сушильная камера	775	1, труба	0008	1210	Бутилацетат			0,0008	0,0052
						1042	Бутиловый спирт			0,0053	0,0051
						0401	Углев. пр. C ₁ -C ₁₀			0,0051	0,0051
						0616	Ксилолы			0,0042	0,0041
						0612	Кумол			0,0043	0,0041
						0620	Стирол			0,0041	0,0043
						0621	Толуол			0,0052	0,0051
						1240	Этилацетат			0,0061	0,0063
						0627	Этилбензол			0,0067	0,0062
						1119	Этилцеллозольв			0,0042	0,0041
						0602	Бензол			0,0015	0,0009
						0550	Углев. непредельные			0,0019	0,0041
						0551	Углев. алициклические			0,0015	0,0044
	Котельная	котел Buderus	8760	1, труба	0009	0304	Азота (II) оксид			0,0064	0,1249
						0301	Азота (IV) оксид			0,0366	0,9408
						0337	Углерода оксид			0,0544	0,2264
						0703	Бензапирен			1,39E-08	5,78E-08

Продолжение таблица 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Производство 3	АЗС	резервуар 10м ³ бензин Н-80	8760 хр,сл/нал.	1, неорганизов. источник	6001	0401	Углев. предельн. С ₁ -С ₁₀			1,5023	0,1139
						0550	Углев. непредельн. С ₂ -С ₅			0,0406	0,0036
						0602	Бензол			0,0362	0,0063
						0621	Толуол			0,0263	0,0062
						0627	Этилбензол			0,0011	0,0011
						0616	Ксилолы			0,0022	0,0022
	Бокс № 1	токарный станок	500	1, труба	0011	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70%	0,266	2,464	0,0266	0,0464
	Бытовые помещения	котел КЧ	6100	1, труба	0012	0304	Азота (II) оксид			0,1432	0,2049
						0301	Азота (IV) оксид			0,8816	1,2612
						0337	Углерода оксид			2,0998	2,6315
						2902	Твердые частицы			7,2593	7,8803
						0330	Серы диоксид			0,3314	0,3169
						0703	Бенз(а)пирен			2,38E-06	2,38E-06
	Гальванический участок	пост заливки цинком	450	1, труба	0013	0229	Цинка оксид			0,0036	0,0026
						0184	Свинец и его соед.			0,000090	0,000060
						0316	Водород хлористый			0,0012	0,0011
						0303	Аммиак			0,0025	0,0023
						0337	Углерод оксид			0,0282	0,0224
						0301	Азот (IV) оксид			0,0127	0,0226
	Гальванический участок	линия цинкования	530	1, труба	0014	0150	Натрия гидроокись			0,0021	0,0021
						0229	Цинка оксид			0,0034	0,0032
						0316	Водород хлористый			0,0033	0,0033
	Гальванический участок	линия оксидирования	530	1, труба	0015	0150	Натрия гидроокись			0,0033	0,0036
						0229	Цинка оксид			0,0034	0,0032
0316						Водород хлористый			0,0035	0,0035	
Сварочный участок	сварочные кабины	1100	1, труба	0016	0123	Железа (II) оксид			0,0745	0,1119	
					0143	Марганец и его соедин.			0,048	0,0511	
					0342	Фтористые соединения (в пересчете на фтор)			0,0212	0,0420	

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Производство 4	Участок дерево-обработки	фрезерный станок рейсмусовый станок	40	1, труба	0017	2936	Пыль древесная	1,640	7,290	0,164	0,729
	Цех № 2	покрасочная камера	1680	1, труба	0018	1401	Ацетон			0,0221	0,0223
						0621	Толуол			0,0024	0,0620
						1240	Этилацетат			0,0027	0,0425
						1409	Метилэтилкетон			0,0222	0,0121
						1061	Спирт этиловый			0,0031	0,0036
						1210	Бутилацетат			0,0031	0,0034
						1042	Бутиловый спирт			0,0032	0,0138
						0627	Этилбензол			0,0042	0,0142
						1119	Этилцеллозольв			0,0041	0,0044
						0401	Углев. предельные C ₁ -C ₁₀			0,0140	0,1444
						1051	Спирт изопропил.			0,0442	0,0441
						0602	Бензол			0,0553	0,0159
						0550	Углев. непредельн. C ₂ -C ₅			0,0054	0,0255
						0616	Ксилолы			0,0250	0,2250
	0602	Бензол			0,0251	0,033					
	Цех № 2	камера нанесения полимерных покрытий	1680	1, труба	0019	1210	Бутилацетат			0,0331	0,0332
						1042	Бутиловый спирт			0,0033	0,0031
						0401	Углев. предельные C ₁ -C ₁₀			0,0031	0,0031
						0616	Ксилолы			0,0042	0,0441
						0612	Кумол			0,0043	0,0041
						0620	Стирол			0,0041	0,0044
						0621	Толуол			0,0032	0,0031
						1240	Этилацетат			0,0031	0,0033
						0627	Этилбензол			0,0031	0,0032
						1119	Этилцеллозольв			0,0042	0,0041
						0602	Бензол			0,0042	0,0044
						0550	Углев. непредельн.			0,0042	0,0041
0551						Углев. алициклическ			0,0042	0,0044	

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Производство 5	Гараж	токарные станки	140	1, труба	0020	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	0,260	0,440	0,026	0,044
	Цех № 3	покрасочная камера	1200	1, труба	0021	1401	Ацетон			0,0221	0,0223
						0621	Толуол			0,0224	0,0622
						1240	Этилацетат			0,0227	0,0425
						1409	Метилэтилкетон			0,0332	0,0131
						1061	Спирт этиловый			0,0331	0,0036
						1210	Бутилацетат			0,0331	0,0034
						1042	Бутиловый спирт			0,0332	0,0138
						0627	Этилбензол			0,0032	0,0132
						1119	Этилцеллозольв			0,0331	0,0334
						0401	Углев. предельные C ₁ -C ₁₀			0,0140	0,1444
						0551	Углев. алициклические			0,0660	0,0363
						1051	Спирт изопропил.			0,0042	0,0441
						0602	Бензол			0,0043	0,0149
						0550	Углев. непредельн.			0,0044	0,0245
	0616	Ксилолы			0,0240	0,2240					
	0602	Бензол			0,0241	0,0343					
	Химическая лаборатория	лабораторный вытяжной шкаф	500	1, труба	0022	1061	Спирт этиловый			0,1648	0,148
						0551	Углев. алициклические			0,0042	0,0054
						0401	Углев. предельные C ₁ -C ₁₀			0,0150	0,1544
						0550	Углев. непредельн. C ₂ -C ₅			0,0554	0,0525
						1401	Ацетон			0,0551	0,0553
						1042	Бутиловый спирт			0,0051	0,0051
	Химическая лаборатория	сушильный шкаф	500	1, труба	0023	2735	Масло минеральное			0,0150	0,0454
						1061	Спирт этиловый			0,0658	0,1508
						0401	Углев. предельные C ₁ -C ₁₀			0,0250	0,0544
						0301	Азот (IV) оксид			0,3943	0,9242
						0337	Оксид углерода			0,5940	1,5249

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Производство 6	Токарное отделение	фрезерные станки	400	1, труба	0024	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	0,556	0,252	0,0556	0,0252
	АЗС	резервуар 10 м ³ дизтопливо	8760 хр, сл/нал.	1, дыхательный клапан	0025	2754	Углев. предельн. C ₁₁ -C ₁₉			0,0555	0,0545
	Цех № 3	камера нанесения полимерных покрытий	775	1, труба	0026	1210	Бутилацетат			0,0054	0,0551
						1042	Бутиловый спирт			0,0051	0,0052
						0401	Углев. предельные C ₁ -C ₁₀			0,0051	0,0053
						0616	Ксилолы			0,0051	0,0052
						0612	Кумол			0,0442	0,0443
						0620	Стирол			0,0033	0,0331
						0621	Толуол			0,0031	0,0032
						1240	Этилацетат			0,0031	0,0031
						0627	Этилбензол			0,0034	0,0037
						1119	Этилцеллозольв			0,0061	0,0062
	0602	Бензол			0,0661	0,0662					
	0550	Углев. непредельн. C ₂ -C ₅			0,0662	0,0663					
	0551	Углев. алициклические			0,0661	0,0663					
Склады	склад угля	4380	1, неорганизов. ист.	6002	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	0,466	8,162	0,0466	0,8162	
Склады	склад золы	8760	1, неорганизов. ист.	6003	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	0,666	9,262	0,0666	0,9262	
	котел паровой ДКВР 6,5/13		1, труба	0029	0304	Азот (II) оксид			-	1,301	
					0301	Азот (IV) оксид			1,3923	8,1222	
					0337	Оксид углерода			2,5902	25,523	
					2902	Твердые частицы			3,7912	23,503	
					0330	Сера диоксид			18,253	12,483	
0703	Бенз(а)пирен			1,08E-05	3,19E-05						

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Производство 7	Склад № 2	заточной станок отрезной станок	240	1, дефлектор	0030	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	0,564	0,252	0,0564	0,0252	
	Склад № 3	заточной станок отрезной станок	240	1, дефлектор	0031	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	0,564	0,252	0,0564	0,0252	
	Склад № 4	токарный станок фрезерный станок	420	1, дефлектор	0032	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	0,564	0,252	0,0564	0,0252	
	Склад № 5	токарный станок фрезерный станок	420	1, дефлектор	0033	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	0,564	0,252	0,0564	0,0252	
	Склад № 6	токарный станок фрезерный станок	420	1, дефлектор	0034	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ <70 %	0,564	0,252	0,0776	0,0472	
	Цех № 3	сушильная камера	1680	1, труба	0035	1210	Бутилацетат				0,0051	0,0052
						1042	Бутиловый спирт				0,0055	0,0051
						0401	Углев. предельн. C ₁ -C ₁₀				0,0051	0,0051
						0616	Ксилолы				0,0052	0,0051
						0612	Кумол				0,0063	0,0061
						0620	Стирол				0,0061	0,0045
						0621	Толуол				0,0052	0,0051
						1240	Этилацетат				0,0051	0,0060
						0627	Этилбензол				0,0051	0,0062
						1119	Этилцеллозольв				0,0062	0,0061
						0602	Бензол				0,0062	0,0074
						0550	Углев. непредельн. C ₂ -C ₅				0,0062	0,0071
						0551	Углев. алициклические				0,0072	0,0074
						1401	Ацетон				0,0017	0,0073
						1051	Спирт изопропил.				0,0047	0,0760
0337	Оксид углерода				0,0077	0,0745						
1409	Метилэтилкетон				0,0027	0,0171						
1061	Спирт этиловый				0,0071	0,0076						

Окончание таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Производство 8	Склад ГСМ	резервуар РГДС-50 (ДТ+Н-80)	8760	1, дыхательный клапан	0036	0401	Углеводор. предел. C ₁ -C ₁₀			1,5767	0,7866
						0550	Углеводор. неперед. C ₂ -C ₅			0,0662	0,0210
						0602	Бензол			0,0336	0,0168
						0621	Толуол			0,0244	0,0122
						0627	Этилбензол			0,0008	0,0004
						0616	Ксилолы			0,0025	0,0013
	Склад ГСМ	резервуар РГДС-10 (А-92+пустой)	8760	1, дыхательный клапан	0037	0401	Углеводор. предел. C ₁ -C ₁₀			1,5570	0,0527
						0550	Углев. непередельн. C ₂ -C ₅			0,042	0,00210
						0602	Бензол			0,0386	0,0013
						0621	Толуол			0,0365	0,0012
						0627	Этилбензол			0,0010	0,0003
						0616	Ксилолы			0,0049	0,0002
	Склад ГСМ	резервуар РГС-10 (10м ³)	8760	1, дыхательный клапан	0038	2754	Углеводор. предел. C ₁₂ -C ₁₉			0,0543	0,0085
	Склад ГСМ	резервуар РГДС-5 (масло МГ-10)	8760	1, дыхательный клапан	0040	2735	Масло минеральное			0,0019	0,0081
	Котельная	котел PREXTXERM RSW820 (1-рабочий, 3-резервных, газ)	1956	1, труба	0041	0304	Азот (II) оксид			-	0,1395
						0301	Азота (IV) оксид			0,1356	0,9905
						0337	Углерода оксид			0,0288	0,0041
						0703	Бенз(а)пирен			4,2E-07	7,4E-07
	ГРП	ТО, плановые ремонты	15	свеча	0042	0410	метан			0,1500	0,1865
		неплотность соедин., негерметичность об.	8760	неорганиз. источник		1728	этилмеркаптан			2,2·10 ⁻⁶	4,9·10 ⁻⁶
ШРП	ТО, плановые ремонты	15	свеча	0043	0410	метан			0,1250	0,15610	
	неплотность соедин., негерметичность об.	8760	неорганиз. источник		1728	этилмеркаптан			0,9·10 ⁻⁶	2,2·10 ⁻⁶	
Шиноремонт	вулканизатор	42	1, труба	0044	0550	Углеводор. неперед. C ₂ -C ₅			0,0620	0,0210	
					0330	серы диоксид			9E-08	4E-08	
Токарное отделение	заточный станок сверильный станок токарный станок	100	1, труба	0045	2908	Пыль неорганическая с сод. SiO ₂ < 70 %			0,0384	0,0176	
		100									
		100									

Практическая работа 4

Расчет полигона размещения отходов производства

Цель работы: изучить устройство полигона, рассчитать мощность и площадь полигона ТБО (одна карта) для условного населенного пункта, количество образующегося биогаза. Получить практические навыки определения основных показателей полигонов твёрдых бытовых отходов, характеризующих степень из воздействия на окружающую среду.

4.1 Общие сведения

В Республике Беларусь ежегодно образуется более 1,5 млн тонн отходов потребления. Практически полностью (98 %) твердые бытовые отходы (далее – ТБО) захораниваются на полигонах, которые занимают большие площади. В РБ всего насчитывается около 200 полигонов ТБО. Суммарная площадь земельных отводов для размещения полигонов составляет около 890 га, 60 % которой уже занято отходами. Большинство из действующих полигонов не удовлетворяют природоохранным, санитарным и другим требованиям Республики Беларусь. Так, только около 30 % полигонов оборудовано противодиффузионными экранами, защищающими почву и подземные воды от воздействия продуктов разложения отходов в теле полигона; около 35 % не имеют паспорта Объекта захоронения.

Любой полигон твердых бытовых отходов (ТБО) представляет собой большой биохимический реактор, в недрах которого в процессе эксплуатации, а также в течение нескольких десятилетий после закрытия в результате анаэробного разложения отходов растительного и животного происхождения образуется биогаз. Биогаз, или как его иногда называют, свалочный газ, представляет собой смесь метана и углекислого газа примерно в равной пропорции. Примеси других газов незначительны и обычно не превышают 1 %.

Биогаз неизбежно попадает в атмосферу, что вызывает ряд негативных последствий. Известно много случаев отравления при техническом обслуживании углубленных инженерных коммуникаций. Накопление газа в теле свалки зачастую вызывает самовозгорание ТБО. Процесс горения сопровождается образованием токсичных веществ, в частности, диоксинов. В последнее время особую актуальность приобрели парниковые свойства метана, содержащегося в биогазе, в связи с проблемой потепления земного климата.

Системы сбора и утилизации биогаза на полигонах ТБО получили широкое распространение в мире. В США существует около тысячи

полигонов, на которых биогаз собирается и сжигается в факеле. Примерно третья часть этих полигонов использует биогаз для получения тепловой или электрической энергии. Наличие системы сбора и утилизации биогаза является обязательным требованием при строительстве полигонов ТБО в большинстве развитых стран мира.

К достоинствам сбора и утилизации биогаза относится уменьшение эмиссии парниковых газов, выраженное в тоннах CO²-эквивалента, за счет уменьшения поступления метана в атмосферу и замещения использования природного газа для производства тепла и электроэнергии.

4.2 Выполнение работы

Расчет полигона проводится в три этапа.

I. Определение общей вместимости полигона ТБО на весь срок его эксплуатации.

Для этого необходимы следующие данные (табл. 4.5):

- расчетный срок эксплуатации полигона T , лет;
 - удельная норма образования отходов на одного человека в год, Y_1 м³/чел.год (в среднем для Беларуси $Y_1 = 1,1$ м³/чел.год);
 - скорость ежегодного прироста удельной нормы U , % (принимается $U = 1,8$ %);
 - численность населения города на момент проектирования полигона N_1 , чел.;
 - прогнозируемая численность населения города через T лет – N_2 , чел.;
 - ориентировочная высота «холма» ТБО на полигоне, H_p' , м.
1. Определение удельной нормы образования Y_2 (м³/чел.год) отходов через T лет:

$$Y_2 = Y_1 \cdot \left(1 + \frac{U}{100}\right)^T \quad (4.1)$$

2. Общая вместимость полигона E_T , м³:

$$E_T = \frac{Y_1 + Y_2}{2} \cdot \frac{N_1 + N_2}{2} \cdot \frac{K_2}{K_1} \cdot T \quad (4.2)$$

где K_1 – коэффициент уплотнения ТБО за весь период T ; K_2 – объем изолирующих слоев грунта; T – период эксплуатации полигона до его закрытия, лет.

K_1 и K_2 определяют по таблицам 4.1 и 4.2 в зависимости от ориентировочной высоты «холма» полигона ТБО H_p' (м).

Таблица 4.1 – Значения коэффициента K_1

Масса бульдозера, т	H_{Π}^1 , м	K_1
14	10	3,7
14	10–30	4
20–25	Более 30	4,5

Таблица 4.2 – Значения коэффициента K_2

H_{Π}^1 , м	<5	5–7	7,1–9	9,1–12	12,1–15	15,1–39	40–50
K_2	1,37	1,27	1,25	1,24	1,2	1,18	1,16

II. Определение площади полигона

Основание полигона (или рабочей карты на полигоне) принимаем в виде прямоугольника, а форму «холма» отходов – в виде усеченной пирамиды.

Из объема пирамиды ($V = S_{\Pi}/3$) определяют ее основание (площадь участка складирования ТБО) S , m^2 :

$$S_{yc} = 3 \cdot \frac{V}{H} = 3 \cdot \frac{E_T}{H_{\Pi}^1} \quad (4.3)$$

Вокруг участка складирования отходов должны быть свободная площадь для движения и работы транспорта, механизмов, обслуживающего персонала и подъездных дорог. Поэтому необходимая под полигон площадь S_{Π} (м) должна быть больше участка складирования S_{yc} для размещения вспомогательной зоны $S_{доп}$ (принимаем $S_{доп} = 0,6$ га) и проездных дорог (коэффициент 1,1):

$$S_{\Pi} = 1,1 \cdot S_{yc} + S_{доп} \quad (4.4)$$

III. Уточнение высоты «холма» ТБО и расчет параметров котловины.

Практика показывает, что грунт для изолирующих промежуточных слоев, а в будущем для рекультивационного (верхнего) слоя при закрытии свалки экономически целесообразно заготавливать из котлована под основание участка складирования ТБО.

Холм полигона имеет вид усеченной пирамиды. Объем усеченной пирамиды V , m^3 («холма» ТБО) можно определить по формуле

$$V = \frac{1}{3} \cdot (S_{yc} + S_B + \sqrt{S_{yc} \cdot S_B}) \cdot H_{\Pi} \quad (4.5)$$

где S_H , S_B – площадь нижнего и верхнего основания пирамиды, m^2 ; H – высота пирамиды, м.

Таким образом, общая вместимость полигона E_m , м³:

$$E_T = \frac{1}{3} \cdot (S_{VC} + S_B + \sqrt{S_{VC} \cdot S_B}) \cdot H_{II} \quad (4.6)$$

Отсюда, уточняем высоту полигона H_{II} , м:

$$H_{II} = \frac{3 \cdot E_T}{(S_{VC} + S_B + \sqrt{S_{VC} \cdot S_B})} \quad (4.7)$$

Площадь верхнего основания холма полигона представляет форму квадрата. Принимаем $S_B = 40 \times 40$ м².

Определяют требуемый объем грунта $V_{Г}$, м³:

$$V_{Г} = E_T \cdot \left(1 - \frac{1}{K_2}\right) \quad (4.8)$$

Глубина котлована H_K (м) с учетом откосов (коэффициент 1,1) равна

$$H_K = 1,1 \cdot \frac{V_{Г}}{S_{VC}} \quad (4.9)$$

Оценивают верхнюю отметку полигона ТБО H_{BO} , м:

$$H_{BO} = H_{II} - H_K + 1 \quad (4.10)$$

Высоту наружного изолирующего слоя грунта принимают равным 1 м, что учтено в предыдущей формуле.

Отчеты по выполненным работам необходимо представить по форме, приведенной в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Форма представления отчета

№ вар.	E_T , м ³	S , м ²	S_{II} , м ²	H_{II} , м	$V_{Г}$, м ³	H_{BO} , м

IV. Оценка количества биогаза, образующегося на полигоне

Рассчитать количество биогаза, который можно собирать с данного полигона через 5 лет после его закрытия по данным таблицы 4.5.

Первичная оценка количества биогаза, образующегося на полигоне, проводится с помощью следующей формулы:

$$Q = L_0 \cdot R \cdot (k_c - k_t), \quad (4.11)$$

где Q – количество метана, образующегося в течение года ($\text{м}^3/\text{год}$); L_o – потенциал образования метана ($\text{м}^3/\text{т ТБО}$), $L_o = 125\text{м}^3/\text{т}$; R – среднее количество вывозимых ТБО ($\text{т}/\text{год}$); k – постоянная образования метана ($1/\text{год}$), $k = 0,04$; c – время с момента закрытия полигона (лет); t – время с момента открытия полигона (лет).

Для того чтобы оценить возможное количество собранного биогаза, необходимо принять во внимание, что система сбора биогаза будет покрывать 80 % площади полигона, а эффективность сбора биогаза отдельной скважиной составит 75 %. Стоимость 1 калории тепла, полученной при сжигании биогаза, составляет 90 % от стоимости калории, полученной при сжигании природного газа.

Таблица 4.5 – Исходные данные (варианты)

№ вар.	T, лет	N ₁ , тыс. чел.	N ₂ , тыс. чел.	H _П ¹ , м	Численность обслуживаемого региона, чел.	Расчетный срок эксплуатации, лет	Годовая удельная норма накопления ТБО, м ³ /чел.
1	20	350	500	20	250 000	15	1,1
2	20	1 300	2 000	40	100 000	16	1,3
3	25	280	450	25	150 000	15	1,5
4	18	630	1 000	30	200 000	17	1,1
5	22	410	800	30	250 000	15	1,1
6	25	250	520	20	300 000	19	1,3
7	20	1 100	1 800	35	350 000	15	1,5
8	18	800	1 100	30	400 000	18	1,1
9	19	425	630	30	150 000	15	1,1
10	22	370	530	30	225 000	17	1,3
11	23	1 600	2 200	40	345 500	16	1,5
12	25	1 025	1 500	40	276 000	19	1,1
13	20	220	390	20	265 000	20	1,1
14	18	420	610	25	297 000	15	1,3
15	18	550	950	25	175 000	15	1,5
16	22	1 310	2 000	40	200 500	20	1,1
17	22	355	940	20	100 000	15	1,4
18	25	820	1 300	30	155 000	20	1,3
19	20	225	475	20	122 000	20	1,5
20	18	510	975	25	225 000	20	1,1
21	20	1 400	1 900	40	223 000	18	1,1
22	23	345	420	20	273 500	15	1,3
23	22	660	1 400	25	244 000	19	1,5
24	25	1 250	2 300	40	294 500	20	1,1
25	25	440	710	25	265 000	20	1,4
26	19	590	1150	20	355 000	17	1,4
27	22	820	1720	25	196 000	18	1,4
28	24	1000	1890	20	165 000	20	1,4
29	20	1100	2460	40	270 000	20	1,3
30	22	960	2540	40	197 500	20	1,2

Контрольные вопросы:

1. Что такое полигон? Что на нем размещают?
2. Требования к размещению полигона.
3. Какие параметры необходимо рассчитывать при проектировании полигона?
4. От чего зависит вместимость полигона?

Практическая работа 5

Расчет нормативов допустимых сбросов сточных вод перед отведением в поверхностные водоемы

Цель работы: ознакомиться с методикой нормирования загрязняющих веществ в сточных водах при сбросе их в поверхностные водоемы.

5.1 Основные сведения

Для объектов, проектирующих или имеющих действующие самостоятельные выпуски сточных вод в водные объекты, устанавливаются нормативы допустимых сбросов (НДС). В городах это чаще всего городские очистные сооружения, которые являются подразделениями местных водоканалов или управлений ЖКХ (водопроводно-канализационное хозяйство – ВКХ) [7].

НДС – максимально допустимая масса загрязняющих веществ в составе отводимых вод в водный объект, при сбросе которой обеспечиваются нормативы качества воды водного объекта (ПДК) в контрольном створе.

Контрольный створ – это условное поперечное сечение водного объекта, в котором производят комплекс работ с целью получения данных о показателях качества и концентрациях веществ в воде водного объекта (рис. 5.1).

При сбросе загрязняющих веществ в составе сточных вод в водотоки (реки) контрольный створ устанавливается на расстоянии не далее 500 м ниже по течению от места выпуска сточных вод.

Качество воды водоемов (озера, пруды) должно обеспечиваться в одном километре от места выпуска сточных вод в водоем. Сброс сточных вод в водоемы с меньшим размером не допускается.

НДС рассчитывается как для интегральных показателей загрязненности воды (взвешенные вещества, биохимическое потребление кислорода (БПК) и др.), так и для индивидуальных соединений в г/ч и т/год.

В случае если фактические концентрации загрязняющих веществ в составе отводимых сточных вод ($C_{св}$) меньше расчетных допустимых концентраций ($C_{дс}$), нормативы допустимых сбросов устанавливаются исходя из фактических концентраций загрязняющих веществ в составе отводимых вод при условии, что они не превышают проектные значения концентраций.

Если фактические концентрации загрязняющих веществ превышают расчетные допустимые концентрации, то на период выполнения водопользователем мероприятий по снижению сброса Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, областные и Минский городской комитеты природных ресурсов и охраны окружающей среды могут устанавливать временные нормативы допустимых сбросов с учетом поэтапного достижения НДС.

Основой для расчета НДС является расчет кратности разбавления сточных вод в водоеме. При этом учитываются гидрологические параметры водоема (расход или объем воды в водном объекте, скорость течения, глубина, извилистость, шероховатость дна и др.).

Значение НДС зависит также от состава и физических характеристик воды водоема выше выпуска сточных вод (от фоновой концентрации).

Фоновая концентрация – это концентрация загрязняющего вещества, сложившаяся в водном объекте выше от места выпуска сточных вод.

Немаловажное значение имеют расположение выпуска сточных вод, соотношение расходов сточных вод и воды водоема, способность водоема к самоочищению, наличие других объектов, использующих водоем в качестве приемника сточных вод.

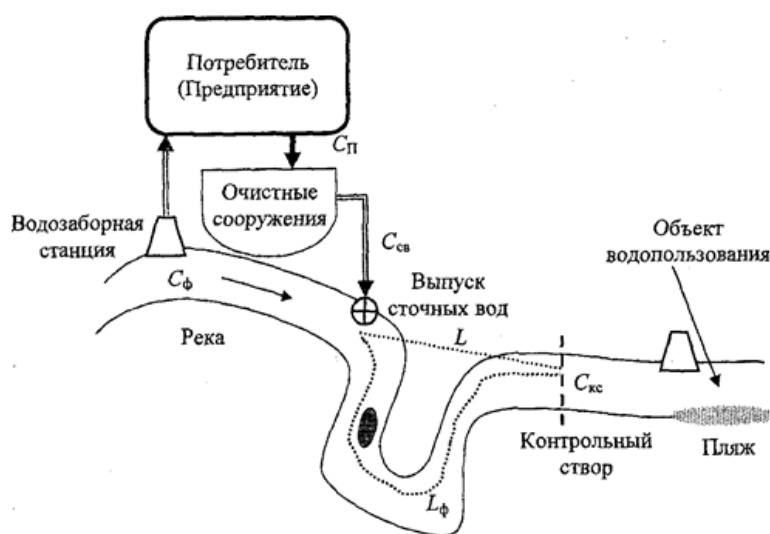


Рисунок 5.1 – Схема выпуска сточных вод в поверхностный водный объект

5.2 Выполнение работы

Величина нормативов допустимых сбросов i -го загрязняющего вещества в составе отводимых вод в водный объект определяется по формуле

$$НДС_i = q \cdot C_{дсi} \quad (5.1)$$

где q – максимальный часовой расход сточных вод, м³/ч; $C_{дсi}$ – допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в сбрасываемых сточных водах, мг/дм³.

Максимально допустимая масса i -го загрязняющего вещества в составе сточных вод

$$M_{\max} = q \cdot C_{дсi} \cdot 10^{-6}. \quad (5.2)$$

Допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в сточных водах ($C_{дсi}$, мг/м³) рассчитывается по формуле

$$C_{дсi} = \left[(n-1) \cdot (C_{ПДКi} - C_{\phi i}) \right] + C_{ПДКi}, \quad (5.3)$$

где n – кратность разбавления отводимых вод в водотоке, служащем приемником сточных вод; $C_{ПДКi}$ – норматив ПДК i -го вещества в воде рыбохозяйственного водного объекта, мг/дм³; $C_{\phi i}$ – фоновая концентрация i -го вещества в воде водотока выше выпуска сточных вод, мг/дм³.

Кратность разбавления сточных вод в воде водотока при соотношении расхода воды в водотоке и отводимых сточных вод $Q/q = 10 \div 400$ определяется по формуле

$$n = (q + k_{см} \cdot Q) / q, \quad (5.4)$$

где q – расход отводимых сточных вод, м³/с; $k_{см}$ – коэффициент смешения сточных вод с водой водотока; Q – расход воды в водотоке, м³/с.

Коэффициент смешения показывает, какая часть речного расхода водотока смешивается с отводимыми водами и зависит от гидравлических условий в водотоке, расстояния от выпуска отводимых вод до контрольного створа, расходов отводимых вод и водотока. При этом в случае если величина отношения расхода водотока к расходу отводимых вод более 400, кратность разбавления определяется при

расходе воды в водотоке $Q=q \cdot 400$; а в случае если величина отношения расхода водотока к расходу отводимых вод менее 10, расчет коэффициента кратности разбавления не производится, и НДС устанавливаются исходя из значений ПДК.

Коэффициент смешения $k_{см}$, показывающий, какая часть расхода воды водотока участвует в смешении со сточными водами в максимально загрязненной струе контрольного створа, рассчитывается по формуле

$$k_{см} = \frac{1 - e^{-k_{ry} \cdot \sqrt[3]{l_{\phi}}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-k_{ry} \cdot \sqrt[3]{l_{\phi}}}} \quad (5.5)$$

где k_{ry} – коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке; l_{ϕ} – расстояние от выпуска отводимых сточных вод до контрольного створа по фарватеру водотока, м.

Коэффициент k_{ry} , учитывающий гидравлические условия в водотоке рассчитывается по формуле

$$k_{ry} = k_{изв} \cdot k_{вып} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (5.6)$$

где $k_{изв}$ – коэффициент извилистости, определяемый как отношение расстояния от места выпуска сточных вод в водоток до контрольного створа по фарватеру водотока (l_{ϕ}) к расстоянию по прямой (l); $k_{вып}$ – коэффициент, зависящий от типа выпуска сточных вод (при выпуске у берега $k_{вып} = 1$, при выпуске в стрежень реки $k_{вып} = 1,5$); D – коэффициент турбулентной диффузии, m^2/c .

Коэффициент турбулентной диффузии (D , m^2/c) рассчитывается по формуле

$$D = \frac{V_{cp} \cdot H_{cp}}{200}, \quad (5.7)$$

где V_{cp} – средняя скорость течения воды в створе выпуска сточных вод, m/c ; H_{cp} – средняя глубина реки, м.

В случае если концентрация загрязняющего вещества в сбрасываемых сточных водах ($C_{св}$) превышает рассчитанную допустимую концентрацию ($C_{дс}$), то определяют требуемую эффективность очистки для веществ, сбрасываемых со сточными водами по формуле

$$\Theta = \frac{C_{CB} - C_{ДС}}{C_{CB}} \quad (5.8)$$

где C_{CB} – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах перед их подачей на очистные сооружения, мг/дм³.

Задание 1. Определить НДС и требуемую степень очистки сточных вод, сбрасываемых в реку.

Расход воды в реке Q , м³/с, средняя скорость течения K_{CP} , м/с, средняя глубина реки H_{CP} , м. Расстояние от места выпуска до створа по фарватеру l , км, по прямой $l_{прям}$, км. Расход сточной воды q , м³/с. Исходные данные для решения задачи и характеристика загрязняющих веществ представлены в таблице 5.1 и 5.2. Выпуск сточных вод осуществляется в стрежень реки.

Задание 2. Определить, как изменится НДС, если:

а) в результате строительства выше по течению реки химического комбината фоновая концентрация увеличилась на 28 %;

б) в результате проведения мелиоративных работ расход воды в водоприемнике уменьшился на 10 %;

в) на рассматриваемом предприятии проведена модернизация очистных сооружений, в результате чего концентрация загрязняющих веществ в сточных водах снизилась на 50 %.

Таблица 5.1 – Исходные данные

Характеристика	Номер варианта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q , м ³ /с	45	48	52	55	35	38	42	30	65	68	58	70	75
V_{CP} , м/с	0,1	1,15	0,2	0,8	1,05	0,45	0,23	0,25	0,32	0,34	0,38	0,17	0,19
H_{CP} , м	0,9	1,1	1,5	1,4	1,3	1,1	1,05	1,0	1,28	1,4	1,39	1,5	1,44
l , км	5,0	5,2	5,5	5,9	4,9	5,1	6,2	6,4	6,5	6,8	5,7	5,6	5,3
$l_{прям}$, км	3,0	2,1	2,2	2,3	3,1	4,2	4,3	4,9	3,9	4,9	3,8	4,3	3,5
q , м ³ /с	1,1	1,2	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,25	0,85	0,65	0,75	0,79	0,88
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Q , м ³ /с	49	55	49	56	44	54	34	64	38	48	58	68	70
V_{CP} , м/с	0,28	0,75	1,1	0,65	0,74	0,55	0,34	0,84	0,69	0,73	0,84	0,92	1,1
H_{CP} , м	1,28	1,1	1,3	1,25	1,4	1,55	1,25	1,15	1,3	0,9	1,32	1,24	1,4
l , км	4,8	4,8	5,1	6,2	5,7	5,4	6,3	6,8	4,8	4,6	4,3	5,5	6,5
$l_{прям}$, км	1,9	3,2	3,6	4,9	4,2	3,5	5,1	4,7	2,2	1,9	1,5	3,8	4,6
q , м ³ /с	0,93	0,75	0,8	0,9	0,75	1,1	1,15	1,2	0,98	0,85	0,76	0,88	0,93

Таблица 5.2 – Характеристика загрязняющих веществ

Вещество	Вариант													ПДК, мг/дм ³	Фоновая концентрация, мг/дм ³
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
	концентрация вещества, мг/дм ³														
аммиак	4				4,6			3,8		15			20	2	0,15
ацетон	2		15		15	0,8		4,5				5		2,2	0
бензол			2	10					3	11,8		13		0,5	0,1
капро-лактам	12	2,0			2	1,5			3,9	5			5	1	0
кобальт	3	0,9		3,8		3,2		2,8				4		0,1	0,05
ксилол		5,0	0,5	5	3,8		5,5		2,2		1,6		4,2	0,05	0,01
медь		0,2			2,5			1,5			4		3,2	1	0,02
молибден	2,4		0,5	3,5		0,9	4,8	5,2		24	0,9	12		0,25	0,03
мышьяк			5,2				1,9		2,1		4,5		5,7	0,05	0,01
никель		0,8				2,6	3,2			3,6	10	5		0,1	0,012
хлоро-фос				0,8			0,8		0,7					0,05	0,0008

Контрольные вопросы:

1. Что такое НДС?
2. Что такое фоновая концентрация?
3. От чего зависит кратность разбавления вод?
4. Как повлиять на эффективность очистки?

Практическая работа 6

Расчет выброса загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельной

Цель работы: освоить методику расчета валового выброса загрязняющих веществ при сгорании топлива в котлоагрегатах.

6.1 Основные сведения

Для котлоагрегатов и парогенераторов производительностью до 30 т/ч и выше существуют различные методики расчета загрязняющих веществ.

Настоящая методика предназначена для расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с газообразными продуктами сгорания при сжигании твердого топлива, мазута и газа в топках промышленных и коммунальных котлоагрегатов и теплогенераторов производительностью до 30 т/ч.

При *сжигании твердого топлива* наряду с основными продуктами сгорания (СОг, НгО) в атмосферу поступают твердые частицы (летучая зола с частицами несгоревшего топлива), оксиды серы, углерода и азота.

При *сжигании мазутов* с дымовыми газами выбрасываются оксиды углерода, серы, азота и мазутная зола (в пересчете на соединения ванадия).

При *сжигании газа* с дымовыми газами выбрасываются диоксид азота и оксид углерода.

Выбросы загрязняющих веществ зависят как от количества и вида топлива, так и от типа котлоагрегата.

6.2 Выполнение работы

Методика расчета

1. Выбрать теплотехнические характеристики топлива:
 - 1.1. Низшая теплота сгорания угля.
 - 1.2. Зольность.
 - 1.3. Содержание серы (на рабочую массу).
2. Рассчитать
 - 2.1. Расход топлива в январе – г/с, (31 день, 24 часа).
 - 2.2. Для углей выбросы твердых частиц:

2.2.1. Валовый выброс в дымовых газах, M_{TV} (т/г).

2.2.2. Максимальный разовый выброс $G_{ТВ}$, (г/с).

Для мазута расчет валового выброса мазутной золы в пересчете на ванадий M_V (т/г) и максимального разового выброса мазутной золы G_V (г/с).

