

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

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Практикум для студентов специальностей:
6-05-0311-02 «Экономика и управление», 6-05-0412-04 «Маркетинг»,
6-05-0411-02 «Финансы и кредит», дневная форма обучения

Витебск
2024

УДК 658.382.3(075.83)

Составитель:
к.т.н., доц. Скобова Н. В.

Одобрено кафедрой «Экология и химические технологии»
УО «ВГТУ», протокол № 1 от 03.09.2024.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 1 от 23.09.2024.

Безопасность жизнедеятельности человека : практикум / сост.
Н. В. Скобова. – Витебск : УО «ВГТУ», 2024. – 132 с.

Практикум разработан для студентов специальностей: 6-05-0311-02 «Экономика и управление», 6-05-0412-04 «Маркетинг», 6-05-0411-02 «Финансы и кредит» дневной формы обучения. Для решения практических задач приведены методические указания и алгоритм расчета необходимых показателей, представлен справочный материал. Методические задания по тематике внедрения схемы обращения с отходами составлены по результатам стажировки в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет». Практикум разработан на основе учебной программы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности человека».

УДК 658.382.3(075.83)

© УО «ВГТУ», 2024

Содержание

Практическая работа 1. Экологическая безопасность выбросов от автотранспорта	4
Практическая работа 2. Расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе	11
Практическая работа 3. Расчет нормативов допустимых сбросов сточных вод перед отведением в поверхностные водоемы	19
Практическая работа 4. Расчет полигона размещения отходов производства с потенциалом выработки биогаза	24
Практическая работа 5. Оценка эффективности внедрения схемы обращения с отходами	32
Практическая работа 6. Определение эффективности проведения мероприятий по борьбе с физическими загрязнениями окружающей среды	39
Практическая работа 7. Экологические аспекты питания человека	47
Практическая работа 8. Оценка инженерной защиты персонала объектов экономики в чрезвычайных ситуациях	55
Практическая работа 9. Оценка химической обстановки на химически опасных объектах	64
Практическая работа 10. Оценка пожарной обстановки	79
Практическая работа 11. Оценка обстановки при наводнении	94
Практическая работа 12. Оценка энергосбережение в производстве при использовании регуляторов расхода тепловой энергии	103
Практическая работа 13. Оценка энергопотребления встроенного помещения административного здания	110
Список использованных источников	120
Приложение А. Масса вредных веществ, выбрасываемых в единицу времени	122
Приложение Б. Зависимость коэффициентов экономического ущерба от уровня шумового загрязнения	124
Приложение В. Калорийность некоторых продуктов питания	125

Практическая работа 1.

Экологическая безопасность выбросов от автотранспорта

Цель работы: провести оценку экологической безопасности выбросов выхлопных газов автомобилей.

1.1 Основные сведения

Под токсичностью выбросов двигателя автомобиля понимают способность выбросов двигателя оказывать токсическое воздействие на людей, животный мир. Оно определяется следующими факторами:

- составом токсичных веществ;
- абсолютным количеством выбросов токсичных веществ в единицу времени (или на единицу пути, пройденного автомобилем);
- физико-химическими законами превращения химических соединений в атмосфере;
- геофизическими законами распространения токсичных веществ;
- чувствительностью живых организмов.

По мере роста автомобильного парка стандарты на ограничение выбросов токсичных веществ введены во многих странах мира, в зависимости от концентрации автомобилей, климатических, рельефных условий и других факторов.

К факторам, оказывающих существенное влияние на уровень токсичных выбросов, относят: условия движения автомобиля (режимы работы двигателя); температуру окружающей среды; техническое состояние двигателя.

Наибольшее количество загрязняющих веществ приходится на автомобили устаревших моделей. В автомобилях, выпускаемых в настоящее время в промышленно развитых странах, вредных выбросов в 10–15 раз меньше.

В таблице 1.1 приведены требования по различным веществам выхлопа в зависимости от вида потребляемого топлива.

В отработавших газах автомобилей в период замедления движения содержится большое количество углеводородов. При движении автомобиля с постоянной скоростью количество токсичных выбросов значительно меньше. Максимальный выброс СО наблюдается при работе на холостом ходу, а при ускоренном движении автомобиля отработавшие газы характеризуются максимальным выбросом NO_x. В выхлопных газах содержатся канцерогенные соединения (вещества, способствующие развитию раковых заболеваний), например, бенз(а)пирен.

Таким образом, состав выхлопных газов зависит как от типа двигателя, так и от режима работы транспорта, что важно учитывать при реализации природоохранных мероприятий.

Загрязнение воздуха городов токсичными веществами, выбрасываемыми автотранспортом, обуславливает во многих случаях концентрации токсичных веществ в воздухе в зоне дыхания, во много раз превышающие безвредные для здоровья человека. Выбросы токсичных веществ автомобилями зависят как от технического совершенства автомобилей и их двигателей, так и от экологических свойств моторных топлив.