2.3. Выбросы – диоксид углерода:

2.3.1. Валовый выброс в дымовых газах, M_{CO} (т/г).

2.3.2. Максимальный разовый выброс G_{CO} , (г/с).

2.4. Выбросы – диоксид азота: M_{NO_2} (т/г), G_{NO_2} , (г/с).

2.5. Выбросы – диоксид серы M_{SO_2} (т/г), G_{SO_2} , (г/с).

Результаты расчета представить в виде таблицы (форма отчета – табл. 6.1).

3. Сделать вывод о целесообразности перехода на новый вид топлива.

Таблица 6.1 – Форма отчета: выбросы вредных веществ в атмосферу при сжигании топлива в котельной

Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу				
Топливо А				
Ед. изм.	SO ₂	CO	NO ₂	Твердые вещества или мазутная зола
т/год				
г/с				
Топливо Б				

Валовый выброс твердых частиц в дымовых газах, т/год

$$M_T = A \cdot m \cdot \chi \cdot (1 - \eta_T / 100), \quad (6.1)$$

где A – зольность топлива, % (табл. 6.2); m – количество израсходованного топлива в год, т; χ – безразмерный коэффициент, характеризующий долю уносимой с дымовыми газами летучей золы, зависит от типа топки и топлива (табл. 6.3); η_m – эффективность золоуловителей, % (табл. 6.4).

Таблица 6.2 – Характеристика топлив (при нормальных условиях)

Наименование топлива	A , %	S , %	Q^H , МДж/кг; МДж/м ³
1	2	3	4
Угли			
Донецкий бассейн, марки угля (к)			
ДР	28,0	3,5	18,50
Д концентрат	10,0	3,0	23,74
ГР	28,0	3,5	20,47

Окончание таблицы 6.2

1	2	3	4
Подмосковный бассейн (б)			
Б2Р, Б20МСШ	39,0	4,2	9,88
Челябинский бассейн (к)			
БЗ	29,9	1,0	14,19
Канско-Ачинский бассейн (б)			
БР2 (Ирша-Бородинский разрез)	6,7	0,2	15,54
БР2 (Назаровский разрез)	7,3	0,4	13,06
Б2 (Березовское месторождение)	4,7	0,2	15,70
Б1 (Итатское месторождение)	6,8	0,4	12,85
Б1 (Боготольское месторождение)	6,7	0,5	11,84
Иркутский бассейн (к)			
БР (Черемховское месторождение)	27,0	1,0	17,93
ДР (Забитуйское месторождение)	23,0	4,1	20,91
БЗР (Тулунский разрез)	12,6	0,4	16,38
Сахалинский бассейн (к)			
БЗР, БЗ концентрат	22,0	0,4	17,33
ГСШ (Углегорский район)	20,0	0,3	22,86
БЗР (шахта Шебунино)	16,0	0,4	18,17
БЗР концентрат (ш. Горнозаводская)	12,0	0,5	18,92
Южноуральский бассейн	6,6	0,7	9,11
Партизанский бассейн	34,0	0,5	20,81
Кузнецкий бассейн (к)			
БР, ДСШ	13,2	0,4	22,93
ГР, 1М, ГСШ	14,3	0,5	25,32
Г (промпродукт)	23,8	0,5	20,07
ССР	14,1	0,6	27,51
ОС (промпродукт)	27,9	0,8	21,84
ОС2ССМ	18,2	0,4	24,78
ТОМСШ	18,6	0,6	25,20
СС1ССМ	18,2	0,3	23,64
Горючий сланец			
Эстонсланец	50,5	1,6	11,34
Ленинградсланец	54,2	1,5	11,34
Торф			
Росторф	12,5	0,3	8,12
Другие виды топлива			
Дрова	0,6	—	10,24
Мазут малосернистый	0,1	0,5	40,30
Мазут сернистый	0,1	1,9	39,85
Мазут высокосернистый	0,1	4,1	38,89
Дизельное топливо	0,025	0,3	42,75
Солярное масло	0,02	0,3	42,46
Природный газ из газопроводов			
Саратов–Москва	—	—	35,80
Саратов–Н. Новгород	—	—	36,13
Брянск–Москва	—	—	37,30
Уренгой–Помары–Ужгород	—	—	41,75

Таблица 6.3 – Значения коэффициента χ в зависимости от типа топки и топлива

Тип топки	Топливо	χ
1	2	3
С неподвижной решеткой и ручным забросом	Бурые и каменные угли	0,0023
	Антрацит АС и АМ	0,0030
	Антрацит АРМ	0,0078
С забрасывателями и цепной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0035
Шахтная	Твердое топливо	0,0019
Шахтно-цепная	Торф кусковой	0,0019
Камерные топки	Мазут	0,010
	Легкое жидкое топливо	0,010
Слоевые топки бытовых теплоагрегатов	Дрова	0,0050
	Бурые угли	0,0011
	Каменные угли	0,0011
С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0026
	Антрацит АРШ	0,0088

Таблица 6.4 – Средние эксплуатационные эффективности аппаратов пылеулавливания и газоочистки отходящих газов котельных

Аппарат, установка	Эффективность улавливания, %
Батарейные циклоны типа БЦ-2	85
Батарейные циклоны на базе секции СЭЦ-24	93
Батарейные циклоны типа ЦБР-150У	93–95
Электрофильтры	97–99
Центробежные скрубберы ЦС-БТИ	88–90
Групповые циклоны ЦН-15	85–90
Жалюзийные золоуловители	75–85

Валовый выброс мазутной золы в пересчете на ванадий, т/год:

$$M_V = 10^{-6} \cdot q_V \cdot m \cdot (1 - \eta_{oc}) \cdot (1 - n_V) \quad (6.2)$$

где q_V – содержание ванадия в мазуте, г/т; m – количество израсходованного топлива в год, т; n_{oc} , n_V – коэффициенты оседания и улавливания оксидов ванадия ($n_{oc} = 0$, $n_V = 0$).

Содержание ванадия в мазуте определяется в зависимости от зольности мазута по формуле, г/т

$$q_V = 4000 \cdot A / 1,8 \quad (6.3)$$

Валовый выброс оксида углерода, т/год:

$$M_{CO} = 10^{-3} \cdot C_{CO} \cdot m \cdot (1 - q_4 / 100) \quad (6.4)$$

где m – количество израсходованного топлива, т/год, (тыс. м³/год); q_4 – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания, % (табл. 6.5); C_{CO} – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т (кг/тыс. м³):

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^H \quad (6.5)$$

где q_3 – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, % (табл. 6.5); Q^H – низшая теплота сгорания натурального топлива (см. табл. 2.1), МДж/кг, МДж/м³; R – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленный наличием в продуктах сгорания оксида углерода:

$R = 1$ – для твердого топлива;

$R = 0,5$ – для газа;

$R = 0,65$ – для мазута.

Таблица 6.5 – Характеристики топок котлов малой мощности

Тип топки и котла	Топливо	q_3	q_4
С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Антрацит	0,5–1	13,5–10
	Бурые угли	0,5–1	9–7,5
	Каменные угли	0,5–1	5,5–3
С пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой	Каменные угли	0,5–1	5,5–3
	Бурые угли	0,5–1	6,5–4,5
Шахтная топка с наклонной решеткой	Дрова	2	2
	Торф кусковой	2	2
	Дробленые отходы	2	2
Камерная топка с твердым шлакоудалением	Каменные угли	0,5	5–3
	Бурые угли	0,5	3–1,5
	Торф	0,5	3–1,5
При неподвижной решетке и ручном забросе топлива	Антрацит	1	10
	Бурые угли	2	8
	Каменные угли	2	7
Камерная топка	Мазут	0,5	0
	Газ	0,5	0

Примечание: большие значения q_4 – при отсутствии средств уменьшения уноса, меньшие – при остром дутье и наличии возврата уноса, а также для котлов производительностью 25–35 т/ч.

Валовый выброс оксидов азота в пересчете на диоксид азотат, т/год:

$$M_{NO_2} = 10^{-3} \cdot m \cdot Q^H \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta) \quad (6.6)$$

где K_{NO_2} – параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на 1 ГДж тепла, кг/ГДж (табл. 6.6); β – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота в результате применения технических решений. Для котлов производительностью до 30 т/ч $\beta = 0$.

Таблица 6.6 – Коэффициент K_{NO_2} для производительности до 30 т/ч (1 кал = 4,1868 Дж, 1 т/ч = 0,641 Гкал/ч = 743,6 кВт)

Паропроизводительность котлоагрегатов			Значение K_{NO_2}			
т/ч	Гкал/ч	кВт	Природный газ, мазут	Антрацит	Бурый уголь	Каменный уголь
0,2	0,13	148,7	0,060	0,092	0,14	0,15
0,25	0,16	185,9	0,065	0,095	0,145	0,155
0,5	0,32	371,8	0,070	0,105	0,15	0,165
0,7	0,45	520,5	0,080	0,11	0,16	0,175
1,0	0,64	743,6	0,085	0,115	0,165	0,18
2,0	1,28	1487	0,090	0,125	0,175	0,2
2,5	1,60	1860	0,095	0,13	0,18	0,21
4,0	2,56	2974	0,098	0,133	0,19	0,215
6,0	3,85	4461	0,100	0,14	0,2	0,22
8,0	5,13	5949	0,102	0,145	0,21	0,23
10,0	6,41	7436	0,103	0,15	0,22	0,235
15,0	9,62	11153	0,105	0,155	0,225	0,245
20,0	12,82	14871	0,109	0,16	0,23	0,25
25,0	16,03	18509	0,110	0,162	0,235	0,255
30,0	19,23	22307	0,115	0,165	0,24	0,26

Валовый выброс оксидов серы в пересчете на диоксид серы (определяется только для твердого и жидкого топлива), т/год

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot m \cdot S \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}) \quad (6.7)$$

где S – содержание серы в топливе, %, (табл. 6.2); η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива. Для эстонских и санкт-петербургских сланцев принимается равной 0,8; остальных сланцев – 0,5; углей Канско-Ачинского бассейна – 0,2 (Березовских – 0,5); торфа – 0,15; экибастузских – 0,02; прочих углей – 0,1; мазута – 0,02; газа – 0; η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе. Для сухих золоуловителей принимается равной 0.

Расчет нормативно допустимых выбросов загрязняющих веществ (НДВ) проводится для случая максимального расхода топлива. В общем случае *максимальный расход* топлива определяется по формуле, г/с, л/с

$$m = \Pi \cdot 10^6 / Q^H \cdot КПД \cdot 3,6 \quad (6.8)$$

где P – суммарная теплопроизводительность котлов, Гкал/ч, Q^H – низшая теплота сгорания топлива, ккал/кг, ккал/м³, $KПД$ – коэффициент полезного действия котлоагрегата.

Для установок, где максимальный расход топлива значительно превышает значение среднегодового расхода (например, для отопительных котельных) за m' принимается расход топлива в самый напряженный месяц (например, январь для отопительных котлов).

Тогда максимальный разовый выброс (г/с) определяется по следующим формулам:

– максимальный разовый выброс твердых частиц в дымовых газах, г/с

$$G_T = A \cdot m \cdot \chi \cdot (1 - \eta_T / 100) \quad (6.9)$$

– максимальный разовый выброс мазутной золы в пересчете на ванадий, г/с

$$G_V = 10^{-6} \cdot q_V \cdot m \cdot (1 - \eta_{OC}) \cdot (1 - n_V) \quad (6.10)$$

– максимальный разовый выброс оксида углерода, г/с

$$G_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^H \cdot m \cdot (1 - q_4 / 100) \cdot 10^{-3} \quad (6.11)$$

– максимальный разовый выброс оксида азота, г/с

$$G_{NO_2} = 10^{-3} \cdot m \cdot Q^H \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta) \quad (6.12)$$

– максимальный разовый выброс оксида серы, г/с

$$G_{SO_2} = 0,02 \cdot m \cdot S \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - n''_{SO_2}) \quad (6.13)$$

Контрольные вопросы:

1. Какие виды топлива используются для подачи в котлоагрегаты?
2. Какие вещества выбрасываются в атмосферу при сжигании жидких видов топлива?
3. Какие вещества выбрасываются в атмосферу при сжигании твердых видов топлива?
4. От чего зависит максимальный разовый выброс веществ?

Задание: рассчитать выбросы вредных веществ в атмосферу от отопительной котельной, потребляющей в год (тонн) $M_{об}$ топлива А и при переходе на топливо Б. Продолжительность отопительного периода 234 дня (5616 ч). Расход топлива в самый холодный месяц года (январь) – $M_{январь}$. Паропроизводительность котлоагрегата 0,6 т/ч. Тип топки – смотреть исходные данные. В атмосферу от котельных при

сжигании твердого топлива выбрасываются твердые частицы, диоксиды серы и азота, оксид углерода. Исходные данные в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Исходные данные

№ вар.	Топливо А	Топливо Б	Расход топлива М _{об} , т	Расход топлива М _{явн} , т	Тип топки
1	бурый уголь Б2Р (Подмоск. бассейн)	каменный уголь БЗ	10000	1700	с неподвижной решеткой и ручным забросом
2	бурый уголь Б2 (Березовское месторождение)	каменный уголь БЗР (Шебунино)	12000	2050	
3	каменный уголь БЗ (Челябинский басс.)	каменный уголь ТОМСШ	15500	2610	с неподвижной решеткой и ручным забросом
4	бурый уголь Б1 (Итатское местор.)	каменный уголь (Южноуральск. басс.)	16000	2700	
5	бурый уголь БР2 (Назаровский разрез)	каменный уголь ССр	13800	2150	
6	бурый уголь Б1 (Боготольское месторожд.)	каменный уголь ОС	20000	3200	
7	бурый уголь БР2 (Ирша-Бородинский разрез)	каменный уголь (Партизанского бассейна)	18000	3140	
8	бурый уголь Б20МСШ (Подмоск. басс.)	каменный уголь ДР	11000	1830	с пневмомеханическим забрасывателем и неподвижной решеткой
9	бурый уголь БР2 (Ирша-Бородинский разрез)	каменный уголь ДСШ	13000	2120	
10	каменный уголь БР (Черемуховск. месторожд)	каменный уголь ГР (Кузнецкий басс.)	14000	2510	
11	бурый уголь Б1 (Итатское местор.)	каменный уголь (Партизанский басс.)	15100	2060	
12	каменный уголь ДР (Забитуйское месторожд.)	каменный уголь ТОМСШ (Кузнецкий басс.)	12500	2150	
13	каменный уголь СС1ССМ	каменный уголь БЗР концентрат (ш.Горнозаводская)	14800	2480	
14	бурый уголь Б2 (Березовское месторождение)	каменный уголь ГСШ (Углегорский район, Сахалин басс.)	10900	1600	
15	мазут сернистый	мазут малосернистый	3000	517	камерная топка
16	мазут малосернистый	мазут высокосернистый	1600	275	
17	мазут высокосернистый	мазут сернистый	2700	452	

Окончание таблицы 6.7

№ вар.	Топливо А	Топливо Б	Расход топлива $M_{об}$, т	Расход топлива $M_{яв}$, т	Тип топки
18	мазут малосернистый	дизельное топливо	3200	530	камерная топка
19	мазут высокосернистый	солярное масло	2400	415	
20	мазут сернистый	дизельное топливо	2500	430	
21	дизельное топливо	солярное масло	2800	505	

Практическое работа 7

Расчет выбросов тяжелых металлов содержащихся в отходящих (дымовых) газах

Цель работы: освоить практические навыки расчета выбросов тяжелых металлов, содержащихся в дымовых газах, в выбросах производственного цикла и при сжигании отходов.

7.1 Основные сведения

Расчет выбросов тяжелых металлов осуществляется с целью разработки и своевременного принятия мер по снижению выбросов опасных загрязняющих веществ, уменьшению риска в связи с воздействием тяжелых металлов на здоровье человека и окружающую среду, а также для выполнения международных обязательств Республики Беларусь. Расчет проводится в соответствии с **ТКП 17.08-14-2011** «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов тяжелых металлов».

Выбросы тяжелых металлов могут содержаться в отходящих газах при производственных процессах, в дымовых газах при сжигании топлива или отходов.

Выброс тяжелых металлов оценивается для следующих источников выбросов:

- топливосжигающие установки: котлы, печи, камины, стационарные дизельные двигатели и другие;
- установки по выплавке черных и цветных металлов: электродуговые, индукционные, отражательные и другие печи, вагранки;
- печи в производстве строительных материалов (вращающиеся печи по производству клинкера, стекловаренные печи, печи для обжига кирпича и керамики), включая цементные мельницы;

- установки по сжиганию отходов;
- печи кремации;
- другие виды основного, а также вспомогательного технологического оборудования, если это предусмотрено действующими нормативными техническими актами.

Расчет проводится по следующим видам тяжелых металлов с указанием веществ, в составе которых они преимущественно выбрасываются:

- кадмий: кадмий и его соединения (в пересчете на кадмий), код 0124;
- медь: медь и ее соединения (в пересчете на медь), код 0140;
- никель: никеля оксид (в пересчете на никель), код 0164;
- ртуть: ртуть и ее соединения (в пересчете на ртуть), код 0183;
- свинец: свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец), код 0184;
- хром: хрома трехвалентные соединения (в пересчете на Cr³⁺), код 0228;
- цинк: цинк и его соединения (в пересчете на цинк), код 0229;
- мышьяк: мышьяк, неорганические соединения (в пересчете на мышьяк), код 0325.

Расчет выбросов тяжелых металлов необходимо проводить по данным периодических измерений их концентраций в дымовых газах в соответствии с СТБ 17.13.05-12-2010/EN 13211, СТБ 17.13.05-14-2010/EN 14385 или расчетным методом с использованием удельных показателей выбросов.

Расчет выбросов осуществляется для каждого металла (и его соединения); выбросы выражаются в граммах в секунду (г/с) и в тоннах в год (т/год).

7.2 Методика расчета

1. Выполнить расчет максимального выброса тяжелых металлов при сжигании топлива (по индивидуальному заданию таблица 7.1): мышьяка As, кадмия Cd, хрома Cr, меди Cu, ртути Hg, никеля Ni, свинца Pb, цинка Zn при среднем выбросе тяжелых металлов и с учетом удельного выброса.

2. Рассчитать валовый выброс перечисленных видов тяжелых металлов при сжигании топлива, приняв 24-часовой в среднем 30-дневный график работы котельной (количество месяцев работы указаны в индивидуальном задании).

3. Выполнить расчет максимального выброса перечисленных видов тяжелых металлов в производственном процессе (исходные

данные в таблице 7.2).

4. Рассчитать валовый выброс перечисленных видов тяжелых металлов в производственном процессе, учитывая длительность работы установки в год. Принять длительность рабочей смены – 8 часов.

5. Рассчитать максимальный выброс тяжелых металлов при сжигании отходов (по индивидуальному заданию таблица 7.3).

6. Рассчитать валовый выброс тяжелых металлов при сжигании отходов, учитывая длительность работы установки в год.

Таблица 7.1 – Исходные данные к расчету выбросов тяжелых металлов при сжигании топлива

№	Вид топлива	Технологическая марка	Тип топки	Расход топлива, т/час (м ³ /ч)	Длительность работы в год, месяцев	Эффективность золоуловителя, %
1	Уголь Печорского бассейна	Жирный рядовой коксующийся	С пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой прямого хода	40	7	88
2		Крупный рядовой коксующийся		45	6	95
3		Жирный концентрат коксующийся		52	5	92
4	Уголь Кузнецкого бассейна	Газовый жирный	С пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода	38	6	96
5		Коксовый		55	5	93
6		Жирный		63	7	
7		Коксовый отощенный		60	4	97
8		Отощено спекающийся		57	5	98
9	Уголь Донбасса	Антрацит крупный	Шахтно-цепная	62	5	
10	Уголь Подмосковского бас.	Бурый рядовой		70	7	95
11		Бурый концентрат		65	6	98,5
12	–	Торф фрезерный	Шахтно-цепная	34	7	89
13	Уголь Канско-Анинского бассейна	Бурый рядовой	С пневмомеханическими забрасывателями и решеткой с поворотными колосниками	58	6	93
14	Уголь Донбасса	Коксовый	Камерные с твердым шлакоудалением	56	5	93
15		Коксовый концентрат		52	7	94
17	–	Мазут топочный	Камерная топка	36,2	6	–
18	–	Легкое жидкое топливо	Камерная топка	27,6	5	–
19	–	Торфяные брикеты	Бытовые топки	33	6	Без очистки
20	–	Дрова	Бытовые топки	0,3254	5	Без очистки
21	–	Дровяные опилки	Бытовые топки	0,1756	6	Без очистки

Таблица 7.2 – Исходные данные к расчету выбросов тяжелых металлов в производственном процессе

№	Производственная установка	Производительность, т/ч	Коэффициент загрузки	Степень очистки, %	Количество рабочих смен	Количество рабочих месяцев в год
1	Печь обжига при производстве клинкерных кирпичей	66	0,3	90	2	8
2	Цементные мельницы	18	0,6	89	2	9
3	Стекловаренная печь	1,5	0,63	93	3	10
4	Электродуговая печь по выплавке стали	8	0,5	98	2	11
5	Цементные мельницы	30	0,65	90	1	9
6	Стекловаренная печь	0,5	0,6	б/о	3	10
7	Стекловаренная печь	2,2	0,7	95	3	9
8	Печь обжига при производстве клинкерных кирпичей	68	0,4	92	2	11
9	Печь по выплавке стали	6	0,5	92	2	8
10	Печь обжига при производстве клинкерных кирпичей	70	0,5	95	1	10
11	Стекловаренная печь	2,8	0,68	94	3	9
12	Печь обжига при производстве клинкерных кирпичей	72	0,35	97	2	8
13	Стекловаренная печь	3,2	0,66	б/о	3	7
14	Печь по выплавке стали	2	0,6	89	2	9
15	Стекловаренная печь	3,8	0,64	96	2	11
16	Печь обжига при производстве клинкерных кирпичей	74	0,45	98	1	11
17	Стекловаренная печь	5,2	0,62	б/о	3	10
18	Цементные мельницы	53	0,68	90	2	9
19	Стекловаренная печь	4,5	0,6	95	2	8
20	Печь обжига при производстве клинкерных кирпичей	75	0,4	93	3	9
21	Цементные мельницы	66	0,7	90	3	9

Таблица 7.3 – Исходные данные к расчету выбросов тяжелых металлов при сжигании отходов

№ вар.	Вид отходов	Производительность установки по сжиганию отходов, т/ч	Коэффициент загрузки	Степень очистки, %	Количество рабочих смен	Количество рабочих месяцев в год
1	Отработанные нефтепродукты	1250	0,5	б/о	1	7
2	Загрязненные древесные отходы	1400	0,45	98,3	2	6
3	Медицинские отходы	1000	0,45	99,2	1	11
4	Отходы ЖДН	2500	0,54	б/о	2	6
5	Отходы производства подобные отходам ЖДН	3500	0,6	89	1	12
6	Отходы химических производств	1200	0,45	97,8	2	9
7	Отработанные нефтепродукты	1560	0,5	б/о	2	10
8	Загрязненные древесные отходы	800	0,48	82	1	11
9	Медицинские отходы	960	0,55	98,9	2	8
10	Отходы ЖДН	1850	0,54	96,3	1	12
11	Отходы производства подобные отходам ЖДН	2230	0,49	87,2	2	9
12	Отходы химических производств	1050	0,58	82,6	2	8
13	Отработанные нефтепродукты	890	0,6	б/о	1	12
14	Загрязненные древесные отходы	3500	0,39	78,9	2	9
15	Медицинские отходы	3050	0,48	99,2	2	8
16	Отходы ЖДН	2430	0,52	б/о	1	11
17	Отходы производства подобные отходам ЖДН	2060	0,56	94,7	1	12
18	Отходы химических производств	1450	0,54	б/о	2	11
19	Загрязненные древесные отходы	2980	0,46	97,8	2	7
20	Медицинские отходы	2150	0,6	99,5	1	11
21	Отходы ЖДН	3200	0,58	78,5	1	12

7.3 Выполнение работы

Расчет выбросов тяжелых металлов от установок по сжиганию топлива

Выбросы тяжелых металлов при сжигании топлива зависят от вида топлива, исходного содержания тяжелых металлов в топливе, условий его сжигания (типа и мощности установки, условий горения), системы очистки отходящих газов.

Содержание тяжелых металлов в топливе, особенно в углях и мазуте, может различаться на несколько порядков в зависимости от месторождения, глубины залегания и других условий.

Выбросы тяжелых металлов в атмосферный воздух при сжигании топлива осуществляются преимущественно с твердыми частицами. Выбросы ртути осуществляются с твердыми частицами и в парогазовой фазе.

Максимальный выброс i -го тяжелого металла E_i (г/с) при сжигании топлива в топливосжигающей установке на основании содержания тяжелых металлов в топливе рассчитывается по формуле

$$E_i = \frac{A_j \cdot C_{ij} - \frac{A_j \cdot C_{ij} \cdot (1 - \alpha_Y)}{(1 - \alpha_Y) + f_{ei} \cdot \alpha_Y} \cdot R_i \cdot (1 - \eta) + A_j \cdot C_{ij} \cdot (1 - R_i)}{3600} \quad (7.1)$$

где A_j – расход топлива j в топливосжигающей установке, т/ч (для газообразного топлива, м³/ч); данные о расходе топлива принимаются фактические, проектные или прогнозируемые в зависимости от цели расчета выброса; C_{ij} – содержание i -го тяжелого металла в топливе j , г/т (для газообразного топлива, г/м³); принимается фактическое либо, при отсутствии фактических данных, определяется по таблицам В.1, В.2 и по таблице В5; α_Y – доля золы, уносимой дымовыми газами (доля золы в уносе), определяется в соответствии с таблицей В.3; f_{ei} – коэффициент обогащения летучей золы (золы уноса) тяжелым металлом i , определяемый по таблице В.4; R_i – доля i -го тяжелого металла, переходящего в золу, определяемая по таблице В.4; η – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях (эффективность очистки).

Валовой выброс i -го тяжелого металла E_i^{tg} (т/год) при сжигании топлива в топливосжигающей установке на основании содержания тяжелых металлов в топливе рассчитывается по формуле

$$E_i^{tg} = (A_j^{tg} \cdot C_{ij} - \frac{A_j^{tg} \cdot C_{ij} \cdot (1 - \alpha_Y)}{(1 - \alpha_Y) + f_{ei} \cdot \alpha_Y} \cdot R_i \cdot (1 - \eta) + A_j^{tg} \cdot C_{ij} \cdot (1 - R_i)) \cdot 10^{-6} \quad (7.2)$$

где $A_j^{тф}$ – расход топлива j в топливосжигающей установке, т/год (для газообразного топлива, тыс. м³/год); данные о расходе топлива принимаются фактические, проектные или прогнозируемые в зависимости от цели расчета выброса; C_{ij} , α_y , f_{ei} , R_i , η – то же, что и в формуле (7.1).

Расчет выбросов тяжелых металлов от производственных процессов

Выбросы тяжелых металлов от производственных процессов зависят от типа процесса, состава и качества используемого сырья, совершенства технологий и эффективности работы газоочистных установок.

Выбросы тяжелых металлов в атмосферный воздух при производственных процессах осуществляются преимущественно с твердыми частицами. Выбросы ртути осуществляются с твердыми частицами и в парогазовой фазе.

Расчет выбросов тяжелых металлов от технологического оборудования (установок по выплавке металлов, печей обжига при производстве строительных материалов, цементных мельниц, стекловаренных печей) представлен на основании удельных выбросов.

Максимальный выброс i -го тяжелого металла E_{in} (г/с) на основании удельных показателей выбросов тяжелых металлов рассчитывается по формуле

$$E_{in} = \frac{A \cdot k \cdot F_i}{3600} \quad (7.3)$$

где A – расчетная производительность установки, т/ч; k – коэффициент загрузки установки; F_i – удельный показатель выбросов i -го тяжелого металла на единицу продукции, г/т, определяемый по таблице В.6.

Валовой выброс i -го тяжелого металла $E_{i\text{пп}}^{те}$ (т/год) на основании удельных показателей выбросов тяжелых металлов рассчитывается по формуле

$$E_{i\text{пп}}^{те} = A \cdot k \cdot T \cdot F_i \cdot 10^{-6} \quad (7.4)$$

где T – фактическая продолжительность рабочего времени установки, ч/год; A , k , F_i – то же, что и в формуле (7.3).

Расчет выбросов тяжелых металлов при сжигании отходов

Выбросы тяжелых металлов при сжигании отходов определяются составом сжигаемых субстратов, содержанием в них тяжелых металлов, типом установки, эффективностью работы газоочистных установок.

Расчет выбросов тяжелых металлов при сжигании отходов приведен на основании удельных показателей выбросов тяжелых металлов.

Максимальный выброс i -го тяжелого металла E_{io} (г/с) от установок по сжиганию отходов рассчитывается по формуле

$$E_{i \text{ отх}} = \frac{A \cdot k \cdot F_{ij}}{3600} \quad (7.5)$$

где A, k – то же, что и в формуле (7.3); F_{ij} – удельный показатель выбросов i -го тяжелого металла при сжигании отхода j , г/т, определяемый по таблице В.7.

При сжигании в установке разных видов отходов выброс i -го тяжелого металла от сжигания отходов за календарный период суммируется по всем видам отходов, сжигаемых в данной установке.

Валовой выброс i -го тяжелого металла $E_{i \text{ отх}}^{te}$ (т/год) от установок по сжиганию отходов рассчитывается по формуле

$$E_{i \text{ отх}}^{te} = A \cdot k \cdot T \cdot F_{ij} \cdot 10^{-6} \quad (7.6)$$

где A, k – то же что и в формуле (7.3); T – то же что и формуле (7.4); F_{ij} – то же, что и в формуле (7.5).

Контрольные вопросы:

1. Какие вещества содержатся в золе сгоревшего твердого, жидкого топлива?
2. От каких параметров зависит валовой выброс тяжелых металлов при сжигании отходов производства?
3. Для каких источников выбросов оценивается выброс тяжелых металлов?

Практическая работа 8

Оценка инженерной защиты персонала объектов экономики в чрезвычайных ситуациях

Цель работы: получить практические навыки расчета основных параметров сооружений защитного характера.

8.1 Основные сведения

Одним из основных способов защиты персонала объекта от современных средств поражения в результате крупномасштабных ЧС, вызванных авариями и катастрофами на химических и радиационно

опасных объектах, пожарами и взрывами, является укрытие персонала предприятий в защитных сооружениях.

Защитные сооружения – это инженерные сооружения, предназначенные для защиты персонала объекта, а также другого населения, от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций.

В соответствии с техническим кодексом установившейся практики (ТКП 45-2.03-231-2011 «Защитные сооружения гражданской обороны. Нормы проектирования») защитные сооружения делят *по их защитным свойствам*:

1) на убежища, защищающие от поражающих факторов современных средств поражения, АХОВ, высоких температур и продуктов горения при пожарах. Обеспечивают непрерывное пребывание в них укрываемых в течение двух суток;

2) противорадиационные укрытия (ПРУ), защищающие от воздействия ионизирующих излучений, возникающих при радиоактивном заражении местности (коэффициент защиты от ионизирующих излучений не ниже 100 и от избыточного давления ударной волны не ниже 20 кПа);

3) сооружения двойного назначения, обеспечивающие защиту от избыточного давления ударной волны не ниже 20 кПа и допускающие непрерывное пребывание в них укрываемых до 6 ч;

4) защитные укрытия, обеспечивающие защиту укрываемых от избыточного давления ударной волны не ниже 20 кПа и допускающие непрерывное пребывание укрываемых до двух суток.

Убежища – сложные в техническом отношении сооружения, оборудованные различными инженерными системами и измерительными приборами для обеспечения защиты людей.

Для защиты от химически опасных веществ, биологических средств и радиоактивной пыли убежища герметизируют и оснащают фильтровентиляционным оборудованием, которое очищает наружный воздух, распределяет его по отсекам. Для жизнеобеспечения укрываемых защитные сооружения помимо системы фильтровентиляции, снабжающей людей воздухом, должны иметь надежное электроснабжение, санитарно-технические системы (водопровод, канализацию, отопление), радио- и телефонную связь, а также запасы воды и продовольствия.

По степени защиты убежища подразделяются на классы в зависимости от расчетной величины избыточного давления воздушной ударной волны (которую они могут выдержать) и коэффициента защиты от ионизирующих излучений (табл. 8.1). Убежища классов А-I и А-II предназначены для размещения пунктов управления и крупных узлов связи, строятся по особому указанию. Для укрытия населения и персонала промышленных объектов используют убежища класса А-IV.

Таблица 8.1 – Классификация убежищ по защитным свойствам

Класс убежища	Степень защиты от	
	избыточного давления ударной волны, кПа	ионизирующих излучений (коэффициент защиты)
А-I	500	5000
А-II	300	3000
А-III	200	2000
А-IV	100	1000

По месту расположения в застройке убежища делятся на убежища отдельно стоящие и встроенные. Отдельно стоящие убежища возводят на свободных от застройки участках, а встроенные убежища сооружают в подвалах, полуподвальных (цокольных) и первых этажах зданий. К встроенным относятся убежища, возводимые внутри одноэтажных производственных зданий и не связанные с его ограждающими конструкциями.

Инженерная защита персонала – это комплекс мероприятий, направленных на создание фонда сооружений, обеспечивающих защиту населения и работающих на производстве от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций.

8.2 Выполнение работы

1. *Оценка соответствия вместимости защитного сооружения по установленным нормам.* Вместимость защитного сооружения (убежищ, противорадиационных укрытий) определяется в соответствии с нормами объемно-планировочных решений. Возможность укрытия наиболее многочисленной рабочей смены в защитном сооружении оценивается по количеству имеющихся в нем мест.

Рассчитываем количество мест (M) для укрываемых людей на имеющейся площади основного помещения исходя из установленных норм на одного человека:

$$M_i = \frac{S_{\Pi}}{S_1} \quad (8.1)$$

$$M_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n M_i \quad (8.2)$$

где S_n – площадь основного помещения для укрываемых в защитных сооружениях, м^2 ; S_1 – норма площади основного помещения на одного укрываемого, м^2 (табл. 8.2).

Проверяем соответствие объема помещений в зоне герметизации установленной норме на одного укрываемого (норма: не менее 1,5 м³/чел.):

$$V_1 = \frac{S_0 h}{M}, \quad (8.3)$$

где V_1 – объем помещения, приходящийся на одного укрываемого, м³; S_0 – площадь всех помещений (общая), м²; h – высота помещения, м.

Проверяем соответствие площади вспомогательных помещений установленным нормам:

$$S_{всп} = M \cdot S_2 \quad (8.4)$$

где $S_{всп}$ – площадь вспомогательных помещений, м²; M – количество мест для укрываемых; S_2 – норма площади вспомогательного помещения на одного укрываемого, м² (табл. 8.2).

Определяем количество нар (N) для размещения укрываемых:

$$N = M \cdot D, \quad (8.5)$$

где D – установленная норма: 0,1 – при одноярусном расположении нар (высота помещения – 2,2 м), 0,2 – при двухъярусном расположении нар (высота помещения – 2,25–2,85 м), 0,3 – при трёхъярусном расположении нар (высота помещения – 2,9 м и выше).

Рассчитываем коэффициент вместимости $K_{вм}$, который характеризует возможности защитного сооружения по укрытию людей:

$$K_{вм} = \frac{M_{общ}}{N}, \quad (8.6)$$

где N – численность персонала, подлежащего укрытию (наибольшая работающая смена).

Требования к защитным сооружениям (см. табл. 8.2) приведены в соответствии с техническим кодексом установившейся практики для убежищ, противорадиационных укрытий (ПРУ), сооружений двойного назначения и защитных укрытий ТКП 45.3.02-21-2011 «Защитные сооружения гражданской обороны. Нормы проектирования». В таблице приведены объемно-планировочные и конструктивные решения к основным и вспомогательным помещениям, основные данные по микроклимату защитных сооружений.

2. *Оценка защитных свойств сооружения.* Защитные свойства сооружения определяем в зависимости от ионизирующего излучения.

Вычисляем коэффициент ослабления ($K_{осл}$) ионизирующих излучений

$$K_{осл} = K_{зас} \cdot 2^{\frac{h}{d_{пол}}} \quad (8.7)$$

где $K_{зас}$ – коэффициент, учитывающий условия расположения защитного сооружения (для встроенных равен 1,5, для отдельно стоящих – 1,0); h – толщина слоя материала защитного сооружения, см; $d_{пол}$ – толщина слоя половинного ослабления, см (табл. 8.3).

Для защитных сооружений, имеющих *многослойное перекрытие* из разных материалов, коэффициент ослабления радиации находим по формуле

$$K_{осл} = K_{зас} \cdot 2^{\frac{h_1}{d_{1пол}}} \cdot 2^{\frac{h_2}{d_{2пол}}} \quad (8.8)$$

Таблица 8.2 – Требования к защитным сооружениям гражданской обороны

Основные требования	Норма
Площадь пола основного помещения на одного человека, м ² , при высоте помещения:	
2,15 м	0,6
2,15–2,9 м	0,5
2,9 м и более	0,4
В защитных сооружениях двойного назначения	1,0
Внутренний объем помещения на одного человека, м ³	1,5
Место для сидения на одного человека, м	0,45×0,45
Место для лежания на одного человека, м	1,8×0,55
Площадь вспомогательных помещений на одного человека, м ² :	
без автономных систем водо-, электроснабжения	0,12
при наличии ДЭС, но без автономного водоснабжения	0,13
с автономными системами водо-, электроснабжения при вместимости:	0,23
До 600 чел.	0,22
600–1200 чел.	0,2
Более 1200 чел.	
Площадь медпункта при вместимости 900–1200 чел., м ²	9
Санпост на каждые 500 чел., м ²	2
Площадь помещения на один комплект ФВК-1 (ФВК-2), м ²	9–12
Площадь помещения для ДЭС, м ²	16–20
Содержание кислорода, не менее, %	16,5
Концентрация углекислого газа, не более, %	4
Концентрация окиси углерода, не более, мг/м ³	100
Концентрация метана, не более, мг/м ³	300
Концентрация пыли, не более, мг/м ³	10
Относительная влажность воздуха не менее и не более, %	30 и 90
Температура воздуха в убежище, не более, °С	32

Таблица 8.3 – Толщина слоев половинного ослабления ($d_{пол}$) ионизирующих излучений для некоторых материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Толщина слоя половинного ослабления ($d_{пол}$), см	
		для гамма-излучения на следе облака	для нейтронов
Свинец	11,3	1,3	12,0
Железо, броня	7,8	1,8	11,5
Бетон	2,3	5,6	12,0
Кирпич	1,6	8,4	10,0
Грунт	1,8	7,2	12,0
Древесина	0,7	19,0	9,7
Вода	1,0	13,0	2,7
Полиэтилен	0,95	14,0	2,7

3. Оценка системы жизнеобеспечения защитного сооружения: оценка системы воздухообеспечения. В ходе расчетов выбираем тип и параметры фильтровентиляционных комплектов (ФВК), определяем количество подаваемого воздуха системой в режиме I – чистой вентиляции и в режиме II – фильтровентиляции.

Вычисляем количество (N) укрываемых людей, которые может обеспечить очищенным воздухом система водоснабжения:

$$N_{возд} = \frac{W_o}{W_n}, \quad (8.9)$$

где W_o – общая производительность системы воздухообеспечения, м³/ч (табл. 8.4); W_n – норма подачи воздуха на одного человека в час, м³/ч: в режиме чистой вентиляции – 10 м³/ч, в режиме фильтровентиляции – 2 м³/ч на человека.

4. Оценка системы водоснабжения защитного сооружения.

Определяем количество (N) укрываемых людей, которое может обеспечить водой система водоснабжения:

$$N_{вод} = \frac{W_{o.вод}}{W_{1н} \cdot C} \quad (8.10)$$

где $W_{o.вод}$ – общий запас воды в защитном сооружении, л; $W_{1н}$ – норма обеспечения водой одного укрываемого в сутки (норма – 3 л/сут.); C – заданный срок пребывания укрываемых в защитном сооружении, сут.

Таблица 8.4 – Характеристики фильтровентиляционных комплектов и вентиляторов

Название фильтровентиляционных комплектов и вентиляторов	Производительность, м ³ /ч	
	в режиме вентиляции	в режиме фильтровентиляции
Фильтровентиляционный комплект ФВА-100/50	–	100
Фильтровентиляционный комплект ФВА-50/25	–	50
Комплект ФВК-200	–	200
Комплект ФВК-1, ФВК-2	1200	300
Фильтровентиляционный агрегат ФВА-49:		
с одним фильтром ФП-100у	450	100
с двумя фильтрами ФП-100у	450	200
с тремя фильтрами ФП-100у	450	300
Вентилятор ЭРВ-72	900	–
Вентилятор ЭРВ-72-2	1000	–
Вентилятор ЭРВ 600/300	600	–

Примечание. При выборе фильтровентиляционных комплектов брать основной – ФВК-1 (ФВК-2) из расчета один комплект на 150 чел., а в случае недостатка их производительности – другие комплекты совместно с вентиляторами.

5. *Оценка санитарно-технических систем.* Санузел подключается к внешним водопроводным и канализационным сетям; оборудуется аварийным резервуаром для сбора стоков.

Вместимость резервуара определяется из расчета 2 л/сут. сточных вод. Количество обслуживаемых системой укрываемых находится по формуле

$$N_{\text{ост}} = \frac{W_{\text{о.ст}}}{W_{\text{н}} \cdot C} \quad (8.11)$$

где $W_{\text{о.ст}}$ – общая вместимость санитарно-технической системы, ед. изм.; $W_{\text{н}}$ – норма сточных вод на одного укрываемого в сутки (норма – 2 л/сут.).

На основании расчетов оценивается возможность системы жизнеобеспечения по минимальному показателю. При этом учитывается, что определяющим показателем является система воздухообеспечения.

6. *Оценка подготовленности защитных сооружений к своевременному укрытию людей.* Оценка подготовленности защитных сооружений к своевременному укрытию людей проводится в зависимости от расположения защитного сооружения и места работы. Нормы для расчетов: скорость движения человека от места работы до места убежища – 100 м за 2 мин; время заполнения убежища – 2 мин.

Задание. Дайте оценку обеспечения инженерной защиты персонала наиболее многочисленной рабочей смены объекта, и предложите меры по повышению этой защиты (исходные данные в табл. 8.5).

На основании расчета (формулы 8.1–8.11) сделайте общие выводы.

Пример вывода.

1. На объекте инженерной защитой обеспечивается (%) наибольшей работающей смены.

2. Возможности имеющегося убежища используются не полностью из-за ограниченной производительности системы вентиляции.

3. Для обеспечения инженерной защиты всего состава работающей смены необходимо:

– дооборудовать систему воздухообмена убежища одним комплектом ФВК-1;

– построить дополнительно одно убежище вместимостью (количество человек с пунктом управления и защищенной ДЭС для аварийного электрообеспечения двух убежищ на объекте).

До завершения строительства убежища предусмотреть защиту неукрываемой части персонала в подвальных помещениях, оборудовав их фильтровентиляционными системами.

Контрольные вопросы:

1. Каковы основные способы защиты населения в чрезвычайных ситуациях?

2. Какие вы знаете категории защитных сооружений в соответствии с ТКП?

3. Какие вы знаете факторы, влияющие на вместимость людей в убежище?

4. Как вы охарактеризуете виды убежищ по месту их размещения?

5. Какие инженерные системы оборудуются в убежищах? Дайте им характеристику.

6. Каков физический смысл коэффициента ослабления?

7. Какова последовательность оценки инженерной защиты персонала объекта?

Таблица 8.5 – Исходные данные

Номер варианта	Численность наибольшей работающей смены, чел.	Убежища (в числителе формулы (строка 1) даются параметры встроенных убежищ, в знаменателе – параметры отдельно стоящих убежищ)								Срок нахождения, сут.
		Количество	Толщина, м		Высота, м	Площадь пола основного помещения, м ²	Площадь пола вспомогательного помещения, м ²	Запас воды, л	Емкость для сбора сточных вод, л	
			Бетонного перекрытия	Грунтовой засыпки						
1	2405	$\frac{6}{2}$	$\frac{0,55}{0,2}$	$\frac{=}{0,63}$	$\frac{2,1}{5}$	$\frac{154}{152}$	$\frac{63}{62}$	$\frac{2730}{2700}$	$\frac{1900}{1800}$	2
		2	0,2	0,63	5	152	62	2700	1800	
2	2910	$\frac{6}{1}$	$\frac{0,53}{0,23}$	$\frac{=}{0,64}$	2,95	$\frac{150}{305}$	$\frac{60}{120}$	$\frac{2700}{5400}$	$\frac{1950}{3600}$	2
		1	0,23	0,64	2,95	305	120	5400	3600	
3	2397	$\frac{6}{2}$	$\frac{0,57}{0,22}$	$\frac{=}{0,65}$	2,2	$\frac{160}{155}$	$\frac{63}{62}$	$\frac{1900}{1850}$	$\frac{1300}{1250}$	3
		2	0,22	0,65	2,2	155	62	1850	1250	
4	2205	$\frac{4}{2}$	$\frac{0,56}{0,54}$	$\frac{=}{0,66}$	3,0	$\frac{151}{152}$	$\frac{61}{62}$	$\frac{2000}{1900}$	$\frac{1260}{1300}$	3
		2	0,54	0,66	3,0	152	62	1900	1300	
5	2390	$\frac{6}{2}$	$\frac{0,52}{0,25}$	$\frac{=}{0,67}$	2,3	$\frac{149}{155}$	$\frac{59}{60}$	$\frac{2700}{2720}$	$\frac{1950}{1850}$	2
		2	0,25	0,67	2,3	155	60	2720	1850	
6	2400	$\frac{4}{1}$	$\frac{0,54}{0,25}$	$\frac{=}{0,68}$	3,1	$\frac{154}{150}$	$\frac{60}{100}$	$\frac{1980}{1900}$	$\frac{2000}{2500}$	2
		1	0,25	0,68	3,1	150	100	1900	2500	
7	3210	$\frac{6}{2}$	$\frac{0,55}{0,32}$	$\frac{=}{0,69}$	$\frac{3,0}{5}$	$\frac{151}{152}$	$\frac{63}{120}$	$\frac{3000}{4500}$	$\frac{2000}{1700}$	3
		2	0,32	0,69	5	152	120	4500	1700	
8	2850	$\frac{4}{2}$	$\frac{0,54}{0,28}$	$\frac{=}{0,62}$	2,98	$\frac{160}{154}$	$\frac{59}{100}$	$\frac{2750}{5200}$	$\frac{2500}{2600}$	2
		2	0,28	0,62	2,98	154	100	5200	2600	
9	2650	$\frac{6}{1}$	$\frac{0,57}{0,25}$	$\frac{=}{0,70}$	2,5	$\frac{155}{300}$	$\frac{60}{64}$	$\frac{2700}{2700}$	$\frac{2000}{1500}$	2
		1	0,25	0,70	2,5	300	64	2700	1500	
10	3300	$\frac{6}{3}$	$\frac{0,55}{0,24}$	$\frac{=}{0,71}$	$\frac{2,2}{5}$	$\frac{154}{150}$	$\frac{61}{120}$	$\frac{2730}{5550}$	$\frac{1900}{1300}$	2
		3	0,24	0,71	5	150	120	5550	1300	

Практическое работа 9

Навыки оказания первой медицинской помощи

Цель работы: изучить навыки оказания первой помощи пострадавшим, освоить практические навыки оказания помощи.

9.1 Общие сведения

Первая помощь – это комплекс мероприятий, направленных на восстановление или сохранение жизни и здоровья пострадавшего, осуществляемых не медицинскими работниками (взаимопомощь) или самим пострадавшим (самопомощь).

Одним из важнейших положений оказания первой помощи является ее срочность: чем быстрее она оказана, тем больше надежды на благоприятный исход. Поэтому такую помощь своевременно может и должен оказать тот, кто находится рядом с пострадавшим. Каждый человек должен уметь и при необходимости оказать помощь пострадавшему.

Умение оказать первую помощь в экстренной ситуации может спасти чью-то жизнь.

Последовательность оказания первой помощи:

1. Убедиться, что при оказании первой помощи вам ничего не угрожает, и вы не подвергаете себя опасности.

2. Устранить воздействие на организм повреждающих факторов, угрожающих здоровью и жизни пострадавшего (освободить от действия электрического тока, вынести из зараженной атмосферы, погасить горящую одежду, извлечь из воды и т. д.), оценить состояние пострадавшего.

3. Проверить наличие у пострадавшего признаков жизни (пульс, дыхание, реакция зрачков на свет) и сознания. Для проверки дыхания необходимо запрокинуть голову пострадавшего, наклониться к его рту и носу и попытаться услышать или почувствовать дыхание. Для обнаружения пульса необходимо приложить подушечки пальцев к сонной артерии пострадавшего. Для оценки сознания необходимо (по возможности) взять пострадавшего за плечи, аккуратно встряхнуть и задать какой-либо вопрос.

4. Определить характер и тяжесть травмы, наибольшую угрозу для жизни пострадавшего и последовательность мероприятий по его спасению.

5. Вызвать специалистов медиков – тел. 103.

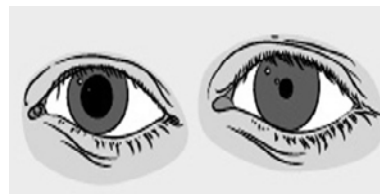
6. Выполнить необходимые мероприятия по спасению пострадавшего в порядке срочности (восстановить проходимость дыхательных путей, провести искусственное дыхание, закрытый массаж сердца; остановить кровотечение; иммобилизовать место перелома; наложить повязку и т. п.); поддержать основные жизненные функции пострадавшего до прибытия медицинского работника.



Проверка дыхания



Проверка пульса



Реакция зрачков на свет

Рисунок 9.1 – Проверка признаков жизни

9.2 Выполнение работы

Оказание доврачебной помощи при остановке дыхания

Если при осмотре пострадавшего естественное дыхание не обнаружено, необходимо немедленно провести искусственную вентиляцию легких.

Искусственная вентиляция лёгких (ИВЛ) – это введение воздуха (либо кислорода) в дыхательные пути человека с целью восстановления естественной вентиляции лёгких. Относится к элементарным реанимационным мероприятиям.

Типичные ситуации, требующие ИВЛ: автомобильная авария; происшествие на воде; удар током и другие.

Существуют различные способы ИВЛ. Наиболее эффективным при оказании первой помощи неспециалистом считается искусственное дыхание рот в рот и рот в нос.

Техника искусственного дыхания рот в рот

1. Освободить пострадавшего от стесняющей дыхание одежды – расстегнуть ворот, развязать галстук, расстегнуть брюки и т. д.

2. Положить пострадавшего на твердую горизонтальную поверхность – стол или пол. Если в помещении сырой холодный пол, необходимо подложить под спину пострадавшего какую-нибудь одежду.

3. Обеспечьте проходимость верхних дыхательных путей. Поверните голову пострадавшего набок и пальцем удалите из полости

рта слизь, кровь, инородные предметы. Проверьте носовые ходы пострадавшего, при необходимости очистите их.

4. Максимально запрокинуть голову пострадавшего назад, положив под затылок ладонь одной руки, а второй рукой надавливать на лоб пострадавшего, пока подбородок его не окажется на одной линии с шеей. При этом нижняя челюсть с языком вытягивается вперед так, что дыхательные пути открываются, (давая свободный проход для воздуха). Для сохранения достигнутого положения головы под лопатки следует подложить валик из свернутой одежды.



Не меняйте положение головы пострадавшего при травме позвоночника!

5. Положите на рот пострадавшего салфетку, платок, кусок ткани или марли, чтобы защитить себя от инфекций. Зажмите нос пострадавшего большим и указательным пальцем. Глубоко вдохните, плотно прижмитесь губами ко рту пострадавшего. Сделайте выдох в лёгкие пострадавшего.

Первые 5–10 выдохов должны быть быстрыми (за 20–30 секунд), затем – 12–15 выдохов в минуту. Произведя 5–10 вдуваний в легкие пострадавшего, надо проверить наличие пульса, прощупав его на сонной артерии. Если пульс отчетливо прощупывается, продолжить раздувать легкие пострадавшего с частотой 12 вдуваний в минуту (через 5 с).

Следите за движением грудной клетки пострадавшего. Если грудь пострадавшего при вдохе воздуха поднимается, значит, вы всё делаете правильно.



Очистка дыхательных путей



Положение головы



Искусственное дыхание

Рисунок 9.2 – Техника проведения искусственного дыхания

6. Если у пострадавшего пульс не прощупывается, следует немедленно приступить к закрытому массажу сердца. Важным признаком остановки сердца является расширение зрачков, которое появляется через минуту после остановки сердца. Поэтому, если нет пульса, не теряя времени, следует немедленно начать закрытый массаж сердца.

Непрямой массаж сердца: техника проведения

Непрямой (закрытый) массаж сердца, или компрессия грудной клетки, – это сжатие мышц сердца между грудиной и позвоночником в целях поддержания кровообращения человека при остановке сердца. Относится к элементарным реанимационным мероприятиям.



Нельзя проводить закрытый массаж сердца при наличии пульса

1. Уложите пострадавшего на плоскую твёрдую поверхность. На кровати и других мягких поверхностях проводить компрессию грудной клетки нельзя!

2. Определите расположение у пострадавшего мечевидного отростка. Мечевидный отросток – это самая короткая и узкая часть грудины, её окончание.

3. Отмерьте 2–4 см вверх от мечевидного отростка – это точка компрессии.

4. Положите основание ладони на точку компрессии. При этом большой палец должен указывать либо на подбородок, либо на живот пострадавшего, в зависимости от местоположения лица, осуществляющего реанимацию. Поверх одной руки положите вторую ладонь, пальцы сложите в замок. Надавливания проводятся строго основанием ладони – ваши пальцы не должны соприкасаться с грудиной пострадавшего.

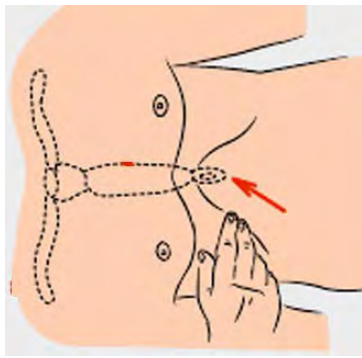
5. Осуществляйте ритмичные толчки грудной клетки сильно, плавно, строго вертикально, тяжестью верхней половины вашего тела. Частота – 100–110 надавливаний в минуту. При этом грудная клетка должна прогибаться на 3–4 см.

Если оказывающий помощь – один, то он должен чередовать действия: 2 раздувания легких, потом 15 толчков грудины. *За одну минуту необходимо проводить не менее 60 надавливаний и 12 вдуваний.*

6. Грудным детям непрямой массаж сердца производится указательным и средним пальцем одной руки. Подросткам – ладонью одной руки.

7. Даже если сердечная деятельность или самостоятельное дыхание не восстановились, реанимационные мероприятия необходимо продолжить и прекратить их только при передаче пострадавшего в руки медицинского работника. Если пострадавший начал самостоятельно дышать, искусственное дыхание следует прекратить, уложите человека на бок, положив ладонь под голову. Следите за его состоянием до прибытия медиков.

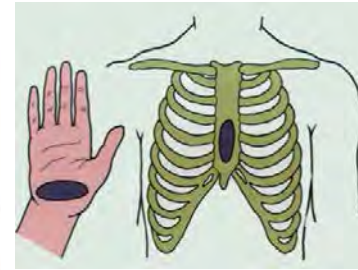
Для приобретения практических навыков проведения искусственного дыхания и непрямого массажа сердца на практических занятиях используется тренажер «ВИТИМ».



Мечевидный отросток



Выбор точки компрессии



Точка компрессии

Рисунок 9.3 – Непрямой массаж сердца



Рисунок 9.4 – Положение рук при непрямом массаже сердца

Оказание доврачебной помощи при попадании инородного тела в дыхательные пути

При попадании пищи или инородных тел в трахею, она закупоривается (полностью или частично) – человек задыхается.

Признаки закупоривания дыхательных путей:

- отсутствие полноценного дыхания. Если дыхательное горло закупорено не полностью, человек кашляет; если полностью – держится за горло;
- неспособность говорить;
- посинение кожи лица, набухание сосудов шеи.

Очистку дыхательных путей чаще всего проводят по методу Геймлиха:

1. Встаньте позади пострадавшего.
2. Обхватите его руками, сцепив их в замок, чуть выше пупка, под рёберной дугой.
3. Сильно надавите на живот пострадавшего, резко сгибая руки в локтях.



Не сдавливайте грудь пострадавшего, за исключением беременных женщин, которым надавливания осуществляются в нижнем отделе грудной клетки.

Повторите приём несколько раз, пока дыхательные пути не освободятся.

4. Если пострадавший потерял сознание и упал, положите его на спину, сядьте ему на бёдра и обеими руками надавите на рёберные дуги.



Обхват под рёберной дугой



Надавливание на рёберные дуги



Рисунок 9.5 – Попадание инородного тела в дыхательные пути

6. Для удаления инородных тел из дыхательных путей ребёнка необходимо повернуть его на живот и похлопать 2–3 раза между лопатками. Будьте очень осторожны. Даже если малыш быстро откашлялся, обратитесь к врачу для медицинского осмотра.

Доврачебная помощь при кровотечениях

Виды кровотечений

Кровотечения, при которых кровь вытекает из раны или естественных отверстий тела наружу, принято называть наружными. Кровотечения, при которых кровь скапливается в полостях тела, называются внутренними.

Среди наружных кровотечений чаще всего наблюдаются кровотечения из ран:

- капиллярное – при поверхностных ранах, при этом кровь из раны вытекает по каплям;
- венозное – при более глубоких ранах, например резаных, колотых, происходит обильное вытекание крови темно-красного цвета;
- артериальное – при глубоких рубленых, колотых ранах; артериальная кровь ярко-красного цвета бьет струей из поврежденных артерий, в которых она находится под большим давлением;
- смешанное – в тех случаях, когда в ране кровоточат одновременно вены и артерии, чаще всего такое кровотечение наблюдается при глубоких ранах.

Остановка капиллярного кровотечения осуществляется путём наложения асептической повязки, а также, если ранены руки или ноги, поднятием конечностей выше уровня туловища.

При венозном кровотечении накладывается давящая повязка. Для этого выполняется тампонада раны: на рану накладывается марля, поверх неё укладывается несколько слоёв ваты (если нет ваты – чистое полотенце), туго бинтуется. Сдавленные такой повязкой вены быстро тромбируются, и кровотечение прекращается. Если давящая повязка промокает, сильно надавите на неё ладонью.

Наиболее опасно для жизни наружное артериальное кровотечение. Чтобы остановить артериальное кровотечение, артерию необходимо пережать.

Техника пережатия артерии: сильно прижмите артерию пальцами или кулаком к подлежащим костным образованиям.

Артерии легкодоступны для пальпации, поэтому данный способ весьма эффективен. Однако он требует от лица, оказывающего первую помощь, физической силы.

Если кровотечение не остановилось после наложения тугей повязки и прижатия артерии, примените жгут или фиксирование конечности в положении максимального сгибания.



Помните, что это крайняя мера, когда другие способы не помогают.

1. Височная
2. Челюстная
3. Сонная
4. Лучевая



5. Плечевая
6. Подмышечная
7. Бедренная
8. Большеберцовая

Рисунок 9.6 – Артерии человека

Техника наложения кровоостанавливающего жгута

Наложите жгут на одежду или мягкую подкладку чуть выше раны.

Жгут накладывают на бедро, голень, плечо и предплечье выше места кровотечения, ближе к ране. Жгут накладывают с такой силой, чтобы остановить кровотечение. При этом необходимо следить, чтобы жгут был наложен не слишком сильно, так как при этом травмируются нервные стволы конечности, но и не слабо, так как будут сдавливаться только вены, по которым осуществляется отток крови из конечностей и артериальное кровотечение усилится.

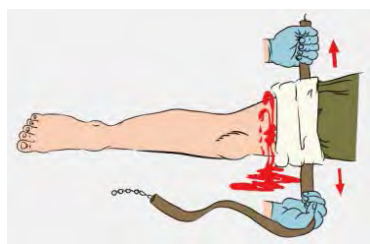
Затяните жгут и проверьте пульсацию сосудов: кровотечение должно прекратиться, а кожа ниже жгута – побледнеть. О правильности наложения жгута говорит отсутствие пульса на периферическом сосуде.

Наложите повязку на рану.

Запишите точное время, когда наложен жгут.

Жгут следует держать на конечности не более 1,5 часа, во избежание омертвления нижележащих конечностей. Если прошло 1,5 часа и кровотечение не остановилось, жгут снять, выполнить пальцевое прижатие артерии на 5–10 мин и затем снова наложить его немного выше предыдущего места. Такое временное снятие жгута повторяют через каждый час, пока пострадавшему не будет оказана хирургическая помощь. При этом в записке каждый раз следует делать отметку о времени.

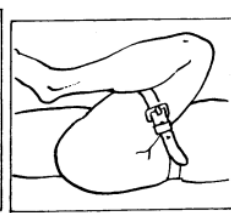
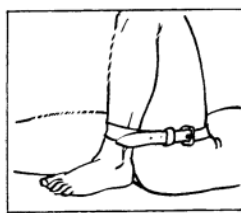
Если жгута нет, артериальное кровотечение может быть остановлено наложением закрутки или путем максимального сгибания конечности и ее фиксации в этом положении. В качестве закрутки можно использовать веревку, скрученный платок, полоски ткани, сложенные в виде двойной петли, брючный ремень, который надевают на конечность и затягивают.



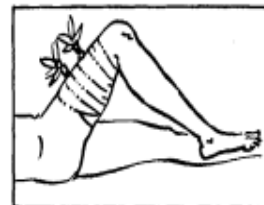
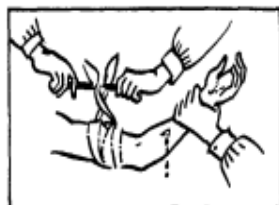
Наложение жгута



Временная остановка кровотечения путем сгибания руки



Придавливание бедренной артерии к костям таза



Временная остановка кровотечения наложением закрутки

Рисунок 9.7 – Наложение жгута

Временная остановка наружного венозного и капиллярного кровотечения проводится путем наложения давящей стерильной повязки на рану следующим образом:

1. Рану закрывают стерильной салфеткой или бинтом в 3–4 слоя, сверху кладут гигроскопическую вату и туго закрепляют бинтом.

2. Поврежденной части тела придают приподнятое положение по отношению к туловищу. При правильных действиях кровотечение может прекратиться окончательно.

При кровотечении из носа пострадавший должен сидя откинуть голову назад, дыша ртом. Ему следует расстегнуть воротник, на переносицу положить лед или холодную примочку.

Большую опасность для жизни представляют **кровотечения из внутренних органов**. Внутреннее кровотечение распознается по резкой бледности лица, слабости, очень частому пульсу, одышке, головокружению, сильной жажде и обморочному состоянию. В этих случаях необходимо срочно вызвать врача, а до его прихода обеспечить пострадавшему полный покой. Нельзя давать ему пить, если есть подозрение на ранение органов брюшной полости. На место травмы необходимо положить «холод» (резиновый пузырь со льдом, снегом или холодной водой, холодные примочки и т. п.).

Доврачебная помощь при переломах

Перелом – нарушение целостности кости. Перелом сопровождается сильной болью, иногда – обмороком или шоком, кровотечением. Различают открытые и закрытые переломы. Первый сопровождается ранением мягких тканей, в ране иногда заметны обломки кости.

Техника оказания первой помощи при переломе

1. Оцените тяжесть состояния пострадавшего, определите локализацию перелома.

2. При наличии кровотечения остановите его.

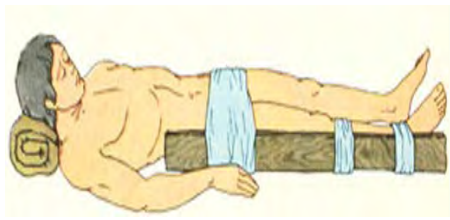
3. Определите, возможно ли перемещение пострадавшего до прибытия специалистов.



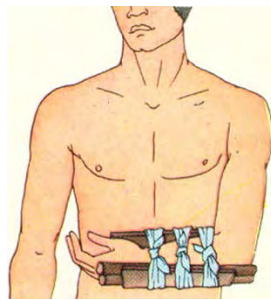
Не переносите пострадавшего и не меняйте его положения при травмах позвоночника!

4. Обеспечьте неподвижность кости в области перелома – проведите иммобилизацию. Для этого необходимо обездвижить суставы, расположенные выше и ниже перелома.

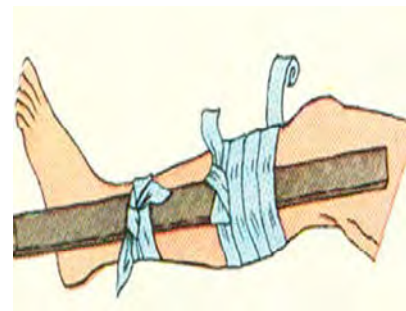
5. Наложите шину. В качестве шины можно использовать плоские палки, доски, линейки, прутья и прочее. Шину необходимо плотно, но не туго зафиксировать бинтами или пластырем.



Перелом бедра



Перелом
предплечья



Перелом голени

Рисунок 9.8 – Наложение шины

Доврачебная помощь при ожоге

Ожог – это повреждение тканей организма под действием высоких температур или химических веществ. Ожоги различаются по степеням, а также по типам повреждения. По последнему основанию выделяют ожоги:

- термические (пламя, горячая жидкость, пар, раскалённые предметы);
- химические (щёлочи, кислоты);
- электрические;
- лучевые (световое и ионизирующее излучение);
- комбинированные.

Техника оказания первой помощи при ожогах

1. Необходимо устранить действие поражающего фактора (огня, электрического тока, кипятка и так далее).



Рисунок 9.9 – Степени ожогов на коже

2. При термических ожогах поражённый участок следует освободить от одежды (аккуратно, не отдирая, а обрезая вокруг раны прилипшую ткань) и в целях дезинфекции и обезболивания оросить его водоспиртовым раствором (1/1) или водкой.



Не используйте масляные мази и жирные кремы – жиры и масла не уменьшают боль, не дезинфицируют ожог и не способствуют заживлению.

3. Оросите рану холодной водой, наложите стерильную повязку и приложите холод. Дайте пострадавшему тёплой подсоленной воды.

4. Для ускорения заживления лёгких ожогов используйте спреи с декспантенолом. Если ожог занимает площадь больше одной ладони, обязательно обратитесь к врачу.

Доврачебная помощь при обмороке

Обморок – это внезапная потеря сознания, обусловленная временным нарушением мозгового кровотока. Это сигнал мозга о том, что ему не хватает кислорода.

Важно отличать обычный и эпилептический обморок. Первому, как правило, предшествуют тошнота и головокружение.

Предобморочное состояние характеризуется тем, что человек закатывает глаза, покрывается холодным потом, у него слабеет пульс, холодеют конечности.

Типичные ситуации наступления обморока: испуг, волнение, духота и др.

Техника оказания первой помощи при обмороке

1. Придайте человеку удобное горизонтальное положение и обеспечьте приток свежего воздуха (расстегните одежду, ослабьте ремень, откройте окна и двери).

2. Брызните на лицо пострадавшего холодной водой, похлопайте его по щекам.

3. При наличии под рукой аптечки дайте понюхать ватный тампон, смоченный нашатырным спиртом.

4. Если сознание не возвращается 3–5 минут, немедленно вызывайте скорую.

5. Когда пострадавший придёт в себя, дайте ему крепкого чая или кофе.

Доврачебная помощь при утоплении

Утопление – это проникновение воды в лёгкие и дыхательные пути, которое может привести к смерти.

Техника оказания первой помощи при утоплении

Извлеките пострадавшего из воды. Тонущий человек хватается за

всё, что попадётся под руку. Будьте осторожны: подплывайте к нему сзади, держите за волосы или подмышки, держа лицо над поверхностью воды.

1. Положите пострадавшего животом на колени, чтобы голова была внизу.

2. Очистите ротовую полость от инородных тел (слизь, рвотные массы, водоросли).



Рисунок 9.10 – Оказание помощи при утоплении

3. Проверьте наличие признаков жизни.

4. При отсутствии пульса и дыхания немедленно приступайте к ИВЛ и непрямому массажу сердца.

5. После восстановления дыхания и сердечной деятельности положите пострадавшего набок, укройте его и обеспечивайте комфорт до прибытия медиков.

Доврачебная помощь при солнечном ударе

Солнечный удар – это расстройство работы головного мозга, вызванное длительным пребыванием на солнце.

Симптомы: головная боль, слабость, шум в ушах, тошнота, рвота.

Если пострадавший по-прежнему остаётся на солнце, у него поднимается температура, появляется одышка, иногда он даже теряет сознание.

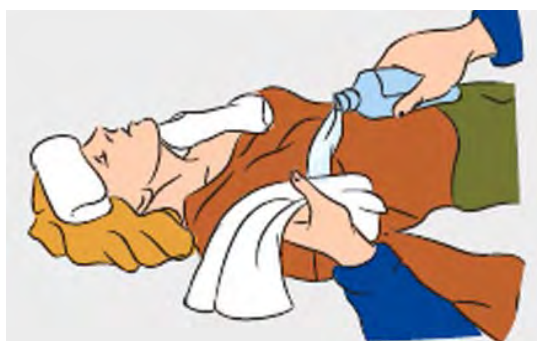


Рисунок 9.11 – Оказание помощи при солнечном ударе

Техника оказания первой помощи при солнечном ударе

1. Перенести пострадавшего в прохладное проветриваемое место.

2. Освободите его от одежды, ослабьте ремень, разуйте.
3. Положите ему на голову и шею холодное мокрое полотенце.
4. Дайте понюхать нашатырный спирт.
5. При необходимости сделайте искусственное дыхание.

При солнечном ударе пострадавшего необходимо обильно поить прохладной, слегка подсоленной водой (пить часто, но маленькими глотками).

Доврачебная помощь при переохлаждении и обморожении

Переохлаждение (гипотермия) – это понижение температуры тела человека ниже нормы, необходимой для поддержания нормального обмена веществ.

Техника оказания первой помощи при гипотермии

1. Заведите (занесите) пострадавшего в тёплое помещение или укутайте тёплой одеждой.
2. Не растирайте пострадавшего, дайте телу постепенно согреться самостоятельно.
3. Дайте пострадавшему тёплое питьё и еду.



Не используйте алкоголь!

Обморожение – повреждением и омертвением тканей организма под воздействием низких температур. Особенно часто встречается обморожение пальцев рук и ног, носа и ушей – частей тела с пониженным кровоснабжением.

Причины обморожения – высокая влажность, мороз, ветер, неподвижное положение. Усугубляет состояние пострадавшего, как правило, алкогольное опьянение.

Симптомы: чувство холода; покалывание в обмораживаемой части тела; затем – онемение и потеря чувствительности.



Рисунок 9.12 – Наложение повязки при обморожении

Техника оказания первой помощи при обморожении

1. Поместите пострадавшего в тепло.
2. Снимите с него промёрзшую или мокрую одежду.
3. Не растирайте пострадавшего снегом или тканью – так вы только травмируете кожу.
4. Укутайте обмороженный участок тела.
Дайте пострадавшему горячее сладкое питьё или горячую пищу.

Задание. Сымитируйте ситуации травмирования человека и окажите ему первую помощь.

Контрольные вопросы:

1. Что предусматривает первая помощь пострадавшему?
2. Какие необходимо провести действия оказания помощи при травмах, ожогах, утоплении, обмороке?
3. Чего делать нельзя при оказании помощи при травмах, наложении жгута, ожогах?

Практическая работа 10

Расчёт необходимого количества технических средств для ликвидации аварии с разливом нефтепродукта

Цель работы: изучить методику расчета технических средств для ликвидации аварий с разливом нефтепродукта на водотоках и научиться ее практическому применению.

10.1 Общие сведения

Республика Беларусь располагает густой сетью хозяйственных объектов по добыче, транспорту, переработки, хранению, распределению и использованию нефти и нефтепродуктов. Нефтепродукты являются весьма серьезными потенциальными загрязнителями (ПЗ) водных объектов, особенно при аварийных разливах (залповых сбросах – ЗС) нефти.

ПЗ можно систематизировать по ряду признаков: отраслевая принадлежность, масса нефти и нефтепродуктов, которая находится на ПЗ, способ хранения нефти, подвижность потенциальных загрязнителей, конструктивные особенности, местоположение ПЗ и удалённость от водных объектов (ВО), геоландшафтная ситуация, эколого-экономическая значимость ВО, а также прилегающих

территорий, оснащённость ПЗ средствами защиты. Эти признаки положены в основу классификации ПЗ.

Для предотвращения, локализации и ликвидации загрязнения ВО при ЗС должен проводиться комплекс мероприятий организационно-управленческого, инженерно-технического и финансово-экономического направления, которые образуют систему организационно-технических мероприятий по защите ВО при ЗС нефти.

К организационно-управленческим мероприятиям относятся создание в составе ПЗ соответствующих структурных элементов, включающих необходимые силы и средства и разработка планов предотвращения и ликвидации последствий ЗС нефти в ВО.

К инженерно-техническим мероприятиям относятся разработка технологических процессов предотвращения, локализации и ликвидации последствий ЗС нефти, оснащение подразделений техникой и оборудованием для локализации, улавливания, сбора и рекуперации разлитой нефти и проведение комплекса профилактических и аварийных работ.

Для расчета концентрации загрязняющих веществ (нефть, нефтепродукты) в водотоках для случая полного перемешивания может быть использована формула

$$C = \frac{Q_o \cdot \rho_o}{Q_o + \Sigma Q_B} \quad (0.1)$$

где C – концентрация нефти в водном объекте, мг/л; C_0 – концентрация нефти в сточных водах, сбрасываемых в водоток, мг/л; Q_0 – расход нефти (нефтепродукта), попадающей в водный объект, м³/с ; мг/л; Q_B – расход воды в водном объекте, м³/с (берется из данных гидрологических наблюдений); ρ_o – плотность нефти или нефтепродуктов, сброшенных в водный объект, кг/м³.

В случае залпового сброса нефтепродукта в водном объекте предполагается превышение ПДК в 100 раз, т. е. $C = 100 \text{ ПДК}$, тогда из формулы (10.1) может быть найден расход нефтепродукта, который может создать залповый сброс в водном объекте.

Из предыдущего выражения найдем расходы нефти или нефтепродуктов, которые могут создать залповый сброс в водном объекте.

$$Q_o = \frac{100 \text{ ПДК} \cdot Q_e}{\rho_o - 100 \text{ ПДК}} \quad (0.2)$$

Если предположить, что при залповом сбросе всё количество нефти, находящееся на ПЗ, одновременно попадает в водный объект,

то можно представить, что объем нефти, содержащейся на ПЗ $W_H = Q_o$, и в этом случае выражение можно представить в виде:

$$W_H = \frac{100 ПДК \cdot W_e}{\rho_o - 100 ПДК} \quad (0.3)$$

где W_e – среднееголетний объем стока водотока, $м^3/с$.

10.2 Методика расчета

Исходные данные

Исходными данными для расчета технических средств при ликвидации аварийного разлива нефтепродуктов на водотоке, являются:

- количество вылившегося нефтепродукта в водный объект P , $т$;
- плотность нефтепродукта ρ , $т/м^3$;
- ширина реки B , $м$;
- средняя скорость течения реки (поверхностный слой) v_p , $м/с$;
- средняя толщина пленки нефтепродукта перед боновым заграждением (бонами) – δ_l (от 0,0005 до 0,1 м);
- число рядов бонов – n ;
- процент собранной нефти основными средствами – N , % (от 50 до 95 %).