Таблица 1.1 – Нормы токсичности автомобилей для европейских стран

Наименование стандартов	Год введения	Содержание в выхлопе, г/кВт ч			
		NO _x	Оксид углерода	Углеводород C _m H _n	Твердые частицы
		дизельный двигатель			
Евро-1	1993	не опр.	3,16	1,1	0,18
Евро-2	1996	не опр.	1,00	1,1	0,08
Евро-3	1999	0,5	0,64	0,6	0,05
Евро-4	2005	0,25	0,5	–	0,025
Евро-5	2008	0,18	0,5	–	0,005
Евро-6	2015	0,08	0,5		0,005
бензиновый двигатель					
Евро-1	1993	не опр.	3,16	не опр.	0,18
Евро-2	1996	не опр.	2,2	1,1	0,08
Евро-3	1999	0,15	2,3	0,2	0,05
Евро-4	2005	0,08	1,0	0,1	0,025
Евро-5	2008	0,06	1,0	0,1	0,005
Евро-6	2015	0,06	1,0	0,1	0,005
Евро-6D temp	2015	0,06	1,0	0,1	0,0045

Различают два основных метода снижения уровня токсичности вредных выбросов. Первичный метод основан на снижении содержания в остаточных газах CO, CH, NO_x за счет оптимизации рабочего процесса (использование альтернативных видов топлива, и организация рабочего процесса, регулировки, применение различных добавок к топливам и т. д.). Вторичный метод направлен на удаление вредных примесей уже на выходе из цилиндра двигателя. Применяется каталитическое обезвреживание выбросов, включающее фильтрацию от сажи и аэрозолей на пористых материалах с периодической термической регенерацией фильтра, каталитическое дожигание

газообразных продуктов неполного сгорания на катализаторах и многое другое.

1.2 Выполнение работы

Задание. Автомобильный парк предприятия представлен двумя видами машин: с бензиновыми и дизельными двигателями внутреннего сгорания [1].

Средний пробег одного автомобиля составляет 10 000 км/год.

Для снижения токсичных выбросов, производимых автомобилями предприятия, предложены 2 альтернативных природоохранных мероприятия (ПОМ):

– применение трехкомпонентных каталитических нейтрализаторов для автомобилей с бензиновыми двигателями и комбинированной системы фильтр-нейтрализатор для автомобилей с дизельными двигателями (первое природоохранное мероприятие – ПОМ1);

– применение многофункциональной присадки к бензинам и дизельным топливам (второе природоохранное мероприятие – ПОМ2).

Для оценки экологической безопасности выбросов необходимо:

1. Оценить суммарную токсичность выбросов автомобилями с бензиновыми и дизельными двигателями за год до проведения природоохранного мероприятия и по двум вариантам предложенных природоохранных мероприятий.

Расчет ведется отдельно для автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями.

Результаты расчетов представить в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты расчетов суммарной токсичности выбросов автомобилей с бензиновым и дизельным двигателем

Суммарная токсичность выбросов автомобиля, кг/год						
вариант	с бензиновым двигателем			с дизельным двигателем		
	до ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	до ПОМ	ПОМ1	ПОМ2
	$M_{CO}^{бензин(0)}$	$M_{CO}^{бензин(1)}$	$M_{CO}^{бензин(2)}$	$M_{CO}^{дизель(0)}$	$M_{CO}^{дизель(1)}$	$M_{CO}^{дизель(2)}$

Методика оценки суммарной токсичности выбросов

Если при сжигании 1 кг топлива выделяется количество токсичного вещества A (m_A) и предельно допустимая среднесуточная концентрация его равна ПДК_A, то концентрация вещества A в воздухе будет равна ПДК_A.

Суммарное загрязнение воздуха различными токсичными веществами можно рассчитать через количество одного вещества m_A , принятого за эталон, по формуле:

$$m_A = \sum \frac{m_i}{\text{ПДК}_i} \cdot \text{ПДК}_A. \quad (1.1)$$

Примем за эталон оксид углерода СО. Тогда суммарное загрязнение воздуха токсичными веществами, образующимися при сжигании 1 кг моторного топлива, будет определяться по формуле:

$$m_{CO} = \sum \frac{m_i}{\text{ПДК}_i} \cdot \text{ПДК}_{CO}. \quad (1.2)$$

где m_{CO} – суммарное загрязнение воздуха токсичными веществами, г/км; m_i – количество i -го токсичного вещества, выбрасываемого автомобилем за километр пробега, г/км; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го токсичного вещества, мг/м³; ПДК_{CO} – предельно допустимая концентрация оксида углерода СО, мг/м³.

Суммарное загрязнение воздуха токсичными веществами, образующимися при сжигании 1 кг **бензина**, определяются по формуле:

$$m_{CO}^{\text{бензин}} = \left(\frac{m_{CO}}{\text{ПДК}_{CO}} + \frac{m_{NO_2}}{\text{ПДК}_{NO_2}} + \frac{m_{C_mH_n}}{\text{ПДК}_{C_mH_n}} \right) \cdot \text{ПДК}_{CO}. \quad (1.3)$$

где $m_{CO}, m_{NO_2}, m_{C_mH_n}$ – количество СО, NO₂, C_mH_n, выбрасываемых автомобилем с бензиновым двигателем за километр пробега, г/км (табл. 1.4); $\text{ПДК}_{CO}, \text{ПДК}_{NO_2}, \text{ПДК}_{C_mH_n}$ – предельно допустимые концентрации СО, NO₂, C_mH_n, мг/м³ (табл 1.3).