10.3 Выполнение работы

Алгоритм расчета технических средств при ликвидации аварийного разлива нефтепродуктов на водотоке:

1. Определение объема вылившегося нефтепродукта, $м^3$:

$$V = \frac{P}{\rho} \quad (0.4)$$

2. Определение суммарной производительности нефтесборных устройств (НСУ)

2.1. При расположении бонов в один ряд: $Q = B \cdot \delta_l \cdot v$, $м^3/ч$.

2.2. При расположении бонов в n рядов: $Q_n = Q \cdot n$, $м^3/ч$.

3. Определение суммарной длины бонов:

$$L = \frac{B}{\sin \alpha}, \quad (0.5)$$

где α – угол установки бонов, зависящий от скорости течения реки – v_p и скорости уноса нефти под бон – v_n (от 0,2 до 0,3 м/с), значит

$$\alpha = \arccos \frac{v_n}{v_p} \quad (0.6)$$

4. Определение необходимого количества сорбента с сорбционной нефтеемкостью q (от 2 до 20 кг/кг пролившегося нефтепродукта).

4.1. Общее, т:

$$M = P/q. \quad (0.7)$$

4.2. Минимальное количество сорбента m при остаточной толщине $\delta_{ост}$ 0,001 (от 0,0005 до 0,005 м):

4.2.1. Определяем остаточное количество (или объем) нефти после сбора основного объема.

Пусть собрано основными средствами 90 % (от 50 до 95 %), тогда доля остатка $\Delta = 0,1$ (принимается от 0,05 до 0,5) \Rightarrow

$$P_{ост} = P \cdot 0,1, \text{ т};$$

$$V_{ост} = P_{ост} / \rho, \text{ м}^3;$$

$$m = P_{ост} / q = 5/10 = 0,5 \text{ т} = 500 \text{ кг}.$$

4.3. Определяем длину остаточного разлива (размер пятна от бона в обратном течению направлении):

$$V_{ост} = B \cdot \delta_{ост} \cdot x, \quad (0.8)$$

где x – длина разлива (размер пятна от бона в обратном течению направлении), тогда:

$$x = V_{ост} / (B \cdot \delta_{ост}), \text{ м}. \quad (0.9)$$

Задание А (табл. 10.2). Произошла авария на ПЗ с разливом P , тонн нефтепродукта плотностью ρ , т/м³ на реке шириной B , м, скорость течения реки v_p , м/с (от 0,05 до 3 м/с). Средняя толщина пленки нефтепродукта перед боновым ограждением (бонами) – δ_l , м. Число рядов бонов – n . Процент собранной нефти основными средствами – N , %. Сорбционная емкость сорбента – q , кг/кг нефтепродукта. Определить объем вылившегося нефтепродукта – V , м³; суммарную производительность нефтесборных устройств (НСУ) Q , м³/ч; длину бонового ограждения – L , м, общее необходимое количество сорбента – M , т и количество сорбента для ликвидации остаточной

пленки нефтепродукта после сбора нефтепродукта основными средствами (НСУ) – m , кг; длину разлива – x , м.

Таблица 10.1 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P, m	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$\rho, \text{т/м}^3$	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,7	0,8	0,9	0,95	0,95	0,9
$B, м$	25	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
$v_p, м/с$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
δ_l	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
n	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
$N, \%$	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	95
$q, \text{кг/кг}$	3	4	6	8	10	12	6	8	10	12	14
Вариант	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P, m	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
$\rho, \text{т/м}^3$	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,7	0,8	0,9	0,95	0,9	0,8
$B, м$	250	280	300	320	340	360	380	400	450	500	550
$v_p, м/с$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	2,5
$\delta_l, м$	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001
n	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
$N, \%$	95	95	90	90	85	85	80	80	80	75	75
$q, \text{кг/кг}$	6	8	10	12	14	16	18	16	14	12	10

Контрольные вопросы:

1. Какие объекты ПЗ расположены на территории Витебской области?
2. Что такое залповый сброс нефтепродукта?
3. Как определить объем вылившегося нефтепродукта, если известна его масса и плотность?
4. От чего зависит и как определить угол установки боновых заграждений на водотоке?

Практическая работа 11

Оценка радиационной обстановки при аварии на атомной электростанции

Цель работы: изучить методику оценки радиационной обстановки при аварии на атомной электростанции (АЭС).

11.1 Общие сведения

Оценка обстановки в чрезвычайной ситуации проводится как до появления ее источников, так и после их появления. В первом случае

эта оценка носит вероятностный характер о возможных последствиях чрезвычайной ситуации, во втором случае последствия определяются по факту свершившейся чрезвычайной ситуации.

Под оценкой радиационной обстановки понимается решение задач по различным вариантам действий формирований МЧС, а также производственной деятельности объектов и населения в условиях радиоактивного заражения, анализ полученных результатов и выбор наиболее целесообразного варианта действий, при котором исключается радиационное поражение людей.

Степень опасности и возможные последствия радиоактивного заражения определяются путем расчета ожидаемых доз облучения людей и сопоставления их значений с допустимыми нормами, характеризующими потерю работоспособности.

В данной работе приводится методика расчета различных параметров оценки обстановки при аварии на АЭС.

11.2 Методика расчета

Определение возможных доз излучения за время пребывания в зоне радиоактивного заражения

Решение этой задачи позволяет оценить степень опасности пребывания людей на зараженной местности и наметить пути целесообразных действий. Для этого значение возможной дозы излучения сравнивают с допустимой (установленной) дозой $D_{уст}$. Если окажется, что люди получают дозу излучения, превышающую допустимую, то надо изменить порядок действия людей на зараженной местности: сократить время пребывания; изменить условия пребывания; начать работу позже.

Изменение уровней радиации на радиоактивно загрязненной местности в общем виде характеризуется зависимостью

$$P_t = P_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-n} \quad (0.1)$$

где P_t – уровень радиации в момент времени t после аварии, рад/ч; P_0 – уровень радиации в момент времени t_0 после аварии, рад/ч; n – показатель степени, характеризующий величину спада радиации по времени и зависящий от изотопного состава радионуклидов.

Таким образом, доза излучения за период, длящийся от времени начала пребывания в зоне радиоактивного заражения $t_n(\varphi)$ до времени конца пребывания в зоне радиоактивного заражения $t_k(\varphi)$, составит:

$$D = \frac{P_0 t_0^n}{1-n} \cdot (t_k^{n+1} - t_n^{n+1}) \quad (0.2)$$

Выразив значение P_0 через P_n и P_k по формуле (11.1)

$$P_0 = P_n \left(\frac{t_n}{t_0} \right)^n ; P_0 = P_k \left(\frac{t_k}{t_0} \right)^n \quad (0.3)$$

и подставив в формулу (11.2), получим:

$$D = \frac{1}{1-n} \cdot (P_k t_k - P_n t_n) \quad (0.4)$$

где D – доза излучения, полученная за период времени от t_n до t_k , *рад*;
 P_n – уровень радиации на время t_n , *рад/ч*; P_k – уровень радиации на время t_k , *рад/ч*.

Величина спада радиации при аварии (разрушении АЭС), где, как известно, другой изотопный состав радионуклидов, чем при ядерном взрыве, должна в каждом конкретном случае определяться по данным радиационной разведки. Для чего из формулы (11.1) выразим n :

$$n = \frac{\ln \frac{P_1}{P_2}}{\ln \frac{t_2}{t_1}} \quad (0.5)$$

где $\frac{P_1}{P_2}$ – отношение уровней радиации при первом измерении к уровню

радиации при втором измерении (в начале и в конце); $\frac{t_2}{t_1}$ – отношение

времени, прошедшего после аварии до второго измерения, к времени, прошедшего после аварии при первом измерении.

Для решения практических задач принимаем $n = 0,4$ (определено опытным путем по результатам многократных замеров уровней радиации в зоне аварии Чернобыльской АЭС). При таком показателе спада уровень радиации при аварии на АЭС за семикратный промежуток времени уменьшается примерно в 2 раза, а не в 10, как при ядерном взрыве. Тогда при $n = 0,4$ формула (11.3) принимает вид

$$D = \frac{1}{1-0,4} \cdot (P_k t_k - P_n t_n) = 1,7 \cdot (P_k t_k - P_n t_n), \text{ рад}. \quad (0.6)$$

При расчетах необходимо также учитывать коэффициент ослабления излучения ($k_{осл}$) различными материалами (на открытой местности $k_{осл} = 1$).

С учетом коэффициента ослабления формула (10.6) записывается

$$D = \frac{1,7 \cdot (P_k t_k - P_n t_n)}{K_{осл}}, \text{ рад}. \quad (0.7)$$

В качестве исходных данных для расчета доз излучения по формуле (11.7) необходимо знать:

P_n – уровень радиации на время, соответствующее началу пребывания в зоне радиоактивного заражения (отсчитывается от момента аварии), рад/ч;

t_n – время начала пребывания в зоне, ч; T – продолжительность работы в зоне, ч; $k_{осл}$ – коэффициент ослабления радиации зданием, сооружением, местом, где будут находиться люди; $t_k = t_n + T$ – время окончания работ в зоне, ч;

P_k – уровень радиации на момент окончания работ в зоне, рад/ч.

При расчетах используют коэффициенты пересчета уровней радиации на различное время после аварии на АЭС (см. табл. 11.1):

$$k_t = t^{-0,4} \quad (0.8)$$

Тогда, с учетом формулы (10.7), формула (10.1) записывается:

$$\frac{P_t}{P_0} = \frac{k_t}{k_{t_0}}. \quad (0.9)$$

Используя формулу (11.8), находят уровень радиации:

$$P_k = P_n \cdot \frac{K_k}{K_n}, \text{ рад/ч}.$$

Таблица 11.1 – Коэффициенты $k_t = t^{-0,4}$ для пересчета уровней радиации на различное время t после аварии (разрушения) АЭС

$t, \text{ ч}$	k_t	$t, \text{ ч}$	k_t	$t, \text{ ч}$	k_t	$t, \text{ ч}$	k_t
0,5	1,32	4,5	0,545	8,5	0,427	16,0	0,33
1,0	1,0	5,0	0,525	9,0	0,417	20,0	0,303
1,5	0,85	5,5	0,508	9,5	0,408	24,0	0,282
2,0	0,76	6,0	0,49	10,0	0,4	48,0	0,213
2,5	0,7	6,5	0,474	10,5	0,39	72,0	0,182
3,0	0,645	7,0	0,465	11,0	0,385	96,0	0,162
3,5	0,61	7,5	0,447	11,5	0,377	120,0	0,146
4,0	0,575	8,0	0,434	12,0	0,37	144,0	0,137

Определение допустимой продолжительности пребывания в зоне радиоактивного заражения

При действиях на местности, зараженной радиоактивными веществами, может возникнуть необходимость определения допустимого времени пребывания в зонах заражения с учетом заданной (установленной) дозы. Решение этой задачи необходимо для определения целесообразных действий людей на зараженной местности.

В качестве исходных данных для расчета допустимого времени пребывания в зоне радиоактивного заражения необходимо знать PI – уровень радиации на один час после аварии, который можно определить по формуле (11.8):

$$PI = \frac{P_t}{k_t}, \text{ рад/ч}, \quad (0.10)$$

где k_t – коэффициент пересчета уровня радиации на время t (определяется по таблице 11.1); P_t – уровень радиации на время t , рад/ч.

Далее определяют относительную величину α :

$$\alpha = \frac{PI}{D_{зад} k_{осл}} \quad (0.11)$$

где $D_{зад}$ ($D_{уст}$) – установленная доза излучения, рад; $k_{осл}$ – коэффициент ослабления уровня радиоактивного излучения.

Затем, зная α и t_n – время, прошедшее с момента аварии до начала облучения, по таблице 11.2 определяют допустимую продолжительность пребывания людей на радиоактивно зараженной местности при аварии на АЭС.

Определение дозы излучения за длительный период времени

Формула (11.6) справедлива для суммарного воздействия всех радионуклидов аварийного выброса до момента практически полного распада основной их массы. После этого доза радиации в основном будет определяться распадом наиболее долгоживущего гамма-активного радионуклида с периодом полураспада на порядок выше остальных. В результате аварии на Чернобыльской АЭС было загрязнено 20 % территории Республики Беларусь, однако большинство радионуклидов имели небольшой период полураспада (несколько минут, часов, дней). Из наиболее долгоживущих сейчас остались: гамма-радионуклиды: цезий-137 (период полураспада $T_{1/2} = 30$ лет); бета-радионуклиды: стронций-90 ($T_{1/2} = 29,1$ лет), плутоний-238 ($T_{1/2} = 87,7$ лет).

Таблица 11.2 – Допустимая продолжительность пребывания людей на радиоактивно зараженной местности при аварии (разрушении) на АЭС, Т (ч:мин)

α	Время, прошедшее с момента аварии до начала облучения, $t_{об}$, ч							
	1	2	3	4	6	8	12	24
0,2	7:30	8:35	10:00	11:3	12:30	14:00	16:00	21:00
0,3	4:50	5:35	6:30	7:10	8:00	9:00	10:30	13:30
0,4	3:30	4:00	4:35	5:10	5:50	6:30	7:30	10:00
0,5	2:45	3:05	3:35	4:05	4:30	5:00	6:00	7:50
0,6	2:15	2:35	3:00	3:20	3:45	4:10	4:50	6:25
0,7	1:50	2:10	2:30	2:40	3:10	3:30	4:00	5:25
0,8	1:35	1:50	2:10	2:25	2:45	3:00	3:30	4:50
0,9	1:25	1:35	1:55	2:05	2:25	2:40	3:05	4:00
1,0	1:15	1:30	1:40	1:55	2:10	2:20	2:45	3:40

Известно, что уже через 5 периодов полураспада активность радионуклидов уменьшится в 32 раза и составит 0,03 от его первоначальной активности.

Для оценки возможной дозы излучения, которую может получить население при длительном его проживании (несколько лет) на загрязненной каким-либо одним радионуклидом территории (например, загрязнение гамма-радионуклидом цезия-137), используется формула

$$N_t = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T_{1/2}}}}, \quad (0.12)$$

где N_0 – первоначальная исходная активность радионуклида (уровень загрязнения) на момент аварии t_0 , $Ku/км^2$; N_t – активность (уровень загрязнения) в рассматриваемый момент времени t , $Ku/км^2$; t – время отсчитывается от исходной активности (исходного уровня загрязнения), лет; $T_{1/2}$ – период полураспада радионуклида, лет.

Заменяя в формуле (11.11) уровень загрязнения соответствующим ему уровнем радиации, сопровождающим гамма-излучение, получим:

$$P_t = \frac{P_0}{2^{\frac{t}{T_{1/2}}}}, \quad (0.13)$$

где P_0 – первоначальный (исходный) уровень радиации, соответствующий первоначальной поверхностной активности радионуклида, $рад/лет$; P_t – уровень радиации в рассматриваемый момент времени t , $рад/лет$.

Тогда доза излучения за время от t_1 до t_2 с учетом $k_{осл}$ составит:

$$D = \frac{1,44T_{1/2}P_0(2^{-t_1/T_{1/2}} - 2^{-t_2/T_{1/2}})}{k_{осл}}, \text{ рад.} \quad (0.14)$$

Для проведения практических расчетов по формуле (11.13) необходимо знать величину P_0 , соответствующую данному уровню загрязнения радионуклидом. Для решения этой задачи воспользуемся зависимостью:

$$P_0 = 0,0545 \cdot \mu \cdot E \cdot J, \quad (0.15)$$

где E – энергия гамма-квантов, МэВ ; J – поток гамма-квантов, проходящий через 1 см^2 в секунду, $\frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$; μ – линейный коэффициент ослабления гамма-лучей воздухом, см^{-1} (определяется по таблице 11.3).

Таблица 11.3 – Зависимость линейного коэффициента от энергии γ -квантов

$E, \text{ МэВ}$	0,1	0,25	0,5	0,7	1,0	2,0	3,0
$\mu, \text{ см}^{-1}$	$1,98 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-4}$	$0,95 \cdot 10^{-4}$	$0,81 \cdot 10^{-4}$	$0,57 \cdot 10^{-4}$	$0,46 \cdot 10^{-4}$

При постоянной интенсивности гамма-излучения уровень загрязнения

$$N = \frac{60 \cdot J}{n}, \frac{\text{расп}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}} \quad (0.16)$$

где n – число гамма-квантов, приходящихся на 1 *распад*.

Выразив из формулы (10.14) значение $J = \frac{N \cdot n}{60}$ и подставив его в формулу (10.15), получают:

$$P_0 = 0,0545 \cdot \mu \cdot E \cdot N \cdot n / 60 = 9,1 \cdot 10^{-4} \cdot \mu \cdot E \cdot N \cdot n. \quad (0.17)$$

С учетом того, что $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп/с}$, $1 \text{ Ки/км}^2 = \frac{3,7 \cdot 10^{10} \cdot 60}{10^{10}} = 2,2 \cdot 10^2 \text{ расп/см}^2 \cdot \text{мин}$, формулу (1.18) можно записать в виде:

$$P_0 = 0,2 \cdot \mu \cdot E \cdot N_0 \cdot n, \text{ рад/ч.} \quad (0.18)$$

Для подстановки полученного по формуле (11.17) значения P_0 в формулу (11.13) его необходимо перевести в рад/лет , умножив на 8760 (число часов в году).

Задание А (табл. 11.4). Формированию МЧС предстоит проводить спасательные работы T часов на радиоактивно зараженной в результате аварии на АЭС местности. Определить дозу излучения, которую получит личный состав формирования при входе в зону через t_n часов после аварии, если уровень радиации к этому времени составил P_n .

Таблица 11.4 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T, ч$	6	7	8	9	10	9	8	7	6	5	4	3
$t_n, ч$	4	4,5	3	2,5	6	3	3,5	2	3	4	5	5
$P_n, рад/ч$	5	6	7	8	10	9	11	12	11	10	9	10

Задание Б (табл. 11.5). Определить допустимую продолжительность работы студентов спасательного формирования комиссии по ЧС университета на радиоактивно загрязненной в результате аварии на АЭС местности, если измеренный уровень радиации при входе в зону через t_n часов после аварии составлял P_n , а заданная доза – $D_{зад}$, коэффициент ослабления – $K_{осл}$.

Таблица 11.5 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_n, ч$	2	4	4	6	8	12	24	1	2	3	4	5
$P_n, рад/ч$	3	5	6	7	8	10	12	14	20	20	30	30
$D_{зад}, рад$	10	20	30	35	20	15	25	10	50	40	30	20
$k_{осл}$	1	1	1	1	2	2	2	5	2	2	2	3

*При полученном значении $\alpha > 1$ – использовать данные для $\alpha = 1$.

Задание В (табл. 11.6). Определить дозу облучения, которую получит выпускник университета при направлении его на работу в местность с уровнем первоначального загрязнения N_0 радионуклидом X , период полураспада которого $T_{1/2}$, за период работы по распределению, если время его прибытия после аварии t_1 , а время убытия t_2 ; n – число гамма-квантов, приходящихся на один распад.

Таблица 11.6 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$N_0, Ки/км$	5	10	15	20	25	30	35	1	15	20	25	20
$T_{1/2}, лет$	30	30	29	29	29	29	30	30	30	30	30	30
$t_1, лет$	10	12	14	16	18	20	20	10	14	16	18	12
$t_2, лет$	70	60	50	40	40	50	60	60	50	40	40	60
X	C_s-137	C_s-137	S_t-90	S_t-90	S_t-90	S_t-90	C_s-137	C_s-137	C_s-137	C_s-137	C_s-137	C_s-137
$E, МэВ$	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,7	0,5	0,7	1,0	1,0
$k_{осл}$	2,5	2,5	1	1,5	1	1	2,5	2,5	2	2	2	2
n	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1

Задание Г (табл. 11.7). На АЭС произошла авария с выбросом радиоактивного вещества. Определить уровень радиации в районе университета через 1 сутки, 3 суток, 5 суток после аварии, если на время t уровень радиации в районе университета составил P_t . С учетом полученных значений уровней радиации через 1 сутки, 3 суток, 5 суток после аварии, определить показатель спада уровня радиации.

Таблица 11.7 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t, ч$	1	2	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6
$P_0, рад/ч$	100	90	80	70	60	50	40	30	130	120	110	100

Контрольные вопросы:

1. Что понимается под оценкой радиационной обстановки?
2. Как определяется полученная доза излучения за период времени?
3. Что такое показатель спада уровня радиации?
4. Как определяется уровень радиации на 1 час после аварии на АЭС?
5. Как определяется полученная доза излучения за длительный период времени (годы)?

Практическая работа 12

Практические задачи радиационной безопасности

Цель работы: на примере решения практических примеров получить основные понятия по разделу радиационная безопасность.

12.1 Основные сведения

Атом состоит из положительно заряженного ядра и окружающих его электронов. В ядре сосредоточена почти вся масса атома (более 99,95 %). Размеры ядер имеют порядок 10^{-10} – 10^{-15} м, в то время как линейные размеры атомов порядка 10^{-10} м.

Ядра состоят из двух видов элементарных частиц – протонов и нейтронов. Ядро любого элемента, которое имеет определенное строение и состав, называется **нуклидом**. Нуклид обозначается символом химического элемента с указанием атомного номера и массового числа в качестве нижнего и верхнего индекса соответственно.

Ядра с одним и тем же зарядом, но с разными массовыми числами называют **изотопами**.

Нестабильные изотопы наряду с тяжелыми элементами с атомным номером выше 83 составляют многочисленное семейство нестабильных ядер нуклидов, претерпевающих радиоактивный распад и объединяемых единым понятием **радионуклидов**.

Масса протона $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, масса электрона $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг, $m_p \approx 1836m_e$. Массы нейтрона m_n и протона m_p в углеродной шкале атомных масс (а.е.м.): $m_n = 1,00865017$ а.е.м., $m_p = 1,007276470$ а.е.м. Массовые числа протона и нейтрона одинаковы и равны единице. Заряд электрона равен элементарному заряду e . Положительный заряд протона равен по абсолютному значению элементарному заряду. Заряд ядра атома, выраженный в элементарных зарядах, равен порядковому номеру Z элемента в периодической системе Д.И. Менделеева, количество электронов в атоме также равно порядковому номеру Z .

Частицы, относительно которых нет доказательств, что они являются составными, принято называть **элементарными частицами**. Помимо электрона, протона и нейтрона известны и другие элементарные частицы.

В результате радиоактивного распада нестабильным ядром испускаются различные ядерные частицы и энергия в виде фотонов. Различают радионуклиды, испускающие α - и β -частицы, такие радиоактивные превращения называют α - и β -распадами.

Альфа-распадом называется самопроизвольный распад атомного ядра на α -частицу (ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$) и ядро-продукт. Вылетающие из ядер α -частицы имеют высокую скорость порядка 10^7 м/с и кинетическую энергию в пределах 2–9 МэВ. В большинстве случаев радиоактивное вещество испускает несколько групп α -частиц близкой, но различной энергии, т. е. группы имеют спектр энергии. При α -распаде атомных ядер довольно часто часть энергии α -распада идет на возбуждения ядра-продукта. Ядро-продукт спустя короткое время после вылета α -частицы испускает один или несколько γ -квантов и переходит в нормальное состояние. Таким образом, α -распад радиоактивных ядер может сопровождаться испусканием γ -квантов.

Бета-распад объединяет три вида ядерных превращений: электронный (β^-), позитронный (β^+) распад и электронный захват, или К-захват. Первых два вида превращений состоят в том, что ядро испускает электрон и антинейтрино (при β^- -распаде) или позитрон и нейтрино (при β^+ -распаде). Электрон (позитрон) и антинейтрино (нейтрино) не существуют в атомных ядрах. Они образуются в момент вылета из ядра в результате превращения одного вида нуклона в ядре в другой – нейтрона в протон или протона в нейтрон. Электрон (позитрон) и антинейтрино (нейтрино) имеют в точности равные массы, а электрический заряд античастицы по абсолютному значению равен заряду частицы и противоположен ему по знаку.

Поскольку при β -распаде из ядра вылетают две частицы, а распределение между ними общей энергии происходит статистически, то спектр энергии электронов (позитронов) является непрерывным от нуля до максимальной величины E_{\max} , называемой верхней границей β -спектра. Для β -радиоактивных ядер величина E_{\max} заключена в области энергии от 15 кэВ до 15МэВ.

Ядра, в которых происходят превращения нейтрона в протон, называют **β -радиоактивными**. В-распад может сопровождаться гамма-излучением в тех случаях, когда часть энергии затрачивается на возбуждение ядра-продукта. Возбужденное ядро через малый промежуток времени освобождается от избытка энергии путем испускания одного или нескольких γ -квантов.

Гамма-излучением называется жёсткое электромагнитное излучение, энергия которого высвобождается при переходе ядер из возбужденного в основное или в менее возбужденное состояние, а также при ядерных реакциях. В первом случае энергия γ -квантов равна разности энергий начального и конечного уровней ядра. Эта величина имеет порядок 0,1 МэВ. Длина волны γ -лучей не превышает 10^{-11} м.

Процесс γ -излучения не является самостоятельным типом радиоактивности, так как он происходит без изменения массового и зарядового чисел ядра.

Искусственная радиоактивность – это радиоактивность ядра, которая возникает в результате ядерных реакций. В этом случае ядра испускают в основном β -частицы и γ -излучение.

Для радиоактивности установлены следующие законы:

1) радиоактивный распад не зависит от внешних условий (температуры, давления, химических взаимодействий);

2) α -частицы и γ -излучение имеют дискретные значения энергии, β -частицы – различные; β -распад сопровождается излучением нейтрино и антинейтрино;

3) изменение числа радиоактивных ядер подчиняется **закону радиоактивного распада**

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (0.1)$$

где N – число нераспавшихся радиоактивных атомов; N_0 – число атомов в начальный момент времени; t – время, прошедшее с начала распада, с; $T_{1/2}$ – период полураспада, с; λ – вероятность распада одного ядра за 1 с (постоянная распада для данного вида ядер), причем $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$, с⁻¹.

Период полураспада – период, за который активность радиоактивного вещества убывает в два раза. Распадающееся ядро называется **материнским**, а ядро продукта распада – **дочерним**.

Средним временем или средней продолжительностью жизни ядра

называется величина $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{0,693}$.

Время жизни возбужденных состояний для большинства ядер лежит в пределах от 10^{-8} до 10^{-15} с;

Период полураспада некоторых изотопов представлен в таблице 12.1

Таблица 12.1 – Период полураспада $T_{1/2}$

Изотоп	Элемент	Период полураспада	Изотоп	Элемент	Период полураспада
^{137}Cs	Цезий-137	30 лет	^{140}Ba	Барий-140	12,7 сут
^{134}Cs	Цезий-134	2,1 года	^{141}Ce	Церий-141	32,5 сут.
^{131}J	Йод-131	8 сут.	^{144}Ce	Церий-144	284 сут.
^{192}Ir	Иридий-192	75 сут.	^{89}Sr	Стронций-89	59,5 сут.
^{103}Ru	Рутений-103	39 сут.	^{90}Sr	Стронций-90	29,2 года
^{106}Ru	Рутений-106	367 сут.	^{239}Pu	Плутоний-239	24000 лет
^{99}Mo	Молибден-99	2,8 сут.	^{79}Fe	Железо-79	44,3 сут.
^{40}K	Калий-40	$1,42 \cdot 10^9$ лет	^{24}Na	Натрий-24	15,05 часа
^{238}U	Уран-238	4,5 млрд.лет	^{14}C	Углерод-14	5730 лет
^{35}S	Сера-35	89 сут.	^{32}P	Фосфор-32	14,3 сут.
^{229}Th	Торий -229	7000 лет	^{198}Au	Золото-198	64 час
^{210}Po	Полоний - 210	139 сут	^{60}Co	Кобальт-60	5,3 года

4) новые ядра, получившиеся после радиоактивного распада, занимают в периодической системе элементов другие места (**закон смещения**).

Делением ядра называется ядерная реакция распада тяжелого ядра, возбужденного захватом нейтрона, на две приблизительно равные части, называемые **осколками**.

Если каждый из нейтронов деления взаимодействует с соседними ядрами делящегося вещества и в свою очередь вызывает в них реакцию деления, причем возникает лавинообразное нарастание числа актов деления, то такая реакция называется **цепной ядерной реакцией**.

Ионизирующее излучение – излучение, взаимодействие которого со средой приводит к ионизации среды. Радиация будет ионизирующей в том случае, если она способна разрывать химические связи молекул и тем самым вызывать биологически важные изменения. Ионизирующее излучение может состоять из заряженных и незаряженных частиц.

Активность – мера радиоактивности. Представляет собой число распадов радиоактивных ядер в единицу времени:

$$A = \frac{N}{t} \quad (0.2)$$

где N – количество распадов; t – время, за которое произошло N распадов ядер, с.

В системе СИ за единицу активности принято одно ядерное превращение в секунду, которое называется беккерель (Бк). Внесистемной единицей является кюри (Ки).

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк};$$

$$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}.$$

Величина активности характеризует лишь наличие радиоактивного элемента и интенсивность испускаемого им излучения, не определяя ни тип элемента, ни тип самого излучения.

Активность радионуклида связана с числом радиоактивных атомов в источнике в данный момент времени соотношением

$$A = \lambda \cdot N = 0.693 \cdot \frac{N}{T_{1/2}}. \quad (0.3)$$

Число радиоактивных атомов N в массе радионуклида m можно определить по уравнению

$$N = N_A \cdot \frac{m}{M}, \quad (0.4)$$

где N_A – постоянная Авогадро ($6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹); M – массовое число.

Удельная активность ($A_m = [\text{Бк/кг}, \text{Ки/кг}]$) – отношение активности радионуклида, содержащегося в образце, к массе образца M :

$$A_m = \frac{A}{m}. \quad (0.5)$$

Объемная активность ($A_v = [\text{Бк/м}^3, \text{Бк/л}, \text{Ки/л}]$) – отношение активности радионуклида, содержащегося в образце, к объему образца V :

$$A_v = \frac{A}{V}. \quad (0.6)$$

Поверхностная активность ($A_s = [\text{Бк/м}^2, \text{Ки/см}^2]$) – отношение активности радионуклида, содержащегося на поверхности образца, к площади его поверхности S :

$$A_s = \frac{A}{S}. \quad (0.7)$$

Мерой воздействия любого вида ядерного излучения на вещество является **поглощенная доза излучения** D . Энергия ионизирующего излучения, поглощенная единицей массы вещества называется **поглощенной дозой**:

$$D = \frac{dE}{dM}. \quad (0.8)$$

Единица поглощенной дозы получила название грэй (Гр):

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}.$$

Используется внесистемная единица – рад:

$$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}.$$

Следует отметить, что 1 рентген экспозиционной дозы (по всему спектру γ -излучения до энергии 3 МэВ) соответствует поглощенной дозе в биологической ткани в 0,93 рад, т. е. $1 \text{ Р} \approx 0,93 \text{ рад}$.

Разные виды излучения обладают различными ионизационными свойствами, поэтому даже при одной и той же поглощенной дозе они оказывают неодинаковое поражающее действие на организм.

Эквивалентная доза H – дозиметрическая величина, введенная для оценки возможного ущерба здоровью человека от хронического воздействия ионизирующего излучения произвольного состава.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения H определяется как поглощенная доза излучения D , умноженная на средний коэффициент качества излучения для биологической ткани стандартного состава \bar{k} и на модифицирующий фактор N – произведение эмпирических коэффициентов, которое в настоящее время принимается равным единице:

$$H = D \cdot \bar{k} \cdot N = \sum_j D_j \cdot \bar{k}_j \cdot N_j, \quad (0.9)$$

где j – индекс вида излучения.

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является зиверт (Зв), внесистемной – БЭР (биологический эквивалент рада):

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ БЭР}.$$

Так как средний коэффициент качества для γ -излучения равен 1, то величина поглощенной дозы, создаваемой этим излучением в воздухе, будет соответствовать эквивалентной дозе, образующейся в биологической ткани.

Измеряемая в воздухе величина получила название полевой эквивалентной дозы γ -излучения.

Для приближенных расчетов можно считать, что $1 \text{ БЭР} = 1 \text{ Р} = 1 \text{ рад}$.

Мощность эквивалентной дозы \dot{H} – отношение приращения эквивалентной дозы за интервал времени к этому интервалу времени (Зв/ч, БЭР/ч).

Эффективная эквивалентная доза H_E – сумма средних эквивалентных доз H_T в различных органах, умноженных на соответствующие взвешивающие коэффициенты W_T :

$$H_E = \sum_T W_T \cdot H_T \quad (0.10)$$

Взвешивающие коэффициенты W_T характеризуют отношение риска облучения данного органа или ткани к суммарному риску при равномерном облучении всего тела (табл. 12.2). Они позволяют выровнять риск облучения вне зависимости от равномерности облучения тела человека.

Сумма взвешивающих коэффициентов для всего организма равна 1.

Таблица 12.2 – Взвешивающий коэффициент W_T

Взвешивающие коэффициенты	Орган или ткань							
	легкие	молочная железа	щитовидная железа	костный мозг	гонады	костная ткань	другие органы	
W_T	0,12	0,15	0,05	0,12	0,25	0,03	0,3	

12.2 Примеры решения задач

Задача. Найти постоянную радиоактивного распада, начальное количество радиоактивных ядер, количество оставшихся радиоактивных ядер, начальную и конечную активность образца, содержащего 33 г цезия-134, если время распада 13 лет, период полураспада 2,062 года.

Решение:

Найдём постоянную радиоактивного распада:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

где $T_{1/2}$ – период полураспада данного изотопа, выраженный в секундах:

$$T_{1/2} = 2,062 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 0,56 \cdot 10^8 (\text{с})$$

$$\lambda = 0,693 / (0,56 \cdot 10^8) = 123,75 \cdot 10^{-10} (\text{с}^{-1})$$

Найдём начальное число радиоактивных ядер по закону Авогадро, при условии, что все ядра образца радиоактивны:

$$N_0 = N_A \cdot \frac{m}{M} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot (33/134) = 148,25 \cdot 10^{21} (\text{ядер})$$

где N_A – число Авогадро.

Задача. Определить массу и количество атомов стронция-90, содержащегося в 0,5 л молока с объемной активностью равной 3,7 Бк/л.

Решение:

Активность препарата A и число атомов N связаны соотношением

$$A = \lambda \cdot N = 0,693 \cdot \frac{N}{T_{1/2}}$$

Количество атомов в препарате $N = N_A \cdot \frac{m}{M}$,

$$m = \frac{M \cdot N}{N_A} = \frac{M \cdot A \cdot T_{1/2}}{N_A \cdot 0,693}$$

откуда

$M = 90 \cdot 10^{-3}$ кг/моль – молярная масса вещества;

$T_{1/2} = 28,6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600$ с – период полураспада;

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – число Авогадро.

После подстановки числовых значений получим,

$$m = 359,95 \cdot 10^{-8} \text{ кг.}$$

$$N = \frac{359,95 \cdot 10^{-8}}{90 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 24,022 \cdot 10^{18} (\text{ядер})$$

Задача. Найти постоянную радиоактивного распада, начальное число радиоактивных ядер, число оставшихся радиоактивных ядер, начальную и конечную активность образца. Содержащего 1 грамм стронция -90, если время распада 40 лет, период полураспада 28,6 лет

Решение:

Найдём постоянную радиоактивного распада

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = 0,693 / (28,6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) = 7,687 \cdot 10^{-10} (\text{с}^{-1})$$

Найдём начальное число радиоактивных ядер

$$N_0 = N_A \cdot \frac{m}{M} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{1}{90} = 6,69 \cdot 10^{21} (\text{ядер})$$

Найдём число оставшихся радиоактивных ядер, используя интегральную форму основного закона радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = 6,69 \cdot e^{-7,687 \cdot 10^{-10} \cdot 40 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 2,537 \cdot 10^{21} \text{ (ядер)}$$

где N_0 – начальное число радиоактивных ядер, t – время распада в секундах.

Найдём начальную и конечную активности образца по формуле

$$A_0 = N_0 \cdot \lambda = 6,69 \cdot 10^{21} \cdot 7,687 \cdot 10^{-10} = 5,142 \cdot 10^{12} \text{ (Бк)}$$

$$A = N \cdot \lambda = 2,537 \cdot 10^{21} \cdot 7,687 \cdot 10^{-10} = 1,95 \cdot 10^{12} \text{ (Бк)}$$

Задача. При радиометрическом контроле деловой древесины, заготовленной в одном из районов Могилёвской области, было обнаружено 10-кратное превышение активности древесины по отношению к предельно допустимому её загрязнению цезием-137 и 8-кратное – стронцием-90. Определить, через какое время после проведённой дозиметрии эта древесина может быть использована для изготовления мебели, паркета и т. д.

Решение:

Известен закон радиоактивного распада: $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

Для цезия имеется 10-кратное превышение, т. е. нужно, чтобы через t лет оно снизилось до нормы, тогда через t лет:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ т. е. } e^{-\lambda \cdot t} = 0,1,$$

где постоянная радиоактивного распада $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ (**).

Период полураспада *цезия-137* составляет 30 лет, тогда

$$\lambda = \frac{\ln 2}{30} = 0,0231 \text{ год}^{-1}$$

Прологарифмируем формулу (**): $-\lambda \cdot t = \ln 0,1 = -2,3$,

тогда

$$t = \frac{-2,3}{-0,0231} = 99,6 \text{ лет}$$

Для стронция имеется 8-кратное превышение, тогда:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{8} = 0,125, \text{ т. е. } e^{-\lambda \cdot t} = 0,125$$

Период полураспада *стронцием-90* составляет 28 лет, тогда

$$\lambda = \frac{\ln 2}{28} = 0,025$$

Аналогично, прологарифмируем (**): $-\lambda \cdot t = \ln 0,125 = -2,08$, тогда

$$t = \frac{-2,08}{-0,025} = 83,2 \text{ года.}$$

Ответ: Активность стронция станет в норме через 83,2 года (можно использовать), однако активность цезия станет в норме только через 99,6 лет (можно использовать). Таким образом, древесину можно использовать для изготовления мебели и паркета через 99,6 года.

Задача. *Определить годовую поглощенную и годовую эквивалентную дозы внешнего фонового γ -излучения жителей г.п. Брагин Гомельской области в 1989 г., если считать, что они в среднем проводили 5 часов в день на открытом воздухе. Средняя мощность экспозиционной дозы в этом населенном пункте в 1989 г. примерно была равна: 280 мкР/ч, внутри зданий равна 40 мкР/ч.*

Решение:

Экспозиционная доза за 5 часов в сутки на открытом воздухе:

$$280 \text{ мкР/ч} \cdot 5 = 1400 \text{ мкР/ч}$$

$$\text{за год: } 1400 \cdot 8760 = 12264000 \text{ мкР} = 12264 \text{ мР}$$

внутри помещения:

$$40 \text{ мкР/ч} \cdot (24-5) = 760 \text{ (за 19 часов в сутки).}$$

$$\text{за год } 760 \cdot 8760 = 6657600 \text{ мкР} = 6657,6 \text{ мР}$$

сумма экспозиционной дозы

$$\text{ЭД} = 12264 + 6657,6 = 18921,6 \text{ мР}$$

Учитывая, что коэффициент дозы $K_d = 0,88 - 0,96$ (для биоткани равен 0,96, воздух – 0,88), коэффициент качества γ -излучения $K_k = 1$, рассчитаем годовые дозы:

Годовая поглощенная доза

$$\text{ПД}_\Gamma = \text{ЭД} \cdot K_d = 18921,6 \cdot 0,96 = 18164 \text{ мрад} = 181,64 \text{ мГр}$$

Годовая эквивалентная доза

$$\text{ЭД}_\Gamma = \text{ПД}_\Gamma \cdot K_k = 181,64 \cdot 1 = 181,64 \text{ мЗв}$$

Задача. *Объемная активность цезия-137 в молоке равна 40 нКи/л. Определить, сколько атомов распадается в стакане ($V = 200 \text{ см}^3$) молока за 1 ч?*

Решение:

Переведем $V = 0,2 \text{ л}$; $T_{1/2} = 3600 \text{ с}$.

Используем формулу объемной активности $A_V = \frac{A}{V}$, откуда

$$A = A_V \cdot V = 40 \cdot 0,2 = 8 \text{ нКи}, \text{ активность радионуклида}$$

$$A = 0,693 \cdot \frac{N}{T_{1/2}},$$

отсюда

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{0,693} = 1,44 \cdot A \cdot T_{1/2}$$

$$N = 1,44 \cdot 8 \cdot 10^{-12} \cdot 3600 = 43,77 \cdot 10^{-9} \text{ атомов.}$$

12.3 Выполнение работы

Решить задачи

1. Определить постоянную распада (λ) изотопа, данные в таблице 12.2

Таблица 12.2 – Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Изотоп	$^{131}_{53}J$	$^{106}_{44}Ru$	$^{40}_{19}K$	$^{137}_{35}Cs$	$^{90}_{38}Sr$	$^{239}_{94}Pu$	$^{60}_{27}Co$	$^{238}_{92}U$	$^{14}_6C$	$^{35}_{16}S$
$T_{1/2}$, сут	8,04	368	$4,67 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^4$	62	$8,9 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^6$	87,1
$T_{расп}$, сут	См. таблицу 12.1									
М, гр.	22	25	5	36	0,5	7	12	40	0,6	0,8
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Изотоп	$^{79}_{26}Fe$	$^{24}_{11}Na$	$^{32}_{15}P$	$^{229}_{90}Th$	$^{198}_{79}Au$	$^{210}_{84}Po$	$^{35}_{16}S$	$^{106}_{44}Ru$	$^{131}_{53}J$	$^{90}_{38}Sr$
$T_{1/2}$, сут	См. таблицу 12.1									
$T_{расп}$	2000	10	1500	40	120	50	2000	8	12	$1,8 \cdot 10^4$
М, гр.	18	2	1,9	0,8	15	14	2	10	18	0,2

2. Определить массу и количество атомов изотопа А, содержащегося в 0,5 л молока с объемной активностью равной X.

- а) изотоп йод-131, активность X=16,7 Бк/л.
- б) изотоп цезий-137, активность X=15,6 Бк/л,
- в) изотоп стронций-90, активность X=5,7 Бк/л

3. Найти постоянную радиоактивного распада, начальное число радиоактивных ядер, число оставшихся радиоактивных ядер, начальную и конечную активность образца, содержащего m грамм вещества (данные взять из таблицы 12.2), если время распада $T_{расп}$, период полураспада $T_{1/2}$.

4. При радиометрическом контроле деловой древесины, заготовленной в одном из районов Гомельской области, было обнаружено X-кратное превышение активности древесины по

отношению к предельно допустимому её загрязнению цезием-137 и Y-кратное – стронцием-90. Определить, через какое время после проведённой дозиметрии эта древесина может быть использована для хозяйственных целей.

а) $X=12, Y=6$

б) $X=18, Y=12$

в) $X=22, Y=14$

5. Грибы, собранные в лесу Гомельской области в августе 1999 года, имели по цезию-137 активность, равную 68 500 Бк на 1 кг сухой биомассы. По истечении какого времени удельная активность этих грибов снизится до 2 500 Бк/кг?

6. При рентгенологическом обследовании грудной клетки средняя эквивалентная доза облучения легких составила 180 мкЗв; молочной железы – 30 мкЗв; щитовидной железы – 50 мкЗв; красного костного мозга – 110 мкЗв; гонад – 10 мкЗв; поверхности костной ткани – 23 мкЗв; желудка, кишечника, печени, почек, селезенки, поджелудочной железы – по 20 мкЗв. Облучением остальных органов можно пренебречь. Определить эффективную эквивалентную дозу, полученную пациентом при обследовании.

7. Определить годовую поглощенную и годовую эквивалентную дозы внешнего фонового γ -излучения строителей, работающих на открытой площадке в Гомельской области в 1992 г., если считать, что они в среднем проводили 12 часов на площадке. Средняя мощность экспозиционной дозы в этом населенном пункте в 1992 г. примерно была равна: 280 мкР/ч, внутри зданий равна 50 мкР/ч.

8. Объемная активность цезия-137 в молоке равна 200 пКи/л. Определить, сколько атомов распадается в стакане ($V = 500 \text{ см}^3$) молока за 2 ч?

Практическая работа 13

Оценка химической обстановки на химически опасных объектах

Цель работы: изучить методику оценки химической обстановки на объектах, имеющих сильнодействующие вещества (СДЯВ), и научиться применять ее на практике.

13.1 Общие сведения

Под химической обстановкой понимают совокупность последствий химического заражения местности сильнодействующими

ядовитыми веществами (СДЯВ) или отравляющими веществами (ОВ), оказывающими влияние на деятельность объектов хозяйствования, формирований МЧС и населения.

Химическая обстановка создается в результате разлива (выброса) СДЯВ или применения химического оружия с образованием зон химического заражения и очагов химического поражения (ОХП). Оценка химической обстановки производится методом прогнозирования и по данным химической разведки.

Оценка химической обстановки включает:

- определение масштабов и характера химического заражения;
- анализ их влияния на деятельность объектов, формирований МЧС и населения;
- выбор наиболее целесообразных вариантов действий, при которых исключается поражение людей.

Исходными данными для оценки химической обстановки являются:

- тип и количество СДЯВ (ОВ);
- средства применения химического оружия и способ доставки отравляющих веществ;
- район и время выброса СДЯВ, применения химического оружия;
- степень защищенности людей;
- топологические условия (застройка местности, вид местности);
- метеоусловия (скорость и направление ветра, температура воздуха и почвы, степень вертикальной устойчивости).

Степень вертикальной устойчивости характеризует состояние приземных воздушных слоев. Существует 3 степени вертикальной устойчивости:

1. Инверсия – возникает в вечернее время за 1 час до захода солнца и разрушается в течение часа после его восхода. При инверсии нижние слои воздуха холоднее верхних, что препятствует его рассеиванию вверх и создает условия для сохранения высоких концентраций зараженного воздуха.

2. Изотермия – характеризуется стабильным равновесным состоянием воздушных масс. Она наиболее характерна для пасмурной погоды, но может возникать и в утренние и вечерние часы как переходное состояние от инверсии к конвекции (утром) и наоборот (вечером).

3. Конвекция – возникает обычно через 2 часа после восхода солнца, разрушается за 2–2,5 часа до его захода и наблюдается в наиболее ясные дни. При конвекции нижние слои воздуха нагреты сильнее, чем верхние, что способствует быстрому рассеиванию зараженного облака и уменьшению его поражающего действия.

В таблице 13.1 приведена оценка степени вертикальной устойчивости воздуха по данным прогноза погоды.

Таблица 13.1 – Степень вертикальной устойчивости атмосферы

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность
< 2	ин	из	из(ин)	из	кон(из)	из	ин	из
2–3,9	ин	из	из(ин)	из	из	из	из(ин)	из
≥ 4	из	из	из	из	из	из	из	из

1. Обозначения: **ин** – инверсия; **из** – изотермия; **кон** – конвекция, буквы в скобках – при снежном покрове.

2. Под термином «**утро**» понимается период времени в течение двух часов после восхода солнца; под термином «**вечер**» – в течение двух часов после захода солнца. Период от восхода до захода за вычетом двух утренних часов – **день**, а период от захода до восхода за вычетом двух вечерних часов – **ночь**.

3. Скорость ветра и степень вертикальной устойчивости воздуха принимается в расчетах на момент аварий.

13.2 Методика расчета

Для оценки обстановки на химически опасных объектах (ХОО) используется методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами (РД-52-04.253-90). Методика предназначена для решения задач гражданской обороны и позволяет определить только границы зоны порогового поражения.

Оценка обстановки на ХОО, имеющих СДЯВ*, проводится с целью организации защиты людей, которые могут оказаться в очаге поражения.

При оценке химической обстановки методом прогнозирования исходят из возможности возникновения наиболее неблагоприятной ситуации, т. е. принимают, что произошел одновременный разлив (выброс) всего запаса СДЯВ (емкости разрушаются полностью) на объекте при благоприятных для нерассеивания зараженного воздуха метеоусловиях (инверсия $v_g = 1$ м/с). При аварии на газо- и продуктопроводах величина выброса СДЯВ принимается равной его максимальному количеству, содержащемуся между автоматическими отсекателями.

Если произошла реальная авария на объекте, т. е. разрушение емкости, содержащей СДЯВ, то оценка производится по фактически сложившейся обстановке с учетом реального количества вытекшего

*В специальной литературе применяется также термин «аварийные химически опасные вещества» – АХОВ.

СДЯВ и метеоусловий. При этом следует иметь в виду, что СДЯВ, имеющие низкую температуру кипения ($t_{кип} < 20 \text{ }^\circ\text{C}$) (фосген, фтористый водород и т. д.), по мере их разлива сразу же испаряются, и количество ядовитых паров равно количеству вытекшего ядовитого вещества. Если СДЯВ имеют $t_{кип} > 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (сероуглерод, синильная кислота, жидкий аммиак, сжиженный хлор), то они разливаются по территории объекта и, испаряясь, заражают приземные слои воздуха.

Исходными данными для прогнозирования являются:

- общее количество СДЯВ на ХОО и данные по его размещению в ёмкостях и технологических трубопроводах;
- количество СДЯВ, выброшенных в атмосферу, и характер их разлива (в поддон, в обваловку или на грунт);
- токсические свойства СДЯВ;
- метеорологические условия (температура воздуха, скорость ветра на высоте 10 м, состояние приземного слоя воздуха);
- пороговая токсодоза $D_{пор}$, мг·мин/л, при ингаляционном воздействии на организм человека.

13.3 Выполнение работы

Определение количественных характеристик выброса

Количественные характеристики выброса СДЯВ для расчета масштабов заражения определяются по их эквивалентным значениям.

Для сжатых газов эквивалентное количество вещества определяется только по первичному облаку.

Для сжиженных СДЯВ, имеющих температуру кипения выше температуры окружающей среды, эквивалентное количество вещества определяется только по вторичному облаку.

Для СДЯВ, температура кипения которых ниже температуры окружающей среды, эквивалентное количество вещества определяется по первичному и вторичному облаку.

При прогнозировании химической обстановки принимается, что при разгерметизации емкости произошел вылив всего имеющегося в ней запаса СДЯВ. При этом площадь разлива определяется

$$S_p = \frac{G}{\rho \cdot h}, \text{ м}^2, \quad (0.1)$$

где G – масса СДЯВ, т; ρ – плотность СДЯВ, т/м³, т; h – толщина слоя СДЯВ, м.

Толщина слоя СДЯВ, разлившегося свободно по подстилающей поверхности, принимается по всей площади разлива $h = 0,05 \text{ м}$.

При проливе СДЯВ из ёмкостей, имеющих самостоятельный поддон (обваловку), толщина слоя жидкости принимается

$$h = H - 0,2, \quad (0.2)$$

где H – высота поддона (обваловки), м.

Определение эквивалентного количества вещества по первичному облаку

Эквивалентное количество СДЯВ в первичном (вторичном) облаке – это такое количество хлора, масштаб заражения которым при инверсии эквивалентен масштабу заражения при данной степени вертикальной устойчивости атмосферы количеством СДЯВ, перешедшим в первичное (вторичное) облако.

Эквивалентное количество СДЯВ по первичному облаку определяется по формуле

$$Q_{э1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0, \text{ т}, \quad (0.3)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от условий хранения СДЯВ (для сжиженных газов $K_1 < 1$; для сжатых газов $K_1 = 1$ (см. табл.13.2); K_3 – коэффициент, учитывающий токсичность СДЯВ, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого СДЯВ (см. табл. 13.2); K_5 – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха, (для инверсии – $K_5 = 1$; для изомерии – $K_5 = 0,23$; для конвекции – $K_5 = 0,08$); K_7 – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (может быть меньше единицы (при высоких температурах) и больше единицы (при низких температурах). Для сжатых газов $K_7 = 1$) (см. табл. 13.2); Q_0 – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

Для сжиженных газов, не вошедших в таблицу (табл. 13.2), значение коэффициента K_7 принимается равным 1, а значение K_1 определяется по соотношению

$$K_1 = \frac{c_p \Delta T}{L_{исп}}, \quad (0.4)$$

где c_p – удельная теплоёмкость жидкого СДЯВ, кДж/(кг·К); ΔT – разность температур жидкого СДЯВ до и после разрушения ёмкости, К; $L_{исп}$ – удельная теплота испарения, кДж/кг.

При хранении газа в сжатом виде его количество, выброшенное при аварии, определяется по формуле

$$Q_0 = \rho \cdot p \cdot V, \text{ т}, \quad (0.5)$$

где ρ – плотность СДЯВ, $т/м^3$; p – давление газа в хранилище, $атм$; V – объем хранилища (объем трубопровода от места разрыва до отсекавателя), $м^3$.

В случае если СДЯВ составляет определенную долю n от всего объема выброшенного газа, то полученное по формуле (13.5) значение Q_0 умножается на n .

Определение эквивалентного количества вещества по вторичному облаку

Эквивалентное количество вещества по вторичному облаку рассчитывается по формуле

$$Q_{э2} = (1-K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot \rho}, \text{ т}, \quad (0.6)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, зависящие от физико-химических свойств СДЯВ (см. табл. 13.2); K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра (см. табл. 13.3); K_6 – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии – τ , h – толщина слоя СДЯВ, $м$; ρ – плотность жидкой фазы СДЯВ, $т/м^3$, (см. табл. 13.2).

Коэффициент K_6 определяется исходя из условия:

$$K_6 = \begin{cases} \tau^{0,8} \text{ при } \tau < \tau_{исп} \\ \tau_{исп}^{0,8} \text{ при } \tau > \tau_{исп} \end{cases}; \text{ где } \tau_{исп} - \text{ время испарения СДЯВ, ч.}$$

Если $\tau_{исп} < 1$ ч, K_6 принимается для 1 ч.

Время испарения рассчитывается по формуле

$$\tau_{исп} = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7}, \text{ ч.} \quad (0.7)$$

При аварии на химически опасном объекте с одновременным выливом разных СДЯВ определяется суммарное эквивалентное количество СДЯВ по формуле

$$Q_э = 20 \cdot K_1 \cdot K_5 \cdot \sum_{i=1}^n (K_{2i} \cdot K_{3i} \cdot K_{6i} \cdot K_{7i} \cdot \frac{Q_i}{\rho_i}), \text{ т}, \quad (0.8)$$

где K_{2i} – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств i -го СДЯВ (см. табл. 13.2); K_{3i} – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе i -го СДЯВ; K_{6i} – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии (разрушения объекта); K_{7i} – поправка на температуру для i -го СДЯВ; Q_i – запасы i -го СДЯВ на объекте, т; ρ – плотность i -го СДЯВ, $т/м^3$.

Расчет глубины зоны заражения при аварии на химически опасном объекте

Используя значения Q_3 , полученные по формулам (13.3), (13.5), (13.6), (13.8), по таблице 13.4 определяется глубина зоны заражения для первичного Γ_1 и вторичного Γ_2 облаков в зависимости от скорости ветра v .

Если расчетное эквивалентное количество вылившегося вещества (Q_{31} или Q_{32}) не совпадает со значением в таблице 13.4, тогда проводят интерполяцию значений глубин по формуле

$$\Gamma = \Gamma_M + \frac{\Gamma_6 - \Gamma_M}{Q_{36} - Q_{3M}} \cdot (Q_{3ф} - Q_{3M}), \text{ км}, \quad (0.9)$$

где $Q_{3ф}$ – эквивалентное количество вылившегося СДЯВ по первичному (вторичному) облаку; Q_{3M} , Q_{36} – меньшее и большее табличное значение массы СДЯВ, соответственно; Γ_M , Γ_6 – меньшие и большие табличные значения глубины зоны заражения соответственно.

Полная глубина зоны заражения $\Gamma_{зар}$, обусловленная воздействием первичного и вторичного облака СДЯВ, определяется:

$$\begin{aligned} \Gamma_{зар} &= \Gamma_1 + 0,5\Gamma_2, \text{ если } \Gamma_1 > \Gamma_2 \\ &\text{или} \\ \Gamma_{зар} &= \Gamma_2 + 0,5\Gamma_1, \text{ если } \Gamma_1 < \Gamma_2. \end{aligned} \quad (0.10)$$

Полученное значение $\Gamma_{зар}$ сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс $\Gamma_{пред}$, которое определяется по формуле

$$\Gamma_{пред} = \tau \cdot u, \quad (0.11)$$

где u – скорость переноса переднего фронта заражённого воздуха при заданной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости атмосферы, км/ч (по табл. 13.5); τ – время от начала аварии, ч.

За истинную глубину зоны заражения принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений:

$$\Gamma = \min \{ \Gamma_{зар}, \Gamma_{пред} \}. \quad (0.12)$$

Таблица 13.2 – Характеристика СДЯВ и вспомогательные коэффициенты для определения глубин зон заражения

Наименование СДЯВ	Плотность		Температура кипения, °С	Пороговая токсодоза, мг-мин/л	Значения вспомогательных коэффициентов							
	Газ	Жидкость			K ₁	K ₂	K ₃	K ₇				
								- 40 °С	- 20 °С	0 °С	20 °С	40 °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Акрилонитрил	—	0,806	77,3	0,75	0,001	0,007	0,8	0,04	0,1	0,4	1	2,4
Акролеин	—	0,839	52,7	0,2*	0,001	0,013	3,0	0,1	0,2	0,4	1	2,2
Аммиак: хранение под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15,0	0,18	0,025	0,04	0,001 0,9	0,3 1	0,6 1	1 1	1,4
изотермическое хранение	—	0,681	-33,42	15,0	0,01	0,025	0,04	0,001 0,9	1 1	1 1	1 1	1,4 1
Арсин	0,0035	1,64	-62,47	0,2	0,17	0,054	3,0	0,3 1	0,5 1	0,8 1	1 1	1,2 1
Ацетонитрил	—	0,786	81,6	21,6**	0,001	0,004	0,028	0,02	0,1	0,3	1	2,6
Ацетонциангидрин	—	0,932	120,0	1,9**	0,001	0,002	0,316	0,001	0,001	0,3	1	1,5
Водород мышьяковистый	0,0086	1,64	-62,47	0,2	0,17	0,054	0,857	0,3 1	0,5 1	0,8 1	1 1	1,2 1
Водород фтористый	—	0,989	19,52	4,0	0,001	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1
Водород хлористый	0,0016	1,191	-85,10	2,0	0,28	0,037	0,30	0,64 1	0,6 1	0,8 1	1 1	1,2 1
Водород бромистый	0,0036	1,490	-66,77	2,4	0,13	0,055	6,0	0,2 1	0,5 1	0,8 1	1 1	1,2 1
Водород цианистый	—	0,687	25,7	0,2	0,001	0,026	3,0	0,001	0,001	0,4	1	1,3
Диметиламин	0,0020	0,680	6,9	1,2*	0,06	0,041	0,5	0,001 0,1	0,001 0,3	0 0,8	1 1	2,5 1
Метиламин	0,0014	0,699	-6,5	1,2*	0,13	0,034	0,5	0,001 0,3	0,001 0,7	0,5 0,1	1 1	2,5 1

Продолжение таблицы 13.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Метил бромистый	—	1,732	3,6	1,2	0,04	0,039	0,5	0,001 0,2	0,001 0,4	0,001 0,9	1 1	2,3 1
Метил хлористый	0,0023	0,983	-23,75	1,8	0,14	0,044	0,056	0 0,5	0,1 1	0,6 1	1 1	1,5 1
Метилакрилат	—	0,953	80,2	6,0*	0,001	0,005	0,025	0,1	0,2	0,4	1	3,1
Метилмеркаптан	—	0,867	5,95	1,7*	0,06	0,043	0,363	0,001 0,1	0,001 0,3	0,001 0,8	1 1	2,4 1
Нитрил акриловой кислоты	—	0,806	77,3	0,75	0,001	0,007	0,80	0,04	0,1	0,4	1	2,4
Окислы азота	—	1,491	21,0	1,5	0,001	0,040	0,40	0,001	0,001	0,4	1	1
Оксид этилена	—	0,882	10,7	2,2*	0,05	0,041	0,27	0,001 0,1	0,001 0,3	0,001 0,7	1 1	3,2 1
Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,049	0,333	0,001 0,2	0,001 0,5	0,3 1	1 1	1,7 1
Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	0,3 1	0,5 1	0,8 1	1 1	1,2 1
Серовуглерод	—	1,263	46,2	45,0	0,001	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
Соляная кислота (концентрированная)	—	1,198	—	2,0	0,001	0,021	0,30	0,001	0,1	0,3	1	1,6
Триметиламин	—	0,671	2,9	6,0*	0,07	0,047	0,1	0,001 0,1	0,001 0,4	0,001 0,9	1 1	2,2 1
Формальдегид	—	0,815	-19,0	0,6*	0,19	0,034	1,0	0 0,4	0 1	0,5 1	1 1	1,5 1
Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0,001 0,1	0,001 0,3	0,001 0,7	1 1	1 2,7
Фтор	0,0017	1,512	-188,2	0,2*	0,95	0,038	3,0	0,7 1	0,8 1	0,9 1	1 1	1,1 1
Фосфор треххлористый	—	1,570	75,3	3,0	0,001	0,010	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3

Окончание таблицы 13.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Фосфора хлороокись	—	1,675	107,2	0,6	0,001	0,003	10,0	0,05	0,1	0,3	1	2,6
Хлор	0,0032	1,553	-31,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0,001 0,9	0,3 1	0,6 1	1 1	1,4 1
Хлорпикрин	—	1,658	112,3	0,02	0,001	0,002	30,0	0,03	0,1	0,3	1	2,9
Хлорциан	0,0021	1,220	12,6	0,75	0,04	0,048	0,80	0,001	0,001	0,001	1	3,9
Этиленимин	—	0,838	55,0	4,8	0,001	0,009	0,125	0,05	0,1	0,4	1	2,2
Этиленсульфид	—	1,005	55,0	0,1*	0,001	0,013	6,0	0,05	0,1	0,4	1	2,2
Этилмеркаптан	—	0,839	35,0	2,2	0,001	0,028	0,27	0,1	0,2	0,5	1	1,7

Примечания:

1. Плотности газообразных СДЯВ в графе 3 приведены для атмосферного давления; при давлении в емкости, отличном от атмосферного, плотности газообразных СДЯВ определяются путем умножения данных графы 3 на значение давления в кгс/см².

2. В графах 9–13 в числителе значение K_7 – для первичного, в знаменателе – для вторичного облака.

3. В графе 5 численные значения токсодоз, помеченные звездочками, определены ориентировочно:

$$D = 240 \cdot K \cdot \text{ПДК}_{p.z.},$$

где $\text{ПДК}_{p.z.}$ – ПДК рабочей зоны, мг/л; $K = 5$ – для раздражающих веществ (помечены одной звездочкой), $K = 9$ – для всех прочих СДЯВ (помечены двумя звездочками).

4. Значение K_1 для изотермического хранения аммиака приведено для случая разливов (выбросов) в поддон.

Таблица 13.3 – Значение коэффициента K_4 в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_4	1,0	1,33	1,67	2,00	2,34	2,67	3,00	3,34	3,674,00	5,68

Таблица 13.4 – Глубины зон возможного заражения СДЯВ, км

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество СДЯВ															
	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	3,0	5,0	10,0	20,0	30,0	50,0	70,0	100,0	300,0	500,0	1000,0
1	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	65,23	81,91	166,0	231,0	363,0
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79	121,0	189,0
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47	84,50	130,0
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18	65,92	101,0
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	16,89	20,82	40,11	54,67	83,60
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,79	18,13	34,67	47,09	71,70
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73	41,63	63,16
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,49	56,70
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60	6,86	9,12	11,03	13,50	25,39	34,24	51,60
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31	6,50	8,50	10,23	12,54	23,49	31,61	47,53
11	0,11	0,25	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58	5,06	6,20	8,01	9,61	11,74	21,91	29,44	44,15
12	0,11	0,24	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43	4,85	5,94	7,67	9,07	11,06	20,58	27,61	41,30
13	0,10	0,23	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29	4,66	5,70	7,37	8,72	10,48	19,45	26,04	38,90
14	0,10	0,22	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17	4,49	5,50	7,10	8,40	10,04	18,46	24,69	36,81
15	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34	5,31	6,86	8,11	9,70	17,60	23,50	34,98

Примечания:

1. При скорости ветра $v > 15$ м/с размеры зон заражения принимать как при скорости ветра 15 м/с.
2. При скорости ветра $v < 1$ м/с размеры зон заражения принимать как при скорости ветра 1 м/с.

При укрупненных расчетах глубина зоны заражения может быть определена в зависимости от известных смертельных и поражающих концентраций по формуле

$$\Gamma = 54,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{G_1^2}{D^2 \cdot v_g^2 \cdot K^2}}, \text{ м}, \quad (0.13)$$

где G_1 – количество СДЯВ, кг; $D = C \cdot T$ – токсодоза, мг·мин/л; C – концентрация, мг/л; T – время воздействия СДЯВ данной концентрации, мин; v_g – скорость ветра в приземном слое, м/с (местность открытая), K – коэффициент, учитывающий вертикальную устойчивость воздуха (инверсия $K = 1$, изотермия $K = 2$, конвекция $K = 4$).

Таблица 13.5 – Скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Скорость переноса, км/ч	ИНВЕРСИЯ														
	5	10	15	21											
	ИЗОТЕРМИЯ														
	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88
	КОНВЕКЦИЯ														
	7	14	21	28											

Определение площади зоны заражения

Площади зоны возможного заражения СДЯВ по массе, обусловленные воздействием первичного, вторичного облаков или их совокупностью, определяются по формуле

$$S_M = \frac{\pi \cdot \Gamma^2 \cdot \phi}{360}, \text{ км}^2, \quad (0.14)$$

где S_M – площадь зоны заражения СДЯВ по массе; Γ – глубина зоны заражения (Γ_1 – первичного облака, Γ_2 – вторичного облака, $\Gamma_{зар}$ – полная), км; ϕ – угловой размер зоны заражения, град (определяется по табл. 13.6).

Таблица 13.6 – Скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха

Скорость ветра, м/с	<0,5	0,5–1,0	1,1–2,0	>2
ϕ , град	360°	180°	90°	45°

Площадь зоны фактического заражения СДЯВ на момент времени τ по переносу зараженного облака воздушными массами

$$S_{\phi} = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot \tau^2, \text{ км}^2, \quad (0.15)$$

где K_8 – коэффициент, зависящий от вертикальной устойчивости воздуха ($K_8 = 0,081$ – при инверсии, $K_8 = 0,133$ – при изотермии, $K_8 = 0,235$ – при конвекции); τ – время с момента начала аварии, ч.

По результатам проведенных расчетов по формулам (13.9)–(13.15), с учетом скорости приземного ветра (см. табл. 13.6), зоны заражения наносятся на карты в виде круга или сектора с радиусом, равным глубине зоны заражения.

В случае аварии на ХОО, расположенном на расстоянии R (км) от города и при условии, что $\Gamma > R$, зона заражения охватывает как город, так и загородную зону.

Площадь зоны заражения СДЯВ в городе $S_{\text{гор}}$ рассчитывается по формуле

$$S_{\text{гор}} = \frac{S_{\phi}}{\pi} \cdot \left(\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{(2 \cdot R - \Gamma)}{\Gamma} \right) \cdot \frac{S_{\phi} \cdot (2 \cdot R - \Gamma)}{1,6 \cdot \Gamma^2} \cdot \sqrt{\Gamma \cdot R - R^2}, \text{ км}^2. \quad (0.16)$$

Тогда площадь зоны заражения в загородной зоне $S_{3.3}$

$$S_{3.3} = S_{\phi} - S_{\text{гор}}, \text{ км}^2 \quad (0.17)$$

Определение времени подхода зараженного воздуха к определенному рубежу (объекту)

Время подхода зараженного воздуха к определенному рубежу определяется по формуле

$$t_{\text{подх}} = \frac{R}{v_{\text{cp}} \cdot 60}, \text{ мин}, \quad (0.18)$$

где R – расстояния от места разлива СДЯВ до данного рубежа или объекта, км; v_{cp} – средняя скорость, которая равна скорости переноса воздушных масс v_n (см. табл. 13.6).

Средняя скорость может быть также определена:

$$\begin{aligned} &\text{при инверсии} - v_{\text{cp}} = (2; 2,2)v; \\ &\text{при изотермии} - v_{\text{cp}} = (1,5; 2)v; \\ &\text{при конвекции} - v_{\text{cp}} = (1,5; 1,8)v, \end{aligned} \quad (0.19)$$

где первая цифра в скобках – поправочный коэффициент, принимаемый при $R < 10$ км; вторая цифра в скобках – поправочный коэффициент, принимаемый при $R > 10$ км; v – скорость ветра в приземном слое, м/с.

Определение времени поражающего действия СДЯВ

Время поражающего действия СДЯВ t_{nop} в очаге химического поражения определяется временем испарения СДЯВ с поверхности его выброса. Время минимального испарения жидкости $t_{исп}$ определяется как частное от деления массы жидкости в резервуаре G_1 на скорость испарения $C_{исп}$

$$t_{nop} = t_{исп} = \frac{G_1}{C_{исп}}. \quad (0.20)$$

Скорость испарения, т. е. количество испарившейся жидкости в единицу времени, может быть найдена по формуле

$$C_{исп} = 12,5 \cdot S \cdot P_s \cdot (5,38 + 4,1v) \cdot \sqrt{M} \cdot 10^{-8}, \text{ т/мин}, \quad (0.21)$$

где S – площадь разлива, m^2 ; P_s – давление насыщенных паров, kPa ; M – молекулярная масса жидкости, $kg/kmol$; v – скорость ветра, m/c .

Результаты расчетов скорости и времени испарения по формулам (13.20, 13.21) для некоторых СДЯВ представлены в таблице 13.7. Таким образом, используя таблицу 13.7, можно найти время поражающего действия с учетом поправочного коэффициента, учитывающего скорость ветра

$$T_{nop} = t_{исп} \cdot K_v. \quad (0.22)$$

Таблица 13.7 – Время испарения некоторых СДЯВ, ч (скорость ветра – 1 м/с)

Наименование СДЯВ	Вид хранилища	
	не обвалованное	обвалованное
Хлор	1,3	22
Фосген	1,4	23
Аммиак	1,2	20
Сернистый ангидрид	1,3	20
Сероводород	1,0	19

Примечание. При скорости ветра более 1 м/с в расчеты вводится поправочный коэффициент K_v

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6
K_v	1	0,7	0,55	0,43	0,37	0,32

Определение возможных потерь людей в очаге химического поражения

Потери рабочих и служащих и проживающего вблизи от объектов, имеющих СДЯВ, населения, а также личного состава формирований МЧС будут зависеть от численности людей, оказавшихся на площади

очага, степени их защищенности и своевременного использования ими средств индивидуальной защиты. Количество рабочих и служащих, оказавшихся в очаге поражения, подсчитывается по их наличию на территории объекта, по зданиям, цехам, участкам, а количество населения – по кварталам города. Возможные потери людей в очаге химического поражения определяются по таблице 13.8 с учетом примечаний.

Таблица 13.8 – Возможные потери людей от СДЯВ в очаге поражения, %

Условия расположения людей	Обеспечение противогазами, %									
	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100
На открытой местности	90–100	75	65	58	50	40	35	25	19	10
В простейших укрытиях	50	40	35	30	27	22	18	14	9	4

Примечание. Ориентировочная структура потерь людей в очаге поражения, %: поражения легкой степени – 25; средней и тяжелой степени – 40; со смертельным исходом – 35.

Задание А (табл. 13.9). В промышленной зоне города разрушилась ёмкость, содержащая G тонн жидкого СДЯВ под давлением (A – аммиак, X – хлор; $Cв$ – сероводород; Φm – фтор). Емкость имеет высоту обвалования B . Определить глубину заражения СДЯВ в случае разрушения объекта, если скорость ветра в приземном слое – v , температура воздуха – T , степень вертикальной устойчивости – I (Ин – инверсия; Из – изотермия; К – конвекция).

Таблица 13.9 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СДЯВ	A	A	A	A	X	X	X	$Cв$	$Cв$	Φm	Φm	X
G , т	250	300	350	500	550	600	650	650	700	700	750	800
B , м	1,5	1,2	1,0	2,0	–	1,5	2,0	1,0	–	1,5	1,2	1,0
T , °C	10	–10	25	0	5	–12	20	25	–15	0	5	–10
I	Ин	Ин	Из	Из	Ин	Из	Ин	Из	Ин	Из	Ин	Из
v , м/с	2,0	2,5	3,0	1,5	1,0	2,0	3,0	1,5	2,2	3,0	1,3	2,0

Задание Б (табл. 13.10). В результате аварии на промышленном объекте образовалась зона заражения СДЯВ глубиной L , после аварии прошло t часов. Определить площадь зоны заражения по массе (S_m) и фактическую (S_ϕ), если скорость ветра в приземном слое – v , степень вертикальной устойчивости – I . Определить время подхода зараженного воздуха к университету, расположенному в R километрах с подветренной стороны от промышленной зоны.

Таблица 13.10 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$G, км$	3	5	9	11	15	20	4	6	8	10	12	16
$t, ч$	2	3	3	4	4	5	2	2	2	4	3	3
$v, м/с$	1,0	2,0	2,5	3,5	5,0	4,5	3,0	2,5	1,5	1,0	1,3	2,0
I	Ин	Из	К	Ин	Из	К	Ин	Из	К	Ин	Из	К
$R, км$	6	8	12	14	13	11	9	7	9	10,5	11	12

Примечание. Ин – инверсия; Из – изотермия; К – конвекция.

Задание В (табл. 13.11). В промышленной зоне произошла авария с выбросом СДЯВ. Определить время поражающего действия СДЯВ (A – аммиак; X – хлор; Ca – сернистый ангидрид; $Cв$ – сероводород; Φ – фосген).

Таблица 13.11 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СДЯВ	A	X	Ca	X	$Cв$	A	X	Φ	X	A	X	A
Ёмк. обв.	нет	нет	да	нет	нет	нет	да	да	да	да	нет	нет
$v, м/с$	2	3	4	5	6	4	4	3	2	3	4	3

Задание Г (табл. 13.12). Определить возможные потери студентов факультета (N – число студентов), находящихся в M (A – аудитория; $Об$ – общежитие; $П$ – площадь (улица), если они обеспечены противогазами на X % и оказались в очаге химического поражения в результате аварии на химически опасном объекте, содержащем СДЯВ.

Таблица 13.12 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	300	400	500	600	200	150	100	50	300	400	500	500
M	A	A	$Об$	$П$	$П$	$Об$	$Об$	$Об$	$П$	$П$	$П$	$П$
$X, \%$	90	80	70	60	50	40	30	20	30	40	50	60

Контрольные вопросы к практической работе:

1. Что включает оценка химической обстановки?
2. Какие степени вертикальной устойчивости атмосферы вы знаете?
3. Как определяются количественные характеристики выброса СДЯВ?
4. Что такое эквивалентное количество СДЯВ?
5. Как определяется глубина и площадь зоны заражения СДЯВ?
6. Как определяется время поражающего действия СДЯВ?

Практическая работа 14

Оценка пожарной обстановки

Цель работы: изучить методику оценки пожарной обстановки.

14.1 Общие сведения

Безопасность людей при пожарах и взрывах, а также сокращение возможного ущерба от них достигается обеспечением пожарной безопасности производственных объектов и взрывобезопасности производственных процессов.

Под *пожарной безопасностью* подразумевается такое состояние объекта, при котором с большой вероятностью предотвращается возможность возникновения пожара, а в случае его возникновения обеспечивается эффективная защита людей от опасных и вредных факторов пожара и спасение материальных ценностей.

Под *взрывобезопасностью* подразумевается такое состояние производственного процесса, при котором с большой вероятностью исключается возможность взрыва или в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей вызываемых им опасных и вредных факторов и обеспечивается сохранение материальных ценностей.

Пожарная безопасность производственных объектов и взрывобезопасность производственных процессов обеспечиваются разработкой и осуществлением систем предотвращения пожаров и взрывов и систем пожарной защиты и взрывозащиты. Система предотвращения пожара должна разрабатываться по каждому объекту из расчета, что нормативная вероятность возникновения пожара и взрыва принимается равной не более 10^{-6} в год в расчете на отдельный пожароопасный элемент данного объекта. Нормативная вероятность воздействия опасных факторов взрыва на людей в течение года также не должна превышать 10^{-6} на человека. Оценка пожарной обстановки производится на основе данных прогноза и пожарной разведки.

Исходные данные для прогнозирования пожарной обстановки

Под пожарной обстановкой понимается совокупность последствий стихийных бедствий, аварий (катастроф), первичных и вторичных поражающих факторов ядерного оружия, других современных средств поражения и прежде всего зажигательных средств, в результате которых возникают пожары, оказывающие влияние на устойчивость работы объектов хозяйства и жизнедеятельность населения.

Оценка пожарной обстановки включает:

– определение масштаба и характера (вида) пожара (отдельные очаги, сплошные пожары, пожары в завалах, низовые, верховые, подземные, полевые); скорость и направление пожара; площади зон задымления и время сохранения дыма и др.;

– анализ влияния пожара на устойчивость работы отдельных элементов и объекта в целом, а также на жизнедеятельность населения;

– выводы об устойчивости отдельных элементов и объекта в целом к возгоранию и рекомендации по ее повышению, предположения по выбору наиболее целесообразных действий формирований МЧС по локализации и тушению пожара, эвакуации при необходимости рабочих и служащих, населения и материальных ценностей из зоны (очага) пожара.

Классы взрывоопасных зон

Взрывоопасная зона – помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в которой имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси.

Классы взрывоопасных зон определяются как нормативно, согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) (табл. 14.1), так и аналитически.

Таблица 14.1 – Взрывоопасные зоны

Класс зоны	Характеристика
В–I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы
В–Iа	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а их образование возможно только в результате аварий или неисправностей
В–Iб	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а их образование возможно только в результате аварий или неисправностей и которые отличаются одной из следующих особенностей: – горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1005; – помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, имеют взрывоопасную зону только в верхней части помещения;

	– зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, и в которых работа с горючими газами и ЛВЖ производится без применения открытого пламени
В–Iг	Пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ, надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.
В–II	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы
В–IIа	Зоны, расположенные в помещениях, где взрывоопасные смеси пылей с воздухом возможны только в результате аварий или неисправностей

Аналитическое обоснование классов взрывоопасных зон

Некоторым группам взрывоопасных помещений аналогичного назначения, но отличающихся технологией производства, присвоение определенных классов не представляется возможным. В таких случаях классы взрывоопасности устанавливаются расчетным путем.

В помещениях, опасных в связи с взрывом газопаровоздушных смесей, классификация помещений расчетным путем основана на учете физико-химических свойств, количества выделяющихся горючих веществ и объемов помещений. В качестве условия для расчета принимают аварийную ситуацию, связанную с повреждением оборудования или нарушением технологического процесса. Класс взрывоопасной зоны зависит от относительного объема взрывоопасной смеси (по сравнению со свободным объемом помещения). Если при нормальном технологическом процессе относительный объем взрывоопасной смеси получается более 5 % (от свободного объема помещения), класс зоны – В–I.

Если время образования взрывоопасной смеси менее 1 ч, взрывоопасной зоной считается зона в пределах до 5 м (по горизонтали и вертикали) от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих паров. Однако при аварийном состоянии технологического оборудования при том же относительном объеме взрывоопасной смеси зона класса будет В–Iа.

Относительный объем взрывоопасной смеси (B) определяют по формуле

$$B = \frac{V_{расч.взр.см.}}{V_{св}} \cdot 100\% \quad (0.1)$$

где $V_{расч.взр.см.}$ – расчетный объем взрывоопасной смеси, $м^3$;
 $V_{св}$ – свободный объем помещения, $м^3$.

Расчетный объем взрывоопасной смеси, в котором может образоваться взрывоопасная концентрация, определяется по формуле

$$V_{\text{расч.взр.см.}} = 1,5 \frac{m}{C_{\text{ниж}}} \quad (0.2)$$

где $C_{\text{ниж}}$ – нижний концентрационный предел воспламенения вещества, г/м³; m – количество поступающих в помещение веществ, г.

14.2 Методика расчета

Расчет категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

Основой для проведения расчетов служат Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь (НПБ 5-2005) «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности». При расчетах используются таблицы 14.2 и 14.3, приведенные в СНБ 2.02.01-98 (Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов).

Методика расчета включает следующие этапы:

1. Изучение характеристики помещения, технологического процесса производства, запроектированных технических средств противопожарной защиты.

2. Выбор расчетного варианта разгерметизации технологического оборудования.

3. Сбор и подготовка исходных данных для расчета.

4. Расчет количественных параметров взрывопожароопасности аварийной ситуации, массы взрывопожароопасных веществ, поступивших в помещение при разгерметизации технологического оборудования, избыточного давления взрыва.

5. Проверка принадлежности помещения от высшей категории к низшей.

При расчёте значений критериев взрывопожарной опасности в качестве расчётного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором во взрыве участвует наибольшее количество веществ или материалов, наиболее опасных в отношении последствий взрыва.

Количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовать взрывоопасные газоздушные или паровоздушные смеси, определяется исходя из следующих предпосылок:

- а) происходит расчётная авария одного из аппаратов;
- б) всё содержимое аппарата поступает в помещение.

Таблица 14.2 – Степень и предел огнестойкости зданий и строительных конструкций

Степень огнестойкости здания	Предел огнестойкости и класс пожарной опасности строительных конструкций							
	Несущие элементы здания	Самонесущие стены	Наружные ненесущие стены	Перекрытия междуэтажные (в т. ч. чердачные и над подвалами)	Элементы бесчердачных покрытий		Лестничные клетки	
					Настилы, в т. ч. с утеплителем	Фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	Марши и площадки лестниц
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	R 120-КО	RE 90-КО	E 60-КО	REI 90-КО	RE 30-КО	R 30-КО	REI 120-КО	R 60-КО
II	R 120-КО	RE 75-КО	E 30-КО	REI 60-КО	RE 30-КО	R 30-КО	REI 120-КО	R 60-КО
III	R 90-КО	RE 60-КО	E 30-КО	REI 60-КО	RE 30-КО	R 30-КО	REI 105-КО	R 45-КО
IV	R 60-КО	RE 45-КО	E 30-K1	REI 45-КО	RE 15-K1	R 15-K1	REI 90-КО	R 45-КО
V	R 45-K1	RE 30-K1	E15-K2	REI 45-K1	RE 15-K1	R 15-K1	REI 60-КО	R 45-КО
VI	R 30-K2	RE 15-K2	E15-K2	REI 30-K2	RE15-K2	R15-K2	REI 45-КО	R 30-K1
VII	R 30-K2	RE 15-K2	E15-K2	REI 30-K2	RE15-K2	R15-K2	REI 45-КО	R 30-K1
VIII	R 15-K3	RE 15-K3	E 15-K3	REI 15-K3	RE 10-K3	R 10-K3	REI 30-K1	R 15-K2
VIII	H.H.-K3	H.H.-K3	H.H.-K3	H.H.-K3	H.H.-K3	H.H.-K3	H.H.-K1	H.H.-K2

Примечания:

1. К несущим элементам здания относятся: несущие стены; колонны; балки перекрытий; ригели; фермы; элементы арок и рам; диафрагмы жесткости, а также другие конструкции (за исключением самонесущих стен) и связи, обеспечивающие общую устойчивость и геометрическую неизменяемость здания. Предел огнестойкости несущих наружных и внутренних несущих стен определяется по критическим состояниям в соответствии с ГОСТ 30247.1.

2. В зданиях всех степеней огнестойкости требования по пределам огнестойкости внутренних ненесущих стен и перегородок (за исключением самонесущих) заполнений проемов в строительных конструкциях (дверей, ворот, окон, люков, а также фонарей) не предъявляются, за исключением специально оговоренных случаев.

Таблица 14.3 – Категория помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
1	2
Взрывопожароопасная	<p>Горючие газы (ГГ), легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.</p> <p>Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа</p>

Окончание таблицы 14.3

Б Взрывопо- жароопас- ная	Горючие пыли или волокна, ЛВЖ с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости (ГЖ) в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1–В4 Пожаро- опасные	ГЖ и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б
Г1	Процессы, связанные со сжиганием в качестве топлива ГГ и ЛВЖ
Г2	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени. Процессы, связанные со сжиганием в качестве топлива ГЖ, а также твердых горючих веществ и материалов
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Примечание. Допускается относить к категории Д помещения, в которых находятся на рабочих местах отдельные предметы мебели.

в) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат по прямому и обратному потоку в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов*;

г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости, и площадь испарения при разливе на пол определяется (при отсутствии справочных данных) исходя из расчёта, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м, а остальных жидкостей – на 1 м² пола помещения;

д) происходит испарение жидкости из ёмкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, или со свежоокрашенных поверхностей;

е) длительность испарения жидкости принимается равной времени её полного испарения, но не более 3600 с.

Количество пыли, которое может образовать взрывоопасную смесь, определяется из следующих предпосылок:

– расчетной аварии предшествовало пылевыведение в

*Расчётное время отключения трубопроводов определяется в каждом конкретном случае. Расчётное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

– времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики в соответствии с нормативными документами не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование её элементов (но не более 3 с);

– 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование её элементов;

– 300 с при ручном отключении.

производственном помещении, происходящее в условиях нормального режима работы (например, вследствие пылевыведения из негерметичного производственного оборудования);

– в момент расчетной аварии произошла плановая (ремонтные работы) или внезапная разгерметизация одного из технологических аппаратов, за которой последовал аварийный выброс в помещение всей находившейся в аппарате пыли.

Свободный объем помещения определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием. Если свободный объем помещения определить невозможно, то его допускается принимать условно равным 80 % геометрического объема помещения.

14.3 Выполнение работы

Применение легковоспламеняющихся жидкостей

Алгоритм расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности с применением ЛВЖ:

1. Определяется стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ:

$$C_{стх} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \% \quad (0.3)$$

где $\beta = n_c + \frac{n_h - n_x}{4} - \frac{n_o}{2}$ – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения; n_c, n_h, n_o, n_x – число атомов *C, H, O* и галоидов в молекуле углеводородного горючего (при отсутствии данных принимать $n_x = 0$).

2. Определяется общая масса паров ЛВЖ, вышедших в помещение при расчетной аварии:

$$m = m_p + m_{емк} + m_{св.окр}, \text{ кг}, \quad (0.4)$$

где m_p – масса ЛВЖ, испарившейся с поверхности разлива, кг; $m_{емк}$ – масса жидкости, испарившейся с поверхности открытых емкостей, кг; в случае отсутствия $m_{емк} = 0$; $m_{св.окр}$ – масса жидкости, испарившейся со свежеекрашенных изделий, кг; в случае отсутствия $m_{св.окр} = 0$.

Общая масса ЛВЖ, вышедшей в помещение при аварии, определяется по формуле

$$m = m_{p1} + m_{p2}, \text{ кг}, \quad (0.5)$$

где m_{p1} – масса ЛВЖ, вышедшей из бака в помещение при аварии, кг; m_{p2} – масса ЛВЖ, вышедшей в помещение при аварии до отключения

питающего трубопровода, кг.

Масса ЛВЖ, вышедшая из бака в помещение при аварии:

$$m_{p1} = \kappa_b \cdot V_b \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (0.6)$$

где κ_b – коэффициент заполнения бака; V_b – объем бака, м^3 ; ρ – плотность ЛВЖ, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Масса ЛВЖ, вышедшая в помещение до отключения питающего трубопровода:

$$m_{p2} = (q \tau_{откл} + 0,785 d^2 l) \cdot \rho, \quad (0.7)$$

где q – производительность насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; $\tau_{откл}$ – расчетное время отключения насоса, с ; $\frac{\pi d^2}{4} = 0,785 d^2$ – площадь сечения питающего трубопровода, м^2 ; l – длина питающего трубопровода, м ; ρ – плотность ЛВЖ, $\text{кг}/\text{м}^3$.

3. Определяется площадь испарения при разливе ЛВЖ на пол исходя из условия, что 1 л ЛВЖ разливается на площади 1 м^2 , т. е. толщина пленки $\delta = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$:

$$F_{исп} = \frac{m_p}{\rho \cdot \delta}, \text{ м}^2. \quad (0.8)$$

4. Определяется интенсивность испарения:

$$W_u = 10^{-6} \cdot \eta \sqrt{M} \cdot p_{н.н.}, \quad (0.9)$$

где η – коэффициент испарения, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностями помещения (см. табл. 12.4); M – молекулярная масса ЛВЖ; $p_{н.н.}$ – давление насыщенных паров, кПа .

5. Расчетное время испарения $T_{исп}$ при определении массы паров ЛВЖ, поступивших в помещение, принимается равным времени полного испарения жидкости с рассматриваемой поверхности, но не более 3600 с, по формуле

$$T_{исп} = \frac{m_{жс}}{W \cdot F_{исп}} \leq 3600 \quad (0.10)$$

Определяется масса паров, образующихся в помещении и могущих участвовать во взрыве:

$$m_{исп} = W \cdot T_{исп} \cdot (F_{исп1} + F_{исп2}), \quad (0.11)$$

где $F_{исн2}$ – площадь дополнительных источников испарения, m^2 (при отсутствии дополнительных источников $F_{исн2}=0$).

Таблица 14.4 – Значение коэффициента испарения η

Скорость воздушного потока в помещении m/c	Температура воздуха в помещении, $^{\circ}C$				
	10	15	20	30	35
0	1	1	1	1	1
0,1	3,0	2,6	3,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,3	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
0,5	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

6. В процессе испарения часть паров ЛВЖ удаляется из помещения под действием аварийной вентиляции. Массу паров жидкости, которая остается в помещении, определяют по формуле

$$m_{исп.расч} = \frac{m_{исп}}{\frac{A \cdot T_{исп}}{3600} + 1}. \quad (0.12)$$

Работа аварийной вентиляции учитывается, если она обеспечена резервными вентиляторами с автоматическим пуском при превышении предельно допустимой взрывобезопасной концентрации и электроснабжением по I категории надежности (ПУЭ), при условии расположения устройств для удаления воздуха из помещения в непосредственной близости от места возможной аварии.

7. Окончанием расчета является определение избыточного давления взрыва Δp по формуле

$$\Delta p = (p_{max} - p_0) \cdot \frac{mz}{V_{св} \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}, \text{ кПа}, \quad (0.13)$$

где p_{max} – максимальное давление взрыва, принимается $p_{max} = 900 \text{ кПа}$; p_0 – начальное давление, принимается $p_0 = 101 \text{ кПа}$; m – масса паров ЛВЖ, вышедших в помещение при расчетной аварии, кг (по формуле 14.12); z – коэффициент участия горючего во взрыве, определяется по таблице 14.5, принимается $z = 0,3$; V – объем помещения, m^3 ; $V_{св} = 0,8V$ – свободный объем помещения, m^3 ; ρ_n – плотность пара при расчетной температуре, $кг/м^3$; $C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ (см. формулу 14.3); K_n – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем $K_n = 3$.

Таблица 14.5 – Значение коэффициента участия горючего во взрыве (z)

Вид горючего вещества	Значение z
Водород	1,0
Горючие газы (кроме водорода)	0,5
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые до температуры вспышки и выше	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при отсутствии возможности образования аэрозоля	0

В заключение, на основании расчетов определяется категория рассматриваемого помещения (согласно таблице 14.3) и класса взрывоопасной зоны.

Применение горючих газов

Алгоритм расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности с применением горючих газов:

1. Масса газа (m_0), вышедшего в помещение при расчетной аварии:

$$m_0 = (V_a + V_T) \cdot \rho_z, \text{ кг}, \quad (0.14)$$

где V_a – объем газа, вышедшего из аппарата, м^3 ; V_T – объем газа, вышедшего из трубопроводов, м^3 ; ρ – плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Объем газа, вышедшего из аппарата, определяется по формуле

$$V_a = 0,01 \cdot p_1 \cdot V_6, \text{ м}^3, \quad (0.15)$$

где V_6 – объем баллона, м^3 ; p_1 – давление газа в баллоне, кПа .

Общий объем газа, вышедшего из подводящего и отводящего трубопроводов, определяется по формуле

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \text{ м}^3, \quad (0.16)$$

где V_{1T} – объем газа, вышедшего из подводящего трубопровода до его отключения; V_{2T} – объем газа, вышедшего из подводящего и отводящего трубопровода после отключения компрессора.

Объем газа, вышедшего из подводящего трубопровода до его отключения, определяется по формуле

$$V_{1T} = q \cdot \tau_{откл}, \text{ м}^3, \quad (0.17)$$

где q – расход газа (производительность компрессора), $м^3/с$; $\tau_{откл}$ – время отключения компрессора, $с$.

Объем газа, вышедшего из подводящего и отводящего трубопровода после отключения компрессора, определяется по формуле

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot p_2 \cdot (r_1^2 l_0 + r_2^2 l_n), \text{ м}^3, \quad (0.18)$$

где p_2 – максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, $кПа$ (допускается принимать $p_1 = p_2$); r_1 и r_2 – внутренний радиус трубопроводов, $м$; l_0 и l_n – длина отводящего и подводящего трубопроводов, $м$.

2. Расчетная масса газа, вышедшего в объем помещения с учетом работы аварийной вентиляции, определяется по формуле (14.12), принять $T = 60 с$:

$$m_p = \frac{m_0}{\frac{A \cdot T}{3600} + 1}, \text{ кг}. \quad (0.19)$$

3. По формуле (14.3) определяется стехиометрическая концентрация газа:

$$C_{стх} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad \%. \quad (0.20)$$

4. Окончанием расчета является определение избыточного давления взрыва Δp по формуле (14.13)

$$\Delta p = (p_{max} - p_0) \cdot \frac{mz}{V_{св} \rho_z} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}, \text{ кПа}, \quad (0.21)$$

где $p_{max} = 900 \text{ кПа}$ – максимальное давление взрыва; $p_0 = 101 \text{ кПа}$ – начальное давление (равно $p_{атм}$); m – расчетная масса газа, $кг$; $z = 0,5$ – коэффициент участия горючего во взрыве, определяется по таблице 14.5; $V_{св} = 0,8V$ – свободный объем помещения, $м^3$; ρ_z – плотность газа по воздуху (относительная плотность); $C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация газа; K_n – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем $K_n = 3$.

В заключение, на основании расчетов избыточного давления, возможного при аварийной ситуации, определяется категория рассматриваемого помещения, в котором в технологическом процессе используется горючий газ (согласно таблице 14.3).

Помещения с образованием в них взрывоопасных пылей

Алгоритм расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности при образовании в них взрывоопасных пылей:

1. Масса пыли, выделяющейся за τ часов работы j -го оборудования при обработке поверхностей:

$$M_j = V_{др} \cdot \rho_{др} \cdot \tau, \text{ кг}, \quad (0.22)$$

где $V_{др} = S \cdot \delta$ – объем древесины, переходящей в пыль, м^3 (S – площадь обрабатываемой поверхности, м^2 , δ – толщина снимаемого слоя, м); $\rho_{др}$ – плотность древесины, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ – период работы, ч .

2. Расчетная масса взвешенной пыли, образовавшейся в результате аварийной ситуации, определяется по формуле

$$m = m_{взв} + m_{ав}, \text{ кг}, \quad (0.23)$$

где $m_{взв}$ – расчетная масса взвихрившейся пыли, кг ; $m_{ав}$ – расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг .

3. Расчетная масса взвихрившейся пыли определяется по формуле

$$m_{взв} = k_{вз} \cdot m_n, \text{ кг}, \quad (0.24)$$

где $k_{вз}$ – доля отложенной в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации; m_n – масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии, кг .

Масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии определяется по формуле

$$m_n = \frac{K_\Gamma}{K_y} \cdot (m_1 + m_2), \quad (0.25)$$

где K_Γ – доля горючей пыли в общей массе отложившейся пыли (принять $K_\Gamma = 1$); m_1 – масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между текущими уборками, кг ; m_2 – масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между генеральными уборками, кг ; K_y – коэффициент эффективности пылеуборки (при ручной сухой уборке принимают $K_y = 0,6$).

Массу пыли, оседающей на различных поверхностях в помещении за междууборочный период, определяют по формуле

$$m_i = M_i (1 - \alpha) \cdot \beta_i, \quad (0.26)$$

где $i = 1$ – период времени между текущими уборками, кг ; 2 – период времени между генеральными уборками, кг ; M_{j1} – масса пыли,

выделяющаяся в объем помещения за период времени τ_1 – между текущими пылеуборками, q ; M_{j2} – масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени τ_2 – между генеральными уборками, q ; α – доля выделяющейся в объем помещения пыли, которая удаляется вытяжными вентиляторами; β_1 и β_2 – доля выделяющейся в объем помещения пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях ($\beta_1 + \beta_2 = 1$). При отсутствии сведений о величине коэффициентов β_1 и β_2 допускается принимать $\beta_1 = 1$ и $\beta_2 = 0$.

4. Расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварии, определяется по формуле

$$m_{ав} = (m_{ан} + q \cdot T) \cdot K_n, \quad (0.27)$$

где $m_{ан}$ – масса горючей пыли, выбрасываемой в помещение из аппарата; q – производительность поступления пыли в станок до момента его отключения (принять $q = 0 \text{ кг/с}$); T – время отключения станка, $с$; K_n – коэффициент пыления, представляющий отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей массе пыли, поступившей из аппарата в помещение.

В отсутствие экспериментальных сведений о величине K_n полагать:

- для пылей с дисперсностью 350 мкм и более – $K_n = 0,5$;
- для пылей с дисперсностью менее 350 мкм – $K_n = 1$.

Масса горючей пыли, выбрасываемой в помещение из аппарата, определяется по формуле

$$m_{ан} = \frac{M_j}{n_{см} \cdot 3600} \cdot (1 - \alpha), \quad (0.28)$$

где M_j – масса пыли, выделяющейся за 1ч работы j -го оборудования, определяется по формуле (14.19); $n_{см}$ – количество станков; $(1 - \alpha)$ – доля пыли, не улавливаемая вентиляцией.

5. Окончанием расчета является определение избыточного давления взрыва Δp для пыли по формуле

$$\Delta p = \frac{m \cdot H_T \cdot p_0 \cdot z}{V_{св} \cdot \rho_в \cdot c_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_n} \quad (0.29)$$

где m – масса пыли, участвующая во взрыве (по формуле 14.20), кг ; H_T – теплота сгорания, Дж/кг ; $p_0 = 101 \text{ кПа}$ – начальное давление (равно $p_{атм}$); z – коэффициент участия горючей пыли во взрыве; $z = 0,5$ – коэффициент участия горючей пыли во взрыве, определяется по таблице 14.5; $V_{св} = 0,8V$ – свободный объем помещения, м^3 ; $\rho_в = 1,205 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха до взрыва при $t_{возд} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $c_p = 1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ – теплоемкость воздуха; $T_0 = t \text{ }^\circ\text{C} + 273$ – начальная температура воздуха, K ; K_n – коэффициент, учитывающий

негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принять $K_n = 3$.

В заключение, на основании расчетов избыточного давления, возможного при аварийной ситуации, определяется категория рассматриваемого помещения, в котором в технологическом процессе обращается взрывопожароопасная древесная пыль (согласно табл. 14.3).

Задание А (табл. 14.6). *Определение категории помещения, использующего ЛВЖ, по взрывопожарной и пожарной опасности.*

Расчитать категорию производственного помещения (размеры $l \times b \times h$), использующего в своем технологическом процессе ЛВЖ по взрывопожарной и пожарной опасности, если коэффициент свободного объема помещения $K_{св} = 0,8$, кратность аварийной вентиляции $A = 10ч^{-1}$, температура воздуха – $t_в$. ЛВЖ имеет следующие характеристики: температура вспышки – $t_{всп}$, молекулярная масса – M , давление насыщенных паров – $p_{нт}$, плотность жидкости – $\rho_{жс}$, плотность пара при расчетной температуре – ρ_n . Характеристики технологического процесса: объем аппарата – $V_{ап}$. Степень заполнения – $\kappa_б$, температура жидкости в аппарате – $t_{жс}$, избыточное давление в аппарате $p_p = 0$, подача насоса – q , питающий трубопровод имеет длину $l_0 = 10$ м, диаметр $d_0 = 20$ мм, время отключения насоса (закрытия задвижек) ручное – $\tau_{откл} = 300$ с. При расчетах принять: начальное давление $p_0 = p_{атм} = 101$ кПа, максимальное давление взрыва $p_{max} = 900$ кПа, $\eta = 1$ ($v_{возд} = 0$ м/с).

Таблица 14.6 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЛВЖ	Ацетон C_3H_6O	Ацетон C_3H_6O	Ацетон C_3H_6O	Бензол C_6H_6	Бензол C_6H_6	Бензол C_6H_6	Гексан C_6H_{14}	Гексан C_6H_{14}	Гексан C_6H_{14}	Ацетон C_3H_6O
$l \times b \times h, м$	$20 \times 20 \times 3$	$10 \times 20 \times 5$	$40 \times 20 \times 3$	$20 \times 20 \times 3$	$10 \times 20 \times 5$	$40 \times 20 \times 3$	$20 \times 20 \times 3$	$10 \times 20 \times 5$	$40 \times 20 \times 3$	$10 \times 20 \times 3$
$t_в, ^\circ C$	20	25	30	20	30	35	20	25	30	22
$t_{всп}, ^\circ C$	-18	-18	-18	-11	-11	-11	-23	-23	-23	-18
M	50	50	50	78	78	78	86	86	86	50
$p_{нт}, кПа$	24,8	29,16	37,63	11,42	18,91	23,92	16,10	20,13	24,90	26,72
$\rho_{жс}, кг/м^3$	792	792	792	879	879	879	660	660	660	792
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho_n, кг/м^3$	2,08	2,04	2,00	3,24	3,13	3,08	3,57	3,51	3,45	2,06
$V_{ап}, м^3$	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5
$\kappa_б, \%$	90	92	95	90	92	95	90	92	95	95
$t_{жс}, ^\circ C$	20	25	30	20	30	35	20	25	30	22
$q, м^3/с$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$

Задание Б (табл. 14.7). *Определение категории помещения, использующего горючий газ, по взрывопожарной и пожарной опасности*

Рассчитать категорию производственного помещения (размеры $l \times b \times h$), использующего в своем технологическом процессе горючий газ по взрывопожарной и пожарной опасности, если коэффициент свободного объема помещения $K_{св} = 0,8$, кратность аварийной вентиляции $A = 8ч^{-1}$, температура воздуха – $t_в$. Газ имеет следующие характеристики: молекулярную массу M , плотность газа по воздуху – $\rho_г$. Характеристики технологического процесса: производительность компрессора для сжатия газа – $q, м^3/ч$; подводящий трубопровод имеет длину $l_n = 10 м$, диаметр $d_n = 25 мм$; отводящий трубопровод имеет длину $l_o = 15 м$, диаметр $d_o = 25 мм$; емкость одного баллона $0,5 м^3$, количество баллонов – n ; давление газа в баллоне – $p_1, Па$; максимальное давление в трубопроводе по техническому регламенту – $p_2, Па$; отключение компрессора и баллонов ручное – $\tau_{откл} = 300 с$. При расчетах принять: начальное давление $p_o = p_{атм} = 101 кПа$, максимальное давление взрыва $p_{max} = 900 кПа$.

Таблица 14.7 – Варианты заданий

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Газ	Метан CH ₄	Метан CH ₄	Метан CH ₄	Пропан C ₃ H ₈	Пропан C ₃ H ₈	Пропан C ₃ H ₈	Бутан C ₄ H ₁₀	Бутан C ₄ H ₁₀	Бутан C ₄ H ₁₀	Метан CH ₄
$l \times b \times h, м$	20×20 ×10	10×20 ×12	40×20 ×15	20×20 ×10	10×20 ×12	40×20 ×15	20×20 ×10	10×20 ×12	40×20 ×15	10×20 ×15
$t_{в}, °C$	20	25	30	20	30	35	20	25	30	30
M	16	16	16	78	78	78	86	86	86	50
$\rho_г$	0,55	0,55	0,55	1,52	1,52	1,52	2,06	2,06	2,06	0,55
$q, м^3/с$	0,03	0,05	0,1	0,03	0,05	0,1	0,03	0,05	0,1	0,08
n	40	60	80	40	60	80	40	60	80	50
$p_1, кПа$	30	35	40	30	35	40	30	35	40	25
$p_2, кПа$	30	35	40	30	30	30	30	35	40	25

Задание В (табл. 14.7). *Определение категории помещения, в котором выделяется взрывоопасная пыль по взрывопожарной и пожарной опасности*

Рассчитать категорию производственного помещения (размеры $l \times b \times h$), в технологическом процессе которого выделяется взрывоопасная пыль по взрывопожарной и пожарной опасности, если коэффициент свободного объема помещения $K_{св} = 0,8$, доля пыли, которая удаляется вытяжными вентиляторами, – α , температура воздуха – $t_в$, $\rho_в$ – плотность воздуха, теплоемкость воздуха – $c_p = 1,01 \cdot 10^3 Дж/(кг \cdot K)$. В помещении шлифуются деревянные

поверхности, выделяется пыль древесная, которая имеет теплоту сгорания – H_T .

Характеристики технологического процесса: установлено шлифовальных станков – $n_{ст}$, на которых в час обрабатывается 5 м^2 поверхности, при этом удаляется с поверхности слой δ ; ежедневная продолжительность работ – 16 ч (две смены), ежемесячная – 400 ч (25 рабочих дней); производительность поступления пыли в станок до момента его отключения – $q = 0 \text{ кг/с}$; коэффициент пыления – $K_n = 0,5$. Уборка – ручная сухая: текущая 1 раз в сутки и генеральная 1 раз в месяц; доля выделяющейся в объем помещения пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях при текущей уборке, – β_1 , при генеральной уборке – β_2 .

Таблица 12.8 – Варианты заданий

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$l \times b \times h, \text{ м}$	10×20 ×4	15×20 ×5	15×15 ×5	10×20 ×4	15×20 ×5	15×15 ×5	10×20 ×4	15×20 ×5	15×15 ×5	10×10 ×4
α	0,72	0,75	0,80	0,72	0,75	0,80	0,72	0,75	0,80	0,82
$t_{в}, ^\circ\text{C}$	20	24	30	20	24	30	20	24	30	30
$\rho_{в}, \text{ кг/м}^3$	1,205	1,189	1,165	1,205	1,189	1,165	1,205	1,189	1,165	1,165
$H_{тв} \text{ Дж/(кг К)}$	$11 \cdot 10^6$	$13 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$	$13 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$	$13 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^6$
$n_{ст}$	4	5	6	4	5	6	4	5	6	3
$\delta, \text{ м}$	0,0005	0,0008	0,001	0,0005	0,0008	0,001	0,0005	0,0008	0,001	0,001
β_1	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8
β_2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2

Контрольные вопросы:

1. Что означает термин «пожарная безопасность»?
2. Что означает термин «взрывобезопасность»?
3. Перечислите исходные данные для прогнозирования пожарной обстановки.
4. Назовите классы взрывоопасных зон.
5. Назовите категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.
6. Какие этапы включает методика расчета категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности?

Практическая работа 15

Оценка обстановки при взрыве газовой смеси

Цель работы: изучить методику расчета круговых зон поражения, образующихся при взрыве различных емкостей с газом.

15.1 Общие сведения

Взрыв газовой смеси (ГВС) является поражающим фактором различных ЧС, возможных в быту и при промышленных авариях.

Разрушение и повреждение различных емкостей и трубопроводов приводит к истечению газообразных или сжиженных углеводородных продуктов, которые, смешиваясь с воздухом, образуют газовую смесь. Наиболее взрыво- и пожароопасные смеси с воздухом углеводородных газов: метана, пропана, бутана, этилена, пропилена, бутилена и др. Взрыв или возгорание этих газов наступает при определенном содержании этих газов в воздухе. Например, взрыв пропана возможен при содержании в 1 м^3 воздуха 21 л газа, а возгорание – в 1 м^3 воздуха 95 л газа.

При взрыве газовой смеси образуется очаг взрыва с ударной волной, вызывающей разрушения зданий, сооружений и оборудования. Для определения избыточного давления на определенном расстоянии от центра взрыва необходимо знать количество взрывоопасной смеси.

15.2 Методика расчета

В очаге взрыва газовой смеси принято выделять 3 круговые зоны (рис. 15.1).

Зона детонационной волны (зона I) находится в пределах облака взрыва. Радиус этой зоны приближенно определяется по формуле

$$r_1 = 17,5\sqrt[3]{Q}, \text{ м}, \quad (0.1)$$

где Q – количество сжиженного углеводородного газа, т.

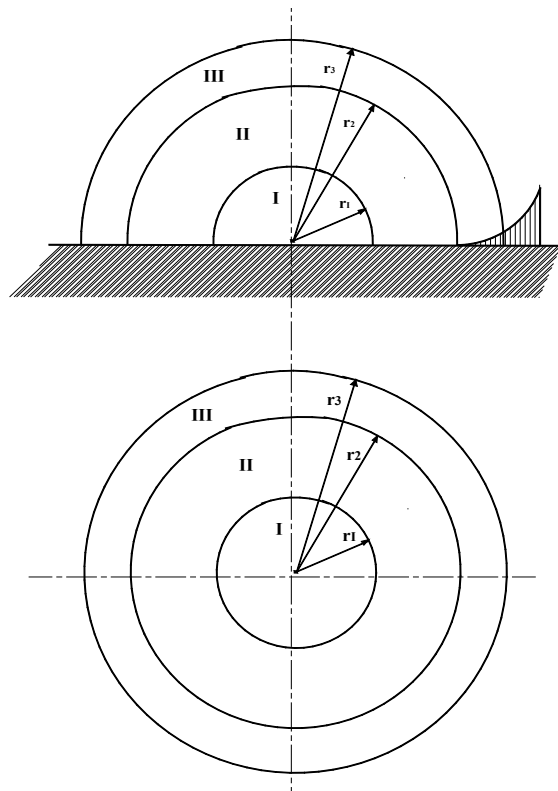


Рисунок 15.1 – Зоны очага взрыва газовой смеси:

I – зона детонационной волны; II – зона действия продуктов взрыва; III – зона воздушной ударной волны; r_1, r_2, r_3 – радиусы внешних границ соответствующих зон

В пределах зоны I действует избыточное давление, которое может приниматься постоянным, $\Delta P_I = 1700 \text{ кПа}$.

Зона действия продуктов взрыва (зона II) – охватывает всю площадь разлета продуктов газовой смеси в результате ее детонации. Радиус этой зоны $r_{II} = 1,7r_I, \text{ м}$.

Избыточное давление в пределах зоны II, ΔP_{II} , изменяется от 1350 до 300 кПа и определяется

$$\Delta P_{II} = 1300 \left(\frac{r_I}{R} \right)^3 + 50, \quad (0.2)$$

где R – расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки, м.

Зона действия воздушной ударной волны (зона III) формируется фронтом ударной волны, распространяющимся по поверхности земли.

Избыточное давление в зоне III – ΔP_{III} может быть определено по графику (рис. 15.2) или расчетным путем.

Для определения избыточного давления в зоне III предварительно определяется относительная величина Ψ :

$$\Psi = 0,24r_{III}/r_I, \quad (0.3)$$

где r_I – радиус зоны I; r_{III} – радиус зоны III или расстояние R от центра взрыва до рассматриваемой точки.

$$\text{При } \Psi \leq 2: \Delta P_{III} = \frac{700}{3(\sqrt{1 + 29,8\Psi^3} - 1)}, \quad (0.4)$$

$$\text{при } \Psi > 2: \Delta P_{III} = \frac{22}{\Psi \sqrt{\lg \Psi + 0,158}}. \quad (0.5)$$

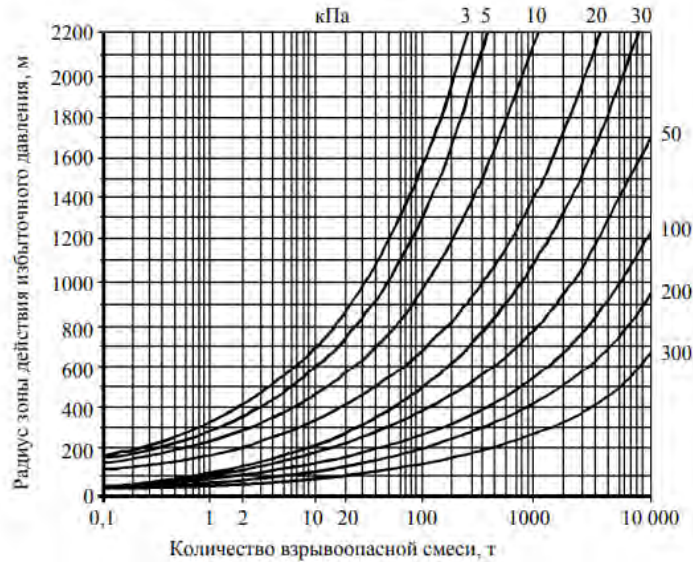


Рисунок 15.2 – Зависимость радиуса зоны действия избыточного давления от количества взрывоопасной смеси

Задание А. Определить избыточное давление при взрыве емкости, ожидаемое в районе учебного корпуса университета, находящегося на расстоянии R от емкости, в которой находится сжиженный пропан в количестве Q .

Таблица 15.1 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{ т}$	100	100	200	200	216	216	125	125	125	200
$R, \text{ м}$	300	100	300	200	500	300	300	400	500	450
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$Q, \text{ т}$	200	200	200	250	250	250	300	300	300	220
$R, \text{ м}$	300	100	200	100	200	300	400	500	600	500

Контрольные вопросы:

1. Что такое газозвудушная смесь?
2. Дайте характеристику углеводородных газов: метана, пропана, бутана, этилена, пропилена?
3. Что такое избыточное давление ударной волны?
4. На какие зоны делится очаг взрыва газозвудушной смеси?

Практическая работа 16

Оценка обстановки при наводнении

Цель работы: изучить методику оценки обстановки при наводнении.

16.1 Общие сведения

Наводнение – это значительное затопление водой местности, городов, населенных пунктов, сельскохозяйственных объектов, приводящее к ущербу.

Причинами наводнений могут быть природные явления и техногенная деятельность человека (антропогенные причины). Природными причинами являются формирование половодий и паводков, продолжительные дожди и ливни, снеготаяние, в результате чего может происходить затопление значительных территорий. Антропогенными причинами наводнений являются: хозяйственная деятельность человека в речных бассейнах и руслах, строительство плотин и дамб без учета возможных наводнений, строительство дорог без учета движения сточных вод и др.

Наводнения бывают низкие, высокие, выдающиеся, катастрофические. Так как этим стихийным бедствиям присуща цикличность, то можно дать их характеристику:

– **низкие** наводнения происходят на равнинной местности один раз в 5–10 лет;

– **высокие** наводнения – один раз в 20–25 лет и наносят большой ущерб;

– **выдающиеся** наводнения – один раз в 50–100 лет и охватывают целые речные бассейны, требуют массовой эвакуации людей, скота и имущества;

– **катастрофические** наводнения – один раз в 100–200 лет, наносят огромный экономический ущерб, вызывают гибель большого числа людей и животных, экологические катастрофы.

Как правило, наводнениям предшествуют половодья и паводки, которые вызывают затопление территории и образуют зону затопления.

Зона затопления – территория, покрываемая водой в результате превышения притока воды по сравнению с пропускной способностью русла.

Зона катастрофического затопления – зона затопления, на которой произошла гибель людей, сельскохозяйственных животных и растений, повреждены или уничтожены материальные ценности, а также нанесен ущерб окружающей природной среде.

Половодье – увеличение водности рек весной за счет таяния снега. Оно начинается, когда среднесуточная температура становится положительной. Уровень воды в реках Республики Беларусь поднимается на 2–3 м, иногда более 5 м и длится 15–20 дней. Наивысший уровень воды обычно наступает через 3–5 дней после начала половодья.

Наводок – это фаза водного режима реки, характеризующаяся интенсивным, обычно кратковременным увеличением расхода воды, вызываемая дождями или снеготаянием во время оттепелей. Она может многократно повторяться в различные сезоны года. Наводнения весной часто вызываются заторами и зажорами на реках.

Затор – это скопление льда во время ледохода и закупоривание реки.

Зажор – это скопление шуги, которая представляет собой рыхлый лед, находящийся подо льдом. Зажор наблюдается в начале зимы, в то время как затор – в конце зимы и весной. Зажоры образуются в период формирования ледяного покрова. Они вызывают подъем воды выше по течению реки. Подъем воды в реках вызывают и нагоны.

Нагон – это подъем уровня воды, вызванный воздействием ветра на водную поверхность. Такие явления случаются в устьях крупных рек, на больших озерах и водохранилищах.

Подтопление – повышение уровня грунтовых вод, нарушающее нормальное использование территории, строительство и эксплуатацию расположенных на ней объектов. Оно также наносит ущерб экономике и социальной сфере.

Перечень мероприятий по оценке обстановки.

Оценка обстановки включает:

- определение масштаба и характера (вида) наводнения (см. п. 2.1);
- анализ влияния наводнения на устойчивость работы объектов хозяйства, а также на жизнедеятельность населения;
- выводы об устойчивости отдельных объектов и инфраструктуры района возможного затопления к наводнению и рекомендации по ее повышению;
- предложения по выбору наиболее целесообразных действий формирований МЧС в условиях наводнения, эвакуации при необходимости рабочих и служащих объектов, населения и материальных ценностей из зоны наводнения;
- планирование действий по ликвидации последствий наводнения.

К основным данным по оценке последствий наводнения относятся:

- численность населения, количество населенных пунктов, предприятий, протяженность автомобильных и железных дорог, линий электропередач, связи и коммуникаций, оказавшихся в зоне затопления;

- количество погибших людей;
- степень повреждения домов, мостов, показатели гибели скота, урожая и т. д. (прямой ущерб);
- затраты на эвакуацию, на доставку продуктов питания пострадавшим, строительных материалов, на тушение возможных пожаров от коротких замыканий в электросистемах и т. д. (косвенный ущерб).

Прямой и косвенный ущерб находятся, как правило, в соотношении 70/30. Оценка обстановки при наводнении производится на основе данных прогноза и анализа реально сложившейся ситуации.

16.2 Методика расчета: аварии на гидротехнических сооружениях

Опасность возникновения затопления низинных районов происходит при разрушении плотин, дамб и гидроузлов. Непосредственную опасность представляет стремительный и мощный поток воды, вызывающий поражения, затопления и разрушения зданий и сооружений. Высота и скорость волны прорыва зависят от того, где происходит – в верхнем или нижнем бьефах, а также от рельефа местности за плотиной. Значительные участки местности через 15–30 мин обычно оказываются затопленными слоем воды толщиной от 0,5 до 10 м и более. Время, в течение которого территории могут находиться под водой, колеблется от нескольких часов до нескольких суток. По каждому гидроузлу имеются схемы и карты, где показаны границы затопления и дается характеристика волны прорыва. В этой зоне запрещено строительство жилья и предприятий.

Алгоритм расчета оценки обстановки при наводнениях, вызванных авариями на гидротехнических сооружениях:

1. Определяется время подхода волны пропуска до различных расчетных точек:

$$t_{под} = \frac{R}{3600 \cdot v}, \text{ ч}, \quad (0.1)$$

где R – характеристика населенных пунктов, расположенных в зоне возможного затопления, а также расстояние между плотиной и населенными пунктами (расчетными точками), м; v – средняя скорость движения волны пропуска, м/с;

2. По таблице 16.1 определяется высота волны пропуска для различных расчетных точек (заданных расстояниях).

Таблица 16.1 – Ориентировочная высота волны пропуска и продолжительность её прохождения на различных расстояниях от плотины

Параметры	Расстояние от плотины, км						
	0	25	50	100	150	200	250
Высота волны пропуска, h , м	$0,25H$	$0,2H$	$0,15H$	$0,075H$	$0,05H$	$0,03H$	$0,02H$
Продолжительность прохождения волны пропуска, t , ч	T	$1,7T$	$2,6T$	$4T$	$5T$	$6T$	$7T$

3. Определяется время опорожнения водохранилища по формуле

$$T = \frac{W}{N \cdot B \cdot 3600}, \text{ ч}, \quad (0.2)$$

где W – объём водохранилища, м^3 ; B – ширина прорана или участка перелива воды через гребень не разрушенной плотины, м; N – максимальный расход воды на 1 м ширины прорана, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{м})$, принимается ориентировочно по таблице 16.2.

Таблица 16.2 – Максимальный расход воды на 1 м ширины прорана

Максимальный расход воды	Ширина прорана B , м			
	5	10	25	50
N , $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{м})$	10	30	125	350

4. При прогнозировании обстановки принимается худший вариант – произошло полное опорожнение водохранилища за время T (см. п. 3), по таблице 16.1 определяется продолжительность прохождения волны пропуска для различных расчетных точек (заданных расстояниях). С учетом времени подхода волны пропуска до различных расчетных точек определяется общее время пребывания людей в защитных сооружениях

$$t_{\text{защ}} = t_{\text{под}} + t. \quad (0.3)$$

16.3 Методика прогнозирования и оценки последствий наводнений

Прогнозирование обстановки при наводнении сводится к определению высоты подъема воды в реке, ширины реки во время паводка (половодья), высоты и скорости потока затопления. При оценке

обстановки определяется возможный характер повреждений элементов инженерно технического комплекса (ИТК).

Обстановка в районе наводнений характеризуется комплексом параметров, которые зависят от особенности сечения русла реки, скорости воды и её расхода, интенсивности осадков (таяния снега) и др.

1. Представляют схематически сечение русла реки треугольным (рис. 16.1 а), или трапециевидальным (рис. 16.1 б).

2. Находят площадь сечения реки до паводка S_0 по формулам:

– для треугольного сечения (рис. 16.1 а)

$$S_0 = 0.5 \cdot b_0 \cdot h_0, \text{ м}^2 \quad (0.4)$$

– для трапециевидального сечения (рис. 16.1 б).

$$S_0 = 0.5 \cdot (a_0 + b_0) \cdot h_0 \cdot \text{м}^2 \quad (0.5)$$

3. Определяют расход воды в реке до наступления наводнения (паводка) по формуле

$$Q_0 = V_0 \cdot S_0, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (0.6)$$

где V_0 – скорость воды в реке до наступления паводка, м/с.

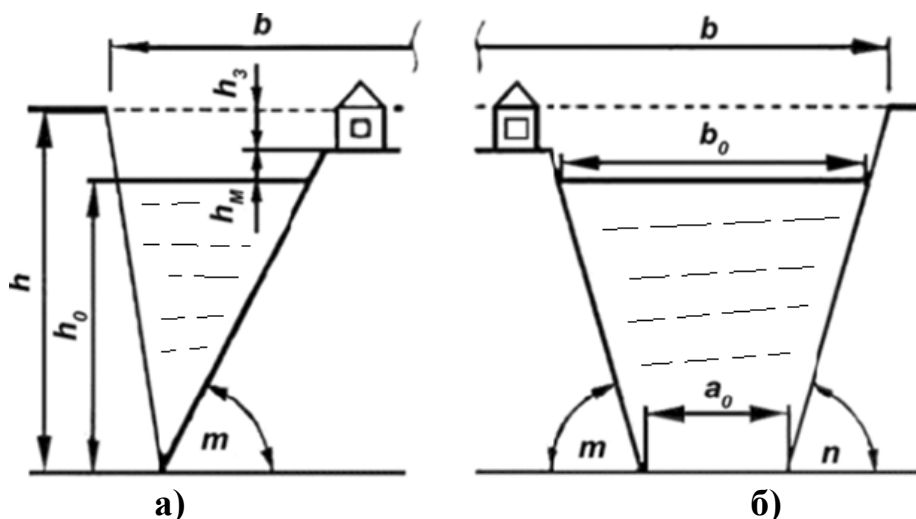


Рисунок 16.1 – Расчетная схема сечения реки:

a_0 – ширина дна реки; b_0, b – ширина реки до и во время паводка; h_0, h, h_3, h_M – глубина реки до и во время паводка, высота затопления местности и расположение её от первоначального уровня реки; m, n – углы наклона берегов реки

4. Определяют расход воды после выпадения осадков (таяния снега) и наступления половодья (паводка) по формуле

$$Q_{max} = Q_0 + J \cdot F / 3,6, \text{ м}^3/\text{с} \quad (0.7)$$

где J – интенсивность осадков (таяния снега), мм/ч; F – площадь выпадения осадков, км².

5. Определяют высоту подъема воды в реке при прохождении паводка:

– для рисунка 16.1 а

$$h = \left[2 \cdot Q_{max} \cdot \frac{h_0^{\frac{5}{3}}}{b_0 \cdot V_0} \right]^{\frac{3}{8}}, \text{ м} \quad (0.8)$$

– для рисунка 16.1 б

$$h = \left\{ \frac{2 \cdot Q_{max} \cdot \left[\frac{(b_0 - a_0)}{[ctg m + ctg n]} \right]^{\frac{5}{3}}}{b_0 \cdot V_0} \right\}^{\frac{3}{8}}, \text{ м} \quad (0.9)$$

где $ctg m = ctg n = \frac{b_0 - a_0}{2 \cdot h_0}$.

6. Определяют максимальную скорость потока V_{max} воды при прохождении паводка по формуле

$$V_{max} = \frac{Q_{max}}{S_{max}}, \text{ м/с} \quad (0.10)$$

где S_{max} – площадь поперечного сечения потока при прохождении паводка, м², определяемая по формулам (16.4) и (16.5), в которые вместо h_0 подставляют h , а вместо b_0 подставляют b .

Значение величины b находят:

– для треугольного сечения реки

$$b = \frac{b_0 \cdot h}{h_0}, \text{ м} \quad (0.11)$$

– для трапециевидального сечения реки

$$b = a_0 + h \cdot (ctg m + ctg n) = a_0 + 2 \cdot h \cdot ctg m \quad (16.12)$$

7. Поражающее действие паводка определяется глубиной h_3 и максимальной скоростью потока затопления V_3 , которые находят по формулам:

$$h_3 = h - h_M - h_0, \text{ м} \quad (16.13)$$

$$V_3 = f \cdot V_{max}, \text{ м/с} \quad (16.14)$$

где f – параметр, характеризующий удаленность объекта от русла реки (определяется по таблице 16.3).

Таблица 16.3 – Параметр удаленности объекта от русла реки (f)

h_3/h	Сечение русла	
	трапецеидальное	треугольное
0,1	0,23	0,3
0,2	0,43	0,5
0,4	0,64	0,72
0,6	0,84	0,96
0,8	1,05	1,18
1,0	1,2	1,32

В отличие от волны прорыва наводнение и паводок оказывают более продолжительное действие (табл. 16.4), усугубляющее первоначальное разрушающее воздействие волны прорыва.

По таблице 16.5 по скорости и глубине затопления определим, степень повреждения здания, промобъекта, дороги.

Таблица 16.4 – Доля повреждённых объектов (%) на затопленных площадях при крупных наводнениях ($V_3 = 3-4$ м/с)

Объект	Время затопления, ч					
	1	2	3	4	24	48
Затопление подвалов	10	15	40	60	85	90
Нарушение дорожного движения	15	30	60	75	95	100
Разрушение уличных мостовых	–	–	3	6	30	50
Смыв деревянных домов	–	7	70	90	100	100
Разрушение кирпичных зданий	–	–	10	40	50	60
Прекращение электропитания	75	90	95	100	100	100
Прекращение телефонной связи	75	85	100	100	100	100
Повреждения систем газо- и теплоснабжения	–	–	7	10	30	70
Гибель урожая	–	–	–	–	3	8

Примечание. При $V_3 = 1,5-2,5$ м/с приведённые в таблице значения надо умножить на 0,6; при $V_3 = 4,5-5,5$ м/с – умножить на 1,4.

Таблица 16.5 – Значения параметров волны прорыва, приводящие к разрушению объектов

Наименование объекта	Степень разрушения					
	сильная		средняя		слабая	
	V , м/с	h , м	V , м/с	h , м	V , м/с	h , м
Здания и сооружения						
Деревянные дома (1...2 этажа)	3,5	2,0	2,5	1,5	1,0	1,0
Промышленные здания с лёгким металлическим каркасом и здания бескаркасной постройки	5,0	2,5	3,5	2,0	2,0	2,0
Кирпичные дома средней этажности (4 этажа)	6,0	3,0	4,0	2,5	2,5	1,5
Промышленные здания с тяжёлым металлическим или ЖБ каркасом (стены из керамзитовых панелей)	7,5	4,0	6,0	3,0	3,0	1,5
Бетонные и ЖБ здания, здания антисейсмической конструкции	12,0	4,0	9,0	3,0	4,0	1,5
Оборудование промышленных предприятий						
Станочное оборудование	3,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0
Оборудование химических и электротехнических цехов и лабораторий	4,0	1,5	3,0	1,5	1,0	1,0
Трансформаторно-понижительные подстанции	5,0	2,0	4,0	2,0	2,0	1,0
Мосты, дороги и транспортные средства						
Деревянные мосты (поток выше проезжей части)	1,0	2,0	1,0	1,5	0,0	0,5
Железобетонные мосты	2,0	3,0	1,0	2,0	0,0	0,5
Металлические мосты и путепроводы с пролётом (30...100 м)	2,0	3,0	1,0	2,0	0,0	0,5
Железнодорожные пути	2,0	2,0	1,0	1,0	0,5	0,5
Дороги с гравийным (щебёночным) покрытием	2,5	2,0	1,0	1,5	0,5	0,5
Шоссейные дороги с асфальтовым и бетонным покрытием	4,0	3,0	2,0	1,5	1,0	1,0
Автомобили	2,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0

Задание А (табл. 16.6). Определить параметры волны пропуска в населенном пункте при наводнении в случае аварии, повлекшей за собой прорыв плотины, находящейся от населенного пункта на расстоянии R . Объем водохранилища W , ширина прорана B , глубина

воды перед плотиной H , средняя расчетная скорость движения волны пропуска v .

Таблица 16.6 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W , млн м ³	30	40	50	60	70	80	85	90	95	100	110	120
B , м	5	10	25	50	25	50	25	50	50	25	50	50
H , м	50	40	35	20	30	40	50	55	65	70	60	60
v , м/с	5	5	5	6	6	6	3	3	3	4	4	4
R , км	25	25	25	50	50	50	50	100	100	100	100	100
Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
W , млн м ³	34	45	52	65	68	75	88	92	97	108	115	125
B , м	8	12	22	30	35	40	45	55	28	34	38	47
H , м	51	42	36	22	33	44	53	48	58	66	62	65
v , м/с	5	5	5	6	6	6	3	3	3	4	4	4
R , км	30	27	27	55	60	60	60	110	110	120	120	120

Задание Б (табл. 16.7). Определить время нахождения в защитном сооружении работников объекта в случае аварии, в результате которой произошел прорыв плотины водохранилища, находящегося на расстоянии R от промышленного объекта. Ожидаемая высота волны пропуска на объекте является опасной, средняя скорость движения волны пропуска v , объем водохранилища W , ширина прорана B .

Таблица 16.7 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W , млн м ³	30	40	50	60	70	80	85	90	95	100	110	120
B , м	5	10	25	10	25	50	50	50	50	25	50	50
v , м/с	3	3	5	5	6	6	7	7	7	8	8	8
R , км	0,1	25	25	25	25	25	50	50	100	100	120	120
Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
W , млн м ³	32	45	53	67	74	86	82	92	98	104	113	118
B , м	9	14	26	12	27	54	54	52	52	30	55	55
v , м/с	3,5	3,5	5,2	5,6	6,8	6,5	7,2	7,2	7,8	8,5	8,4	8,2
R , км	0,1	15	30	30	30	29	50	58	90	100	120	122

Задание В (табл. 16.8). Определить последствия наводнения, вызванного таянием снега в пойме реки, для населенного пункта, состоящего из деревянных и кирпичных малоэтажных домов и производственных зданий деревообрабатывающего комбината (ДОК).

Таблица 16.8 – Варианты заданий

№ п/п	Интенсивность осадков, J мм	Площадь поймы реки F , км ²	Ширина реки b_0 , м	Глубина реки h_0 , м	Скорость течения, м/с	Ширина dna a_0 , м	Высота места h_m , м	Сечение реки
1	103	350	70	2	2,0	30	2,0	трапецеидальное
2	70	250	100	1,5	1,5	–	1,5	треугольное
3	104	300	50	3,0	2,0	20	1,0	трапецеидальное
4	112	400	75	2,5	2,0	–	1,5	треугольное
5	88	200	120	3,0	1,5	40	2,0	трапецеидальное
6	100	150	90	3,5	3,0	–	2,5	треугольное
7	137	220	110	4,0	1,0	70	2,0	трапецеидальное
8	103	170	80	4,5	1,5	–	1,5	треугольное
9	111	180	90	1,5	2,5	30	1,0	трапецеидальное
10	156	240	60	2,0	2,0	–	2,5	треугольное
11	123	350	70	2	2,0	30	2,0	трапецеидальное
12	134	250	100	1,5	1,5	–	1,5	треугольное
13	110	300	50	3,0	2,0	20	1,0	трапецеидальное
14	104	400	75	2,5	2,0	–	1,5	треугольное
15	106	200	120	3,0	1,5	40	2,0	трапецеидальное
16	89	150	90	3,5	3,0	–	2,5	треугольное
17	124	220	110	4,0	1,0	70	2,0	трапецеидальное
18	151	170	80	4,5	1,5	–	1,5	треугольное
19	110	180	90	1,5	2,5	30	1,0	трапецеидальное
20	97	240	60	2,0	2,0	–	2,5	треугольное
21	71	350	70	2	2,0	30	2,0	трапецеидальное
22	90	250	100	1,5	1,5	–	1,5	треугольное
23	85	300	50	3,0	2,0	20	1,0	трапецеидальное
24	125	400	75	2,5	2,0	–	1,5	треугольное
25	119	200	120	3,0	1,5	40	2,0	трапецеидальное
26	116	150	90	3,5	3,0	–	2,5	треугольное
27	156	220	110	4,0	1,0	70	2,0	трапецеидальное
28	109	170	80	4,5	1,5	–	1,5	треугольное
29	124	180	90	1,5	2,5	30	1,0	трапецеидальное
30	130	240	60	2,0	2,0	–	2,5	треугольное

Практическое работа 17

Оценка влияния электромагнитных излучений сотовой связи на жителей города

Цель работы: изучить методику оценки влияния электромагнитных излучений сотовой связи на жителей города и научиться ее применять.

17.1 Общие сведения

Современный промышленный город является сложной многокомпонентной урбанизированной системой, которая изменяет почти все компоненты природной среды, образуя техногенную среду, к которой человек как вид эволюционно не адаптирован. Говоря об электромагнитном загрязнении, следует отметить, что, если буквально 25–30 лет назад воздействию значимых уровней электромагнитных излучений (ЭМИ) подвергался ограниченный круг людей-профессионалов, то в настоящее время можно говорить об угрозе воздействия ЭМИ на все население. Характерной чертой электромагнитного загрязнения городов является его многочастотность и многофакторность, когда на определенный участок городской территории оказывают воздействие несколько источников излучения с различными частотами, интенсивностью и местами расположения.

Одним из источников (ЭМИ) является сотовая связь. Основные составляющие сотовой сети – это сотовые телефоны и базовые станции, которые обычно располагают на крышах зданий и вышках. Будучи включённым, сотовый телефон прослушивает эфир, находя сигнал базовой станции. После этого телефон посылает станции свой уникальный идентификационный код. Телефон и станция поддерживают постоянный радиоконтакт, периодически обмениваясь пакетами. Связь телефона со станцией может идти по аналоговому протоколу (AMPS, NAMPS, NMT-450) или по цифровому (DAMPS, CDMA, GSM, UMTS). Если телефон выходит из поля действия базовой станции (или качество радиосигнала сервисной соты ухудшается), он налаживает связь с другой (англ. handover). Базовые станции поддерживают связь с находящимися в их зоне действия мобильными радиотелефонами и работают в режиме приема и передачи сигнала. В зависимости от стандарта, БС излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот от 463 до 1880 МГц. Антенны БС устанавливаются на высоте 10–100 метров от поверхности земли на уже существующих постройках (общественных, служебных, производственных и жилых зданиях, дымовых трубах промышленных предприятий и т. д.) или на специально сооруженных мачтах. Среди установленных в одном месте антенн БС имеются как передающие (или приемопередающие), так и приемные антенны, которые не являются источниками ЭМП.

Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда работающих, подвергающихся в процессе трудовой деятельности профессиональному воздействию ЭМП различных частотных диапазонов при любом характере воздействия ЭМП должны соответствовать требованиям санитарных правил по электромагнитным полям в производственных условиях.

Уровни электромагнитных полей, создаваемые антеннами базовых станций на территории жилой застройки, внутри жилых, общественных и производственных помещений, не должны превышать следующих предельно допустимых значений:

- в диапазоне частот $27 \text{ МГц} \leq f \leq 30 \text{ МГц}$ – $10,0 \text{ В/м}$;
- в диапазоне частот $30 \text{ МГц} \leq f \leq 300 \text{ МГц}$ – $3,0 \text{ В/м}$;
- в диапазоне частот $300 \text{ МГц} \leq f \leq 2400 \text{ МГц}$ – $10,0 \text{ мкВт/см}^2$.

В диапазоне частот $30 \text{ кГц} - 300 \text{ МГц}$ интенсивность ЭМИ РЧ оценивается значениями напряженности электрического поля (E , В/м) и напряженности магнитного поля (H , А/м) [14].

В диапазоне частот $300 \text{ МГц} - 300 \text{ ГГц}$ интенсивность ЭМИ РЧ оценивается значениями плотности потока энергии (ППЭ, Вт/кв.м, мкВт/кв.см).

Уровни напряженности электрического поля частотой 50 Гц , создаваемые питающим и силовым оборудованием базовых станций внутри жилых и общественных зданий, не должны превышать предельно допустимые уровни (ПДУ) для населения.

17.2 Методика расчета

Методика разработана с учетом нормативных документов, определяющих санитарно-гигиенические нормы и требования к базовым станциям сотовой связи и на основе анализа организационно-технических мероприятий, снижающих действие ЭМИ на здоровье человека. В методику исследований включен расчет плотности потока энергии, излучаемого базовыми станциями, и расчет безопасного времени пользования мобильным телефоном.

Антенны базовой станции излучают радиочастотную электромагнитную энергию, называемую радиоволнами. Излучение антенн базовой станции в основном распространяется в горизонтальной плоскости. Основная энергия излучения (более 90 %) сосредоточена в довольно узком луче, который наклонен по отношению к горизонту на два градуса. Мощность излучения уменьшается при удалении от антенны базовой станции, и даже на расстоянии нескольких метров уровни интенсивности намного ниже допустимых норм.

Согласно нормам, предельно допустимые уровни потока энергии должны укладываться в следующие рамки:

- до $0,1 \text{ Вт/кв.м}$ – безопасное состояние с возможностью нахождения в данном месте в течение всего дня;
- от $0,1$ до 1 Вт/кв.м – не более 2 часов;
- от 1 до 10 Вт/кв.м – 10 минут;

Нормирование ЭМП БС проводится в соответствии с

требованиями Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 05.03.2015 N 23 «Об утверждении Санитарных норм и правил "Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека", Гигиенического норматива "Предельно допустимые уровни электромагнитных излучений радиочастотного диапазона при их воздействии на человека"». Согласно данному документу, в диапазоне частот 300МГц – 300ГГц интенсивность ЭМИ РЧ оценивается значениями плотности потока энергии, которая для населения не должна превышать 10,0 мкВт/см². Непосредственным источником излучения в мобильном телефоне является его антенна. Все остальные источники излучения (сам передатчик, гетеродины приемника, синтезатор частоты и другие источники) маломощны, их можно не принимать во внимание.

Мобильный телефон представляет собой малогабаритный приемопередатчик. В зависимости от стандарта телефона, передача ведется в диапазоне частот 453–1785 МГц. Мощность излучения мобильного телефона является величиной переменной, в значительной степени, зависящей от состояния канала связи мобильный телефон, – базовая станция, т. е. чем выше уровень сигнала БС в месте приема, тем меньше мощность излучения телефона. Максимальная мощность находится в границах 0,125–1 Вт, однако в реальной обстановке она обычно не превышает 0,05–0,2 Вт.

Мобильный телефон излучает наибольшую мощность во время сеансов связи, максимальная мощность излучается телефоном во время установления связи.

Плотность потока энергии (ППЭ) для точечного источника излучения на расстоянии r рассчитывается по формуле

$$ППЭ = \frac{P_m \cdot G_m}{4\pi \cdot r_1^2}, \text{ Вт/м}^2, \quad (17.1)$$

где P_m – мощность излучения антенны мобильного телефона; G_m – коэффициент усиления антенны телефона; r_1 – расстояние в свободном пространстве между антенной и точкой наблюдения, которая находится в дальней зоне поля антенны, м.

Находиться около источника можно только на расстояниях, на которых модуль вектора излучения Умова–Пойтинга (ППЭ) будет меньше, чем предельная допустимая плотность потока энергии, т. е. $S_r < S_0$, тогда с учетом формулы (17.1) можно записать

$$\frac{G \cdot P_0}{4\pi \cdot r^2} < S_0 \Rightarrow r > r_0 = \sqrt{\frac{G \cdot P_0}{4\pi \cdot S_0}} \quad (17.2)$$

Расчет времени безопасного пользования мобильным телефоном производится по формуле

$$t = \frac{5,76\pi \cdot r_2^2 \cdot \text{ППЭ}_{\text{дон}}}{P_m \cdot G_m \cdot 10^3} \quad (17.3)$$

где P_m ; G_m ; r_2 – расстояние до точки облучения, м.

Таблица 17.1 – Предельно допустимые уровни плотности потока энергии в диапазоне частот 300 МГц–300 ГГц

	Продолжительность воздействия Т, ч					
	2	1,5	1,0	0,5	0,25	≤0,2
$\text{ППЭ}_{\text{нду}}, \text{ мкВт/см}^2$	100	133	200	400	800	1000

Исходные данные

Исходными данными для оценки влияния электромагнитных излучений сотовой связи на человека являются:

- мощность излучения антенны $P_m, \text{ Вт}$;
- коэффициент усиления антенны мобильного телефона G_m ;
- расстояние в свободном пространстве между антенной и точкой наблюдения – $r_1, \text{ м}$;
- расстояние до точки облучения – $r_2, \text{ м}$;
- допустимая плотность потока энергии $\text{ППЭ}_{\text{дон}}, \text{ Вт/м}^2$.

17.3 Выполнение работы

Алгоритм расчета оценки влияния электромагнитных излучений сотовой связи на человека:

1. Определение ППЭ по формуле (17.1).
2. Расчет времени безопасного пользования мобильным телефоном по формуле (17.3) для различных исходных данных.

Задание А (табл. 17.2). Мощность излучения антенны мобильного телефона – $P_{m1}, P_{m2}, P_{m3}, \text{ Вт}$; коэффициент усиления антенны мобильного телефона – G_m ; расстояние в свободном пространстве между антенной и точкой наблюдения – $r_1, \text{ м}$; расстояние до точки облучения – $r_2, \text{ м}$; предельно допустимые уровни – $\text{ППЭ}_{\text{дон}}, \text{ Вт/м}^2$ принять по таблице 17.1. Определить плотность потока энергии при различной мощности излучения антенны мобильного телефона и время безопасного пользования мобильным телефоном.

Таблица 17.2 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$P_{M1},$ $P_{M2},$ P_{M3}, B m	5/15/30	5/15/30	5/15/30	5/15/30	5/15/30	5/15/30	5/15/30	5/15/30	5/15/30	5/15/30	5/15/30
G_M	5	7	8	9	11	13	15	17	19	21	23
$r_{1, M}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	50
$r_{2, M}$	0,005	0,005	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,005
Вариант	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$P_{M1},$ $P_{M2},$ P_{M3}, B m	10/20/3 0	10/20/3 0	10/20/3 0	10/20/3 0	10/20/3 0	10/20/3 0	10/20/3 0	10/20/3 0	10/20/3 0	10/20/3 0	10/20/3 0
G_M	25	23	21	19	17	15	13	11	9	8	7
$r_{1, M}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	50
$r_{2, M}$	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,005	0,005	0,005	0,005

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные составляющие сотовой связи.
2. Какими должны быть допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемые антеннами базовых станций на территории жилой застройки?
3. Что такое плотность потока энергии (ППЭ)?
4. От чего зависит время безопасного пользования мобильным телефоном?

Практическая работа 18

Подсчет ущерба при аварийном сбросе нефтепродуктов в водный объект

Цель работы: изучить методику подсчета убытков, причиненных государству при загрязнении водных объектов. Рассчитать ущерб, связанный с залповым и установившимся сбросом нефтепродуктов.

18.1 Общие сведения

Методика подсчета убытков, причиненных государству нарушением водного законодательства, разработана Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [5].

Согласно данной методике, убытки, причиненные государству, определены исходя из объема воды, загрязненной в результате сброса

загрязняющих веществ и удельных приведенных затрат на очистку воды до предельно-допустимых концентраций, установленных для данной категории водного объекта.

Техногенные катастрофы, приводящие к аварийным разливам нефти на водных объектах, наряду с материальными затратами в производственной сфере наносят значительный ущерб окружающей природной среде.

По характеру проявления ущерб (убытки), причиняемый окружающей среде, может быть прямым (видимым, в случае гибели рыбы, птиц) и косвенным (скрытым), который проявляется через значительный промежуток времени в виде снижения биологической продуктивности водного объекта, потерь ценных видов животного и растительного мира, рыб и других водных животных и растений.

В связи со сложностью определения всех последствий от нарушения водного законодательства, оценка убытков причиненных государству этим нарушением, принимается по приведенным затратам, необходимым для устранения отрицательных последствий.

Убытки – потери в народном хозяйстве трудовых, материальных, финансовых и природных ресурсов, связанные с необходимостью ликвидации отрицательных последствий, связанные с нарушением водного законодательства.

Загрязнение водных объектов – изменение состава воды в водных объектах под прямым или косвенным влиянием производственной или другой деятельности и бытового использования населением, в результате чего качество воды водных объектов не удовлетворяет требованиям, предъявляемым «Правилами охраны поверхностных вод».

Залповый сброс загрязняющих веществ – сброс загрязняющих веществ в концентрациях, в 100 и более раз превышающих установленные.

Установившийся сброс загрязняющих веществ – любой сброс, не являющийся залповым.

Фоновый уровень – значение показателей качества воды водотока до поступления в него загрязняющих веществ от источника загрязнения.

18.2 Методика расчета

Размер убытков

Размер убытков при загрязнении водного объекта определяется в зависимости от времени нахождения в воде загрязнителя. В случае принятия мер по ликвидации последствий загрязнения, размер убытков устанавливается по формулам:

$$Y_{i,сн}^з = Y_i^з \left(1 - \sum \frac{\alpha_i}{100} \cdot K_{i,сн}\right) \quad (18.1)$$

или

$$Y_{i,сн}^у = Y_i^у \left(1 - \sum \frac{\alpha_i}{100} \cdot K_{i,сн}\right) \quad (18.2)$$

где $Y_{i,сн}^з$ – величина убытков, в случае принятия мер по ликвидации последствий загрязнения при залповом сбросе i -го загрязненного вещества в водный объект, тыс. у.е.; $Y_{i,сн}^у$ – величина убытков, в случае принятия мер по ликвидации последствий загрязнения при установившемся сбросе i -го загрязняющего вещества в водные объекты, тыс. у.е.; $K_{i,сн}$ – коэффициент снижения величины убытка при принятии мер по ликвидации последствий загрязнения, определяемые по табл. 18.1 в зависимости от времени ликвидации аварии; α_i – процент собранного загрязняющего вещества за каждый i -й промежуток времени сбора загрязнений, подтвержденный соответствующими документами. α_i определяется по формуле

$$\alpha_i = \frac{P_i}{P} \cdot 100 \% , \quad (18.3)$$

где P – общая масса сброшенного в водный объект нефтепродукта, т; P_i – масса собранного загрязняющего вещества за каждый i -й промежуток времени сбора.

Величина убытков

Величина убытков при сбросе i -го загрязняющего вещества в водный объект определяется по формулам (18.4) и (18.5).

При залповом сбросе загрязняющих веществ

$$Y_i^з = Z_i^з \cdot K_{кат} \quad (18.4)$$

При установившемся сбросе загрязняющих веществ

$$Y_i^у = Z_i^у \cdot K_{кат} \quad (18.5)$$

где $Y_i^з$ – величина убытков от загрязнения водных объектов при залповом сбросе i -го загрязняющего вещества с учетом категории водного объекта, тыс. у.е.; $Y_i^у$ – величина убытков от загрязнения

водных объектов при установившемся сбросе i -го загрязняющего вещества, тыс. у. е.; Z_i^3 – величина убытков от загрязнения водных объектов при залповом сбросе i -го загрязняющего вещества, тыс. у. е. (для нефтепродуктов определяется в зависимости от массы загрязняющего вещества P_n по таблице 18.2); Z_i^Y – величина убытков от загрязнения водных объектов при установившемся сбросе i -го загрязняющего вещества, тыс. у. е. (для нефтепродуктов определяется в зависимости от массы загрязняющего вещества P_n по таблице 18.3); $K_{кат}$ – коэффициент, учитывающий категорию водного объекта, в который сбрасываются загрязняющие вещества ($K_{кат}=1,1$ – поверхностные водоемы и водотоки, используемые для рыбохозяйственных целей для хозяйственного питьевого водоснабжения населения; $K_{кат}=0,6$ – другие водные объекты).

Определение массы сброшенных загрязняющих веществ

Определение массы сброшенных загрязняющих веществ, принимаемой для подсчета убытков от загрязнения водных объектов при $K_i^{факт} > K_i^{доп}$

$$P_i = V_i \cdot (K_i^{факт} - K_i^{доп}) \cdot 10^{-6}, \text{ т} \quad (18.6)$$

где P_i – масса сброшенного i -го вида загрязняющего вещества, учитываемая при подсчете убытков, т; V_i – объем сточных вод с превышенным содержанием i -го загрязняющего вещества, м^3 ; $K_i^{факт}$ – средняя за период сброса концентрация i -го загрязняющего вещества в контрольной точке, фактически зафиксированная в процессе нарушения водного законодательства, мг/л (г/м^3); $K_i^{доп}$ – допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в контрольной точке, мг/л (г/м^3).

Определение массы разлитой нефти по инструментальным наблюдениям с учетом фонового загрязнения производится по формуле

$$P_n = (P_{пл.разл.} - P_{пл.фон.}) \cdot S_n \cdot 10^{-6} + (C_{разл.} - C_{фон.}) \cdot V_n \cdot 10^{-6}, \text{ т} \quad (18.7)$$

где P_n – масса разлитой нефти, т; $P_{пл.разл.}$ – масса пленочной нефти на 1 м^2 разлива, г/м^2 ; $P_{пл.фон.}$ – масса пленочной нефти на 1 м^2 акватории, не подверженной влиянию разлива, г/м^2 ; S_n – площадь нефтяного разлива, м^2 ; $C_{разл.}$ – концентрация растворенной в воде нефти на глубине 1 м , г/м^3 ; $C_{фон.}$ – концентрация растворенной в воде нефти на глубине 1 м за время, предшествующее разливу, г/м^3 ; $V_n = S_n \cdot \delta$ – объем воды, загрязненной растворенной нефтью, м^3 ; δ – толщина пленки нефти, м .

Таблица 18.1 – Снижение величины убытков в случае принятия мер по ликвидации последствий загрязнения водных объектов

Время ликвидации загрязнения, ч	Коэффициент снижения величины убытков, $K_{i,сн}$	Время ликвидации загрязнения, ч	Коэффициент снижения величины убытков, $K_{i,сн}$
До 6 включительно	0.800	108 до 120	0.301
Более 6 до 12 включительно	0.650	120 до 132	0.293
12 до 18	0.500	132 до 144	0.287
18 до 24	0.463	144 до 156	0.280
24 до 30	0.434	156 до 168	0.275
30 до 36	0.412	168 до 180	0.270
36 до 48	0.368	180 до 192	0.266
48 до 60	0.364	192 до 204	0.262
60 до 72	0.346	204 до 216	0.258
72 до 84	0.331	216 до 228	0.254
84 до 96	0.320	228 до 240	0.250
96 до 108	0.310		

Примечание. Время ликвидации загрязнения вод (t) рассчитывается как разница между временем, прошедшим с момента окончания сброса, и временем окончания ликвидации загрязнения вод.

Таблица 18.2 – Таблица для определения величины убытков от загрязнения водных объектов при залповом сбросе нефтепродуктов ($З_n^3$)

P_n , т	$З_n^3$, тыс. у.е.	P_n , т	$З_n^3$, тыс. у.е.	P_n , т	$З_n^3$, тыс. у.е.
0,10	2,00	4	14,20	130	87,50
0,11	2,24	5	15,40	160	90,60
0,13	2,28	6	15,80	200	100,80
0,16	3,00	7,5	17,00	250	110,85
0,20	3,33	9	18,00	300	130,00
0,25	3,50	10	19,70	350	140,45
0,30	3,70	11	22,00	400	150,70
0,35	3,90	13	23,30	500	180,35
0,40	4,00	16	26,00	600	200,95
0,50	4,50	20	28,00	750	240,00
0,75	5,00	25	32,10	900	280,00
0,90	5,80	30	35,00	1000	310,00
1,00	6,00	35	36,70	1100	340,95
1,10	6,40	40	44,70	1300	400,80
1,30	6,90	50	46,90	1500	490,00
1,60	7,50	60	52,45	1800	610,60
2,00	8,87	75	56,20	2000	760,50
2,50	9,50	90	67,40	3000	910,75
3,00	12,00	100	73,10	3500	1060,75
3,50	13,0	110	79,10	4000	1210,00

Примечания:

1. Для определения промежуточных значений $З_n^3$, не вошедших в таблицу, рекомендуется применять интерполяцию между ближайшими значениями $З_n^3$.

2. При значениях $P_n < 0,10$ т величину убытков ($З_n^3$) следует определять в тыс. у.е. по формуле $З_n^3 = 20$ (тыс. у.е./т) · P_n (т).

Таблица 18.3 – Таблица для определения величины убытков от загрязнения водных объектов при установившемся сбросе нефтепродуктов (z_n^y)

P_n , т	z_n^3 , тыс. у.е.	P_n , т	z_n^3 , тыс. у.е.	P_n , т	z_n^3 , тыс. у.е.
0,10	0,2	4	1,42	130	8,75
0,11	0,24	5	1,54	160	9,60
0,13	0,28	6	1,58	200	10,80
0,16	0,3	7,5	1,70	250	11,85
0,20	0,33	9	18,0	300	13,00
0,25	0,35	10	1,97	350	14,45
0,30	0,37	11	2,20	400	15,70
0,35	0,39	13	2,33	500	18,35
0,40	0,40	16	2,60	600	20,95
0,50	0,45	20	2,80	750	24,00
0,75	0,50	25	3,21	900	28,00
0,90	0,58	30	3,50	1000	31,00
1,00	0,60	35	3,67	1100	34,95
1,10	0,64	40	4,47	1300	40,80
1,30	0,69	50	4,69	1500	49,00
1,60	0,77	60	5,24	1800	61,60
2,00	0,87	75	5,62	2000	76,50
2,50	0,95	90	6,74	3000	91,75
3,00	1,20	100	7,31	3500	106,75
3,50	1,38	110	7,91	4000	121

Примечания:

1. Для определения промежуточных значений z_n^y , не вошедших в таблицу, рекомендуется применять интерполяцию между ближайшими значениями z_n^y .

2. При значениях $P_n < 0,10$ т величину убытков (z_n^y) следует определять в тыс. у.е. по формуле: $z_n^y = 2$ (тыс. у.е. /т) · P_n (т).

3. При значениях $P_n > 5000$ т величину убытков (z_n^y) следует определять в тыс. у.е. по формуле $z_n^y = 0,031$ (тыс. у.е. /т) · P_n (т).

18.3 Пример расчета

В результате аварии нефтепровода в водохранилище произведен залповый сброс нефтепродуктов $P_n = 100$ т. За 8 суток ($t = 8 \cdot 24 = 192$ часа) после прекращения сброса было собрано $P_2 = 80$ т нефти, т. е. процент собранных нефтепродуктов от общего состава: $\alpha = (80 \cdot 100) / 100 = 80$ % . При этом документами подтверждено, что за период $t_1 = 6$ ч, после прекращения сброса собрано $P_1 = 26$ т, а за следующие 6 часов ($t_2 = t_1 + n = 12$ часов), было собрано $P_2 = 19$ т нефти.

Найти величину убытков от загрязнения водных объектов при залповом сбросе нефти с учетом его категории и в случае принятия мер по ликвидации последствий загрязнения.

1. Найдем по формуле (18.3) процент собранного загрязняющего вещества за каждый i -й промежуток времени сброса загрязнений в течение всего периода, подтвержденные соответствующими документами

$$P_1=26\text{т}, \Rightarrow \alpha_1 = \frac{P_1}{P_H} \cdot 100 = \frac{26}{100} \cdot 100\% = 26 \%,$$

Т. к. за $t_2=t_1+n=6+6=12$ часов было собрано 19 т нефти $\Rightarrow \alpha_2 = \frac{P_2}{P_H} \cdot 100\% = 19 \%$.

За все остальное время было собрано $80-26-19$, тогда

$$\alpha_3 = \frac{P_\Sigma - P_1 - P_2}{P_H} \cdot 100\% = \frac{80 - 26 - 19}{100} \cdot 100\% = 35 \%,$$

2. По таблице 18.1 устанавливаем коэффициент снижения убытков (K_{CH}):

при $t_1=6$ ч, $K_{1,CH}=0,8$,

при $t_2=12$ ч, $K_{2,CH}=0,65$,

при $t_3=19$ ч, $K_{3,CH}=0,266$.

3. По таблице 18.2 при $P_H=100$ т находим $Z_n^3=73,10$ тыс. у.е.

4. При $K_{кат}=1,1$ (см. табл. 18.1) по формуле (18.4) найдем величину убытков от загрязнения водных объектов при залповом сбросе нефти с учетом его категории:

$$Y_n^3 = Z_n^3 \cdot K_{кат} = 73,10 \cdot 1,1 = 80,41 \text{ тыс. у.е.}$$

5. Таким образом, по формуле (18.1) размер убытка в случае принятия мер по ликвидации последствий загрязнения рассчитается как:

$$Y_{i,CH} = Y_H^3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_1}{100} \cdot K_{CH}^1 - \frac{\alpha_2}{100} \cdot K_{CH}^2 - \frac{\alpha_3}{100} \cdot K_{CH}^3\right)$$

$$Y_{n,CH} = 80,41 \cdot (1 - 0,26 \cdot 0,8 - 0,19 \cdot 0,65 - 0,35 \cdot 0,266) = 46,267 \text{ тыс. у.е.}$$

Задание А (табл. 18.4). В результате аварии нефтепровода в водный объект произведен залповый сброс нефтепродуктов P_H , т. За t суток после прекращения сброса было собрано P_Σ , т нефти. При этом соответствующими документами подтверждено, что за период t_1 , после прекращения сброса собрано P_1 , т, а за следующие n часов ($t_2 = t_1 + n$) было собрано P_2 , т нефти. Найти величину убытков от загрязнения водных объектов при залповом сбросе нефти с учетом его категории и в случае принятия мер по ликвидации последствий загрязнения.

Таблица 18.4 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_n, \text{т}$	110	160	50	75	200	140	50	75	200	250
$t, \text{сут.}$	8	10	1	2	3	8	1	2	3	3
$P_{\Sigma}, \text{т}$	90	130	35	50	170	110	35	50	170	190
$t_1, \text{ч}$	6	8	10	8	16	8	10	8	16	16
$P_1, \text{т}$	21	40	10	10	100	60	10	10	100	110
$n, \text{ч}$	10	15	12	16	15	14	13	12	11	11
$P_2, \text{т}$	19	40	8	10	50	30	10	15	60	70

Задание Б (табл. 18.5). В результате аварии на нефтеперерабатывающем заводе в поверхностный водоем произведен залповый сброс нефтепродуктов P_n . За t суток после прекращения сброса было собрано P_{Σ} т нефти. При этом соответствующими документами подтверждено, что за период t_1 , часов, после прекращения сброса собрано P_1 , т, а за следующие n часов было собрано P_2 , т нефти. Найти величину убытков от загрязнения водных объектов при залповом сбросе нефти с учетом его категории и в случае принятия мер по ликвидации последствий загрязнения.

Таблица 18.5 – Варианты заданий

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P_n, \text{т}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
$t, \text{сут.}$	6	7	7	8	8	9	9	10	10	10
$P_{\Sigma}, \text{т}$	95	100	105	105	110	110	120	120	130	140
$t_1, \text{ч}$	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12
$P_1, \text{т}$	25	30	30	40	40	50	50	50	60	60
$n, \text{ч}$	12	12	13	13	14	14	15	15	15	15
$P_2, \text{т}$	12	16	20	20	30	30	40	50	60	60

Задание В (табл. 18.6). В результате аварии нефтепровода в рыбохозяйственный водоем произведен залповый сброс нефтепродуктов P_n . За 5 суток после прекращения сброса было собрано P_{Σ} т нефти. При этом соответствующими документами подтверждено, что за период t_1 , часов, после прекращения сброса собрано P_1 , т, а за следующие n часов было собрано P_2 т нефти. Найти величину убытков от загрязнения водного объекта нефтепродуктами. Как изменится величина убытков, если в водоем попало такое же количество нефти при установившемся сбросе?

Таблица 18.6 – Варианты заданий

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$P_n, \text{т}$	75	80	80	85	90	90	90	95	100	110
$t, \text{сут.}$	5	5	6	6	7	7	8	9	9	9
$P_{\Sigma}, \text{т}$	71	73	75	80	80	85	85	90	90	100
$t_1, \text{ч}$	12	13	13	14	14	15	15	16	16	16
$P_1, \text{т}$	35	40	40	40	50	50	50	50	50	50
$n, \text{ч}$	20	20	21	16	15	14	13	12	11	11
$P_2, \text{т}$	20	30	32	30	20	30	30	35	35	40

Контрольные вопросы:

1. Какие бывают убытки?
2. Что понимается под загрязнением водных объектов?
3. Какой сброс загрязняющих веществ в водный объект называется залповым, установившимся?
4. Что такое фоновый уровень?
5. Что такое α_i и как оно определяется?
6. Что такое $\kappa_{i,сн}$ и от чего он зависит?
7. Как находится величина убытков от загрязнения водных объектов при залповом сбросе и при установившемся сбросе i -го загрязненного вещества с учетом категории водного объекта?
8. Как определяется масса сброшенных загрязняющих веществ?

Список использованных источников

1. ТКП 17.08-03-2006 Правила расчета выбросов механическими транспортными средствами в населенных пунктах. – Минск : Минприроды, 2006. – 21 с.
2. Оценка воздействия на среду. Практикум для студентов направления 18.03.02 / Л. П. Майорова // Хабаровск. – 2018, 146 с – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pnu.edu.ru/media/filer_public/db/47/db475624-7783-4fc7-aefc-b3b1785e9619/eco-expert-praktikum.pdf.
3. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л., Гидрометеиздательство, 1987. – 93 с.
4. Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе»; Минздрав РБ, Республиканский научно-практический центр гигиены. – Минск, 2008 г.
5. Об утверждении инструкции о порядке отнесения объектов воздействия на атмосферный воздух к определенным категориям : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 29 мая 2009 г. N 30 // Зарегистрировано в Национальном реестре правовых актов Республики Беларусь 29 июня 2009 г. N 8/21120.
6. Комплексное управление отходами : методические указания к практическим работам / сост. Т. С. Благовещенская. – Минск : БНТУ, 2015. – 44 с
7. Нормативы допустимых сбросов, определение необходимой степени очистки сточных вод перед отведением их в водоем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belstu.by/Portals/0/userfiles/77/MY_%20к%20ЛР/EiKSOS/7-Normativi-dopustimih-sbrosov.pdf
7. ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности. в ред. Пост. Минприроды РБ от 18.12.2019 г. № 6-Т. – 139 с.
8. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов тяжелых металлов : ТКП 17.08-14-2011. – Минск : Минприроды, 2011. – 24 с.
10. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека. Практикум : учебное пособие / В. Н. Босак, А. В. Домненкова. – Минск : Вышэйшая школа, 2016. – 192 с.

11. Sultan, G. Первая помощь в несчастных случаях / G. Sultan, E. Schreider. – М.: Издание журнала «Практическая Медицина» (В. С. Эттингер), 2016. – 298 с.
12. Абрамов, М. Г. Неотложная терапевтическая помощь / М. Г. Абрамов. – М. : Государственное издательство медицинской литературы, 2018. – 236 с.
13. Безопасность жизнедеятельности человека : метод. рекомендации к практ. занятиям по общему курсу / сост.: О. Д. Бичан, [и др.]. – Минск : БГУ, 2017. – 39 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/182413/1/Метод%20реком%20по%20БЖЧ.pdf>.
14. О радиационной безопасности населения : Закон Республики Беларусь № 122-З от 05.01.1998 г. // Ведомости Национального собрания РБ. – 1998. – № 5.
15. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : Закон Республики Беларусь № 141-З от 05.05.1998 г. // Ведомости Национального собрания РБ. – 1998. – № 19.
16. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : ТКП 474-2013 (02300). – Минск : НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС РБ, 2013. – 53 с.
17. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами : РД52.04.253-90.
18. Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов : СНБ 2.02.01-98. – Минск : Изд-во Минскстрой архитектуры РБ, 2001. – 11 с.
19. Асаенок, И. С. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие / И. С. Асаенок [и др.]. – Минск, 2000. – 220 с.
20. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций : практикум для студентов экономических специальностей / В. Е. Савенок, А. А. Трутнев. – Витебск : УО «ВГТУ», 2014. – 104 с.
21. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : учеб. пособие. В 3-х ч. Ч. 1. Чрезвычайные ситуации и их предупреждение / С. В. Дорошко, В. Т. Пустовит, Г. И. Морзак. – Минск : УП «Технопринт», 2001. – 222 с.
22. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций : учебно-метод. комплекс для студ. технических, финансово-экономических и юридических спец. / сост. и общ. ред. Э. П. Калвана. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новополоцк : ПГУ, 2006. – 360 с.
23. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт : ТКП 17.08-01-2006 (02120). – Мн. : «БелНИЦ «Экология», с посл. изменениями, 2006.

24. Ковчур, С. Г. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : пособие / С. Г. Ковчур, В. Н. Потоцкий, А. А. Трутнёв. – УО «ВГТУ». – Витебск : УО «ВГТУ», 2006. – 131 с.

25. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. – Минск : Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.

26. Мастрюков, Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях : учебник для студентов высших учебных заведений / Б. С. Мастрюков. – Москва : издательский центр «Академия». – 2004. – 336 с.

27. Михайлов, Л. А. Способы автономного выживания человека в природе : учебник для вузов / Л. А. Михайлов [и др.]; подред. Л. А. Михайлова. – Санкт-Петербург : Питер, 2008. – 271 с.

28. Петров, С. В. Первая помощь в экстремальных ситуациях : практическое пособие / С. В. Петров, В. Г. Бубнов. – Москва : Издательство НЦ ЭНАС, 2007. – 96 с.

29. Радиоактивные загрязнения и их измерение : учеб. пособие / М. Т. Максимов, Г. О. Оджагов. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 304 с.

30. Чрезвычайные ситуации с химически опасными веществами : учеб. пособие для курсантов и слушателей высших учебных заведений по специальности «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» / Э. Р. Бариев [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2008. – 256 с.

31. John H. Duffus. "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report)/ Pure Appl. Chem., 2002, Vol. 74, No. 5, pp. 793–807.

32. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов тяжелых металлов : ТКП 17.08-14-2011 (02120). – Мн. : Минприроды, 2012. – 19 с.

Приложение А

Таблица А.1 – Удельные выбросы веществ группы 1 и потребление топлива в зависимости от скорости движения транспортного потока, г/авт.км

Расчетная модель	Наименование вещества и потребление топлива	Скорость, км/ч											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
ЛБ	СО	32,1	17,1	11,8	9,1	7,4	6,3	5,0	4,5	4,3	4,3	4,5	5,0
	NOx	1,62	1,77	1,94	2,12	2,32	2,53	2,76	3,00	3,25	3,52	3,81	4,11
	VOC	3,9	2,4	1,8	1,5	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7
	CH ₄	0,21	0,17	0,13	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
	Потреблен. топлива	130,5	82,2	69,3	61,7	55,8	51,6	49,2	48,4	49,4	52,1	56,5	62,7
ЛД	СО	1,44	0,97	0,77	0,65	0,57	0,52	0,47	0,44	0,41	0,38	0,36	0,35
	NOx	0,79	0,68	0,59	0,52	0,47	0,44	0,43	0,44	0,48	0,53	0,60	0,69
	VOC	0,53	0,28	0,19	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05
	CH ₄	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	PM	0,37	0,30	0,24	0,20	0,17	0,14	0,13	0,13	0,15	0,17	0,21	0,25
	Потреблен. топлива	99,0	82,4	68,6	57,5	49,3	43,8	41,2	41,4	44,3	50,1	58,6	70,0
ГАБ	СО	43,76	31,94	22,33	14,93	9,73	6,74	5,96	7,39	11,03	16,87	24,92	–
	NOx	2,13	2,31	2,49	2,67	2,85	3,03	3,21	3,39	3,57	3,74	3,92	–
	VOC	4,37	3,40	2,57	1,88	1,32	0,89	0,60	0,45	0,43	0,54	0,80	–
	CH ₄	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	–
	Потреблен. топлива	175,9	148,3	125,1	106,1	91,4	81,0	74,9	73,1	75,6	82,3	93,4	–
ГАД	СО	1,59	1,40	1,24	1,12	1,05	1,01	1,02	1,06	1,14	1,27	1,43	–
	NOx	4,02	3,07	2,29	1,67	1,22	0,93	0,80	0,83	1,03	1,39	1,92	–
	VOC	0,21	0,23	0,29	0,38	0,51	0,68	0,87	1,11	1,38	1,68	2,02	–
	CH ₄	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	–
	PM	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38	–
	Потреблен. топлива	125,8	104,7	88,1	75,7	67,8	64,2	64,9	70,0	79,5	93,3	111,5	–
ГД	СО	7,53	4,65	3,51	2,88	2,46	2,17	1,95	1,78	1,64	1,52	–	–
	NOx	17,08	10,27	7,62	6,17	5,24	4,29	4,13	4,09	4,17	4,37	–	–
	VOC	5,32	2,90	2,03	1,58	1,30	1,10	0,96	0,86	0,77	0,71	–	–
	CH ₄	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	–	–
	PM	1,81	1,09	0,81	0,66	0,56	0,49	0,44	0,40	0,37	0,34	–	–
	Потреблен. топлива	345,2	245,7	201,4	174,9	156,8	147,0	156,8	169,1	183,9	201,3	–	–
АГ	СО	10,62	6,34	4,69	3,78	3,20	2,80	–	–	–	–	–	–
	NOx	27,02	18,86	15,29	13,17	11,73	10,67	–	–	–	–	–	–
	VOC	4,07	1,99	1,31	0,98	0,78	0,64	–	–	–	–	–	–
	CH ₄	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	–	–	–	–	–	–
	PM	1,44	0,87	0,64	0,52	0,44	0,39	–	–	–	–	–	–
	Потреблен. топлива	507,5	376,2	315,8	278,9	253,3	234,1	–	–	–	–	–	–
АМ	СО	9,24	5,16	3,67	2,89	2,39	2,05	1,80	1,61	1,46	1,34	1,23	1,15
	NOx	27,78	17,63	13,51	11,19	9,66	8,26	7,95	7,84	7,94	8,23	8,72	9,41
	VOC	5,74	3,10	2,16	1,68	1,38	1,17	1,02	0,91	0,82	0,74	0,68	0,63
	CH ₄	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
	PM	1,70	1,02	0,76	0,61	0,52	0,45	0,41	0,37	0,34	0,31	0,29	0,27
	Потребление топлива	554,0	381,1	306,2	262,2	232,4	214,6	202,0	198,3	203,6	217,8	241,0	273,0
М	СО	19,72	21,14	22,36	23,38	24,20	24,82	25,49	26,14	26,81	27,50	28,21	–
	NOx	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	–

Расчетная модель	Наименование вещества и потребление топлива	Скорость, км/ч											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	VOC	16,36	13,32	10,98	9,34	8,40	8,16	8,40	8,33	8,31	8,36	8,47	–
	СН4	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	–
	Потребление топлива	39,0	34,9	32,0	30,4	30,0	30,9	32,4	34,0	35,5	37,0	38,3	–

Таблица А.2 – Удельные выбросы загрязняющих веществ при остановке (торможении–разгоне) транспортных средств, г/ост.

Расчетная модель	СО	NOx	VOC	PM	Топливо
М	1,2	0,2	0,2	–	12
ЛБ	3,4	0,5	0,7	–	28
ЛД	1,0	0,25	0,35	0,1	25
ГАБ	18	4,0	1,3	–	40
ГАД	2,4	2,6	0,6	0,2	35
ГД	3,3	3,6	0,8	0,25	70
АГ	3,6	3,9	1,5	0,3	80
АМ	3,5	3,7	1,5	0,3	75

Таблица А.3 – Поправочные коэффициенты, учитывающие зависимость выбросов веществ при остановке МТС от скорости движения транспортного потока

	Изменение скорости движения при торможении–разгоне, км/ч										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Поправочный коэффициент	0,21	0,43	0,64	0,85	1,06	1,28	1,49	1,70	1,91	2,13	

Таблица А.4 – Удельные выбросы загрязняющих веществ при задержке движения (работе на холостом ходу), г/мин

Расчетная модель	СО	NOx	VOC	PM	Топливо
М	4,2	0,02	0,35	–	14
ЛБ	2,8	0,05	0,85	–	28
ЛД	1,2	0,30	0,25	0,01	20
ГАБ	4,5	0,05	2,3	–	35
ГАД	1,5	0,45	0,12	0,01	30
ГД	2,9	0,93	0,3	0,035	60
АГ	4,6	0,60	0,5	0,03	70
АМ	4,6	0,60	0,5	0,03	70

Таблица А.5 – Поправочные коэффициенты, учитывающие зависимость выбросов и потребление топлива от наличия в потоке легковых автомобилей с неразогретыми (холодными) двигателями

Рачет-ная модель	Наименование вещества и потребление топлива	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Ср. За год
ЛБ	СО	2,13	1,90	1,69	1,37	1,26	1,21	1,21	1,13	1,34	1,51	1,69	1,90	1,45
	NOx	1,06	1,05	1,03	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,05	1,02
	VOC	1,75	1,60	1,46	1,25	1,17	1,14	1,14	1,09	1,23	1,34	1,46	1,60	1,30
	CH ₄	1,75	1,60	1,46	1,25	1,17	1,14	1,14	1,09	1,23	1,34	1,46	1,60	1,30
ЛД	СО	1,38	1,30	1,23	1,12	1,09	1,07	1,07	1,04	1,11	1,17	1,23	1,30	1,15
	NOx	1,13	1,10	1,07	1,03	1,02	1,01	1,01	1,00	1,03	1,05	1,07	1,10	1,04

Приложение Б

Таблица Б.1 – Масса вредных веществ, выбрасываемых в единицу времени, г/с

Вариант	Нагретый источник				Холодный источник		
	CO	NO ₂	SO ₂	Взвешенные вещества	Эффективность очистки, %	Пыль древесная	Эффективность очистки, %
1	3,00	0,90	1,20	2,60	80	1,50	74
2	4,50	0,70	1,22	3,14	85	0,15	98
3	8,90	1,20	4,50	3,90	79	1,20	88
4	4,00	0,80	1,80	5,60	76	0,12	95
5	2,10	0,60	0,90	3,30	80	0,15	87
6	3,40	0,90	1,30	2,55	84	0,19	88
7	2,60	0,90	0,95	3,30	85	0,15	75
8	1,40	0,40	0,90	3,00	88	0,24	92
9	2,80	1,20	1,90	3,64	88	0,45	95
10	0,98	0,84	1,20	5,12	73	0,18	95
11	4,40	0,90	1,60	4,20	88	0,35	96
12	3,00	1,10	1,90	2,30	92	0,14	88
13	0,95	0,75	1,08	3,30	84	0,24	91
14	1,6	0,4	1,3	2,2	82	0,46	84
15	4,4	1,6	2,8	3,7	86	0,43	93
16	3,2	0,9	1,3	4,0	80	0,57	92
17	2,8	1,2	1,9	4,2	88	0,24	95
18	5,5	1,2	2,3	6,4	75	0,55	92
19	6,0	1,5	3,9	7,2	80	0,13	96
20	3,3	1,0	2,0	5,0	85	0,47	91

Таблица Б.2 – Параметры источников выбросов

Вариант	Нагретый источник				Холодный источник		
	H, м	D, м	V ₁ , м ³ /с	T _r , °C	H, м	D, м	V ₁ , м ³ /с
1	18	0,40	0,96	140	6,0	0,30	1,30
2	22	0,45	1,60	150	5,8	0,32	1,24
3	20	0,40	0,98	160	6,5	0,40	1,44
4	25	0,45	1,16	175	6,8	0,38	1,02
5	20	0,35	1,55	180	5,8	0,35	1,11
6	25	0,48	1,29	160	8,0	0,40	1,60
7	20	0,36	1,23	315	4,6	0,30	0,80
8	18	0,40	1,40	210	8,2	0,35	0,95
9	20	0,45	0,88	180	12,0	0,40	1,90
10	15	0,65	2,80	180	4,5	0,25	0,56
11	28	0,50	2,20	180	5,5	0,30	0,84
12	30	0,55	2,00	210	6,8	0,42	1,35
13	42	0,42	1,85	315	6,5	0,40	1,02
14	46	0,25	1,45	195	8,0	0,45	1,60
15	32	0,35	2,12	215	7,2	0,35	0,84
16	28	0,40	1,25	180	6,5	0,30	0,94
17	24	0,50	0,98	190	4,9	0,32	0,85
18	36	0,60	1,70	140	4,8	0,25	0,45
19	30	0,55	1,80	180	12,0	0,40	2,12
20	36	0,40	0,45	175	6,0	0,35	0,68

Таблица Б.3 – Среднесуточная температура в жаркий период года, скорость ветра

Города	Средняя максимальная температура воздуха наиболее жаркого месяца года, Тв, °С	Среднегодовая скорость ветра, U, м/с	Максимальная скорость ветра, U _М , м/с
<u>Брестская область</u>			
Брест	24	2,5	22
Барановичи	24	2,8	27
Пинск	24	2,1	22
<u>Витебская область</u>			
Витебск	23	2,0	23
Орша	23	2,8	25
Полоцк	23	2,0	28
<u>Гомельская область</u>			
Василевичи	24	2,2	20
Жлобин	24	2,0	25
Гомель	25	2,0	23
Мозырь	25	2,0	23
<u>Гродненская область</u>			
Волковыск	24	3,3	22
Гродно	23	2,2	23
Лида	22	3,4	22
Новогрудок	23	3,1	23
Ошмяны	23	3,1	23
<u>Минская область</u>			
Борисов	23	2,3	24
Минск	23	1,7	21
Слуцк	24	3,1	26
<u>Могилевская область</u>			
Бобруйск	23	3,4	29
Горки	23	3,5	28
Могилев	24	2,6	24

Таблица Б.4 – Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (в ред. Постановлений Минздрава от 20.11.2017 № 100, от 22.12.2017 № 111, от 09.01.2018 № 6)

Вещество	ПДК м.р. мг/м ³
Азота диоксид (NO ₂)	0,250
Углерода оксид (CO)	5,00
Серы диоксид (SO ₂)	0,500
Взвешенные вещества	0,500
Древесная пыль	0,400

Приложение В

Таблица В.1 – Среднее содержание тяжелых металлов в топливе, потребляемом в Беларуси, г/т

Тип топлива	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Горючие сланцы	–	–	50,0	10,0	0,05	30,0	30,0	10,0
Мазут	0,03	0,07	0,5	0,38	0,05	47,0	1,33	1,7
Природный газ	–	–	–	–	1,4мкг/м ³	–	–	–
Торф фрезерный	3,8	0,14	1,7	1,6	0,08	0,7	1,1	11,0
Торфяные брикеты	5,0	0,19	2,3	2,1	0,1	0,9	1,5	14,5
Дрова топливные, древесные отходы	0,05	0,08	0,31	1,59	0,01	0,62	0,41	6,5

Примечание: As – мышьяк; Cd – кадмий; Cr – хром; Cu – медь; Hg – ртуть; Ni – никель; Pb – свинец; Zn – цинк.

Таблица В.2 – Среднее содержание тяжелых металлов в товарных углях угледобывающих и углеобогащительных предприятий

Технологическая группа (марка) угля	Зольность A ^d , %	As	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Печорского бассейна								
Жирный концентрат, коксующийся	10,7	6,5	15,7	12,7	0,04	14	2,9	7,7
Жирный рядовой, коксующийся	20,9	0,9	30	18	0,04	21	5	10
Крупный рядовой коксующийся	29,7	0,6	50	30	0,1	30	6	15
Кузнецкого бассейна								
Газовый жирный	23,5	1,3	25,7	14,3	0,2	14	9	30,3
Жирный	27,9	0,9	27,6	15,6	0,06	15,1	11,4	32
Коксовый	23,8	1,5	24,5	19,8	0,01	19	10,5	34,3
Коксовый отощенный	18,4	0,2	23	12	0,5	14	9	30
Отощенно спекающийся	17,8	0,2	16	14	0,6	14	12	30
Канско-Ачинского бассейна								
Бурый рядовой	36	–	1,7	1,6	–	1,5	1	15
Донбасского (восточного) бассейна								
Антрацит крупный	10,9	20,5	18	35,3	0,03	22	10,3	22,5
Коксовый	35	1,7	2,7	91,7	0,05	33	23,7	66,3
Коксовый концентрат	8,9	1,08	1,29	64	0,1	34	9	2,3
Подмосковного бассейна								
Бурый концентрат	40,5	0,6	58	17,3	0,2	0,97	1	24,9
Бурый рядовой	38,0	0,9	36,8	18,5	0,25	11,4	12,7	66,1

Таблица В.3 – Доля золы, уносимой дымовыми газами

Вид топок	Топливо	α_y
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой прямого хода	Каменные угли типа Донецкого	0,17
	Каменные угли типа Кузнецкого	0,20
	Донецкий антрацит	0,10
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода	Каменные угли типа Донецкого	0,15
	Каменные угли типа Кузнецкого	0,15
	Бурые угли типа Подмосковного	0,11
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода	Бурые угли типа Азейского	0,15
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и решеткой с поворотными колосниками	Каменные угли типа Донецкого	0,15
	Каменные угли типа Кузнецкого	0,20
	Бурые угли типа Азейского	0,20
Камерные топки с твердым шлакоудалением	Каменные угли, бурые угли, фрезерный торф	0,95
Камерные топки	Мазут	0,05
	Дизельное, печное бытовое топливо	0,045
Топки шахтные, шахтно-цепные, скоростного горения	Торф фрезерный	0,08
	Торфяные брикеты	0,06
	Дрова	0,2
	Опилки	0,2
Слоевые топки бытовых теплогенераторов	Дрова	0,025

Таблица В.4 – Доля перехода тяжелых металлов в золу (R_i) и коэффициент обогащения тяжелыми металлами летучей золы (f_e) при сжигании топлива

Показатель	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
R_i	1	1	1	1	0,5	1	1	1
f_e	2,5	2,5	1,5	1,5	1	1,5	2,5	2,5

**Таблица В.5 – Удельные показатели выбросов тяжелых металлов
при сжигании топлива, г/т**

Установ-ка	Топли-во	Эффективность золоулавливания, %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
твердое топливо											
Котлы, камерные топки, твердое шлакоудаление	Уголь каменный и бурый	70–90	1,9	0,02	0,8	0,9	0,02	0,9	0,7	3,4	
		≥90	0,48	0,006	0,12	0,13	0,004	0,13	0,17	0,86	
	Торф фрезерный	70–90	1,1	0,0	0,5	0,5	0,02	0,2	0,3	3,1	
		≥90	0,36	0,01	0,16	0,15	0,01	0,07	0,1	1,05	
Котлы, слоевые топки	Уголь каменный и бурый	70–90	0,9	0,01	0,37	0,42	0,01	0,41	0,32	1,63	
		≥90	0,3	0,004	0,12	0,14	0,003	0,14	0,11	0,54	
	Торф фрезерный	70–90	0,17	0,01	0,08	0,07	0,004	0,03	0,05	0,5	
		≥90	0,06	0,002	0,03	0,02	0,001	0,01	0,02	0,17	
	Торфяные брикеты	70–90	0,23	0,01	0,1	0,09	0,005	0,04	0,07	0,65	
		≥90	0,08	0,003	0,03	0,03	0,002	0,01	0,02	0,22	
	Дрова, древесн. отходы	70–90	0,002	0,004	0,01	0,07	0,00	0,03	0,02	0,29	
		≥90	0,001	0,001	0,005	0,024	0,0002	0,009	0,006	0,098	
	Печи, бытовые котлы	Торфяные брикеты	Без очистки	0,5	0,02	0,23	0,21	0,01	0,09	0,15	1,45
		Дрова, древесн. отходы	Без очистки	0,01	0,01	0,03	0,16	0,00	0,06	0,04	0,65
жидкое и газообразное топливо											
–	Мазут топочный и прочее ЖТ	–	0,02	0,05	0,48	0,36	0,05	44,65	1,26	1,62	
–	Топливо печное быт.	–	–	0,01	0,05	0,3	–	0,5	1,0	1,0	

Таблица В.6 – Удельные показатели выбросов тяжелых металлов от производственных процессов, г/т продукта

Установка	Система пылегазоочистки и эффективность, %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Электродуговые печи по выплавке стали	Рукавные фильтры, 90–99	0,03	0,74	0,12	1,6	0,007	0,14	6	100
Индукционные печи по выплавке чугуна и стали	Рукавные фильтры, 90–99	0,005	0,01	0,05	0,75	0,005	0,8	0,4	7,5
Печи обжига клинкерного кирпича	Электрофильтры <97	0,008	0,04	0,03	0,10	0,12	0,04	0,6	8,75
	Электрофильтры >97	0,002	0,009	0,006	0,02	0,03	0,01	0,15	2,1
Стекловаренная печь, хрустальное стекло	Рукавные фильтры, >90	4,7	0,001	0,017	0,003	0,00	0,001	270	1,7
Стекловаренная печь, тарное и листовое стекло	Без очистки	0,12	0,15	2,4	0,6	0,05	1,9	12	11
Цементные мельницы	–	0,02	0,015	0,05	0,095	0,001	0,015	0,25	2,5

Таблица В.7 – Удельные показатели выбросов тяжелых металлов при сжигании отходов, г/т отходов

Наименование отходов	Эффективность пылегазоочистки, %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Древесные отходы загрязненные хим. веществами	70–90	0,01	0,004	0,012	0,044	0,002	0,008	0,05	0,86
	≥ 90	0,005	0,002	0,006	0,022	0,001	0,004	0,025	0,43
Отходы химических производств	70–90	0,01	0,6	0,06	0,6	0,6	0,02	7	4,2
	≥ 90	0,005	0,3	0,03	0,3	0,3	0,01	3,5	2,1
Отработанные нефтепродукты	Без очистки	0,02	0,05	0,48	0,36	0,05	44,65	1,26	1,62
Медицинские отходы	≥ 90	0,005	0,3	0,03	0,3	0,3	0,01	3,5	2,1
Отходы жизнедеятельности населения и отходы производства	Без очистки	0,05	1,4	0,06	1,5	0,24	0,5	9,8	12,8
	70–90	0,01	0,28	0,012	0,3	0,048	0,1	1,96	2,56
	≥ 90	0,005	0,14	0,006	0,15	0,024	0,05	0,98	1,28

Учебное издание

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Практикум

Составители:

Савенок Владимир Евгеньевич
Скобова Наталья Викторовна

Редактор *Т.А. Осипова*
Корректор *А.В. Пухальская*
Компьютерная верстка *В.А. Сяборова*

Подписано к печати 18.11.2020. Формат 60x90¹/₁₆. Усл. печ. листов 11,1.
Уч.-изд. листов 14,3. Тираж 50 экз. Заказ № 322.

Учреждение образования

«Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет»

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017