Таблица 1.3 – Среднесуточные ПДК основных токсичных компонентов отработавших газов

Вещество	ПДКсс, мг/м ³
NO ₂	0,04
СО	3
C _m H _n	0,04
Твердые частицы (сажа)	0,05

Суммарное загрязнение воздуха токсичными веществами, образующимися при сжигании 1 кг **дизельного топлива**, определяются по формуле:

$$m_{CO}^{\text{дизель}} = \left(\frac{m_{CO}}{ПДК_{CO}} + \frac{m_{NO_2}}{ПДК_{NO_2}} + \frac{m_{C_mH_n}}{ПДК_{C_mH_n}} + \frac{m_{сажа}}{ПДК_{сажа}} \right) \cdot ПДК_{CO}. \quad (1.4)$$

где $m_{CO}, m_{NO_2}, m_{C_mH_n}, m_{сажа}$ – количество CO, NO₂, C_nH_m, сажи, выбрасываемых автомобилем с дизельным двигателем за километр пробега, г/км (табл. 1.5); $ПДК_{CO}, ПДК_{NO_2}, ПДК_{C_mH_n}, ПДК_{сажа}$ – предельно допустимые концентрации CO, NO₂, C_nH_m, сажи, мг/м³ (табл. 1.3).

Для оценки суммарной токсичности выбросов автомобилями фирмы за год необходимо учитывать среднегодовой пробег L .

Суммарная токсичность годовых выбросов одним автомобилем M_{CO} , кг, определяется по формуле:

$$M_{CO} = m_{CO} \cdot L \cdot 10^{-3}. \quad (1.5)$$

где M_{CO} – суммарная токсичность годовых выбросов одним автомобилем, кг/год; m_{CO} – суммарное загрязнение воздуха токсичными веществами на километр пробега автомобиля, г/км; L – среднегодовой пробег, км/год; 10^{-3} – коэффициент перевода годовых выбросов в килограммы.

2. Определить долю основных компонентов отработавших газов в суммарной токсичности выбросов.

Доля в суммарной токсичности (n_i) любого выбрасываемого вещества (%) рассчитывается по формуле:

$$n_i = \frac{m_i / ПДК_i}{\sum (m_i / ПДК_i)} 100\%. \quad (1.6)$$

где m_i – количество i -го токсичного вещества, выбрасываемого автомобилем за километр пробега, г/км; $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация i -го токсичного вещества, мг/м³ (табл. 1.3).

Для автомобиля с бензиновым двигателем внутреннего сгорания:

$$n_{CO} = \frac{m_{CO} / ПДК_{CO}}{m_{CO} / ПДК_{CO} + m_{NO_2} / ПДК_{NO_2} + m_{C_mH_n} / ПДК_{C_mH_n}} 100\%, \quad (1.7)$$

$$n_{NO_2} = \frac{m_{NO_2} / ПДК_{NO_2}}{m_{CO} / ПДК_{CO} + m_{NO_2} / ПДК_{NO_2} + m_{C_mH_n} / ПДК_{C_mH_n}} 100\%, \quad (1.8)$$

$$n_{C_mH_n} = \frac{m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n}}{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n}} \cdot 100\%. \quad (1.9)$$

где $m_{CO}, m_{NO_2}, m_{C_mH_n}$ – количества CO, NO₂, C_mH_n, выбрасываемых автомобилем с бензиновым двигателем за километр пробега, г/км (табл. 1.4); $\text{ПДК}_{CO}, \text{ПДК}_{NO_2}, \text{ПДК}_{C_mH_n}$ – предельно допустимые концентрации CO, NO₂, C_mH_n, мг/м³ (табл. 1.3).

Для автомобиля с дизельным двигателем внутреннего сгорания:

$$n_{CO} = \frac{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO}}{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n} + m_{сажа}/\text{ПДК}_{сажа}} \cdot 100\%. \quad (1.10)$$

$$n_{NO_2} = \frac{m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2}}{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n} + m_{сажа}/\text{ПДК}_{сажа}} \cdot 100\%. \quad (1.11)$$

$$n_{C_mH_n} = \frac{m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n}}{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n} + m_{сажа}/\text{ПДК}_{сажа}} \cdot 100\%. \quad (1.12)$$

$$n_{сажа} = \frac{m_{сажа}/\text{ПДК}_{сажа}}{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n} + m_{сажа}/\text{ПДК}_{сажа}} \cdot 100\%. \quad (1.13)$$

где $m_{CO}, m_{NO_2}, m_{C_mH_n}, m_{сажа}$ – количества CO, NO₂, C_nH_m, сажи, выбрасываемых автомобилем с дизельным двигателем за километр пробега, г/км (табл. 1.5); $\text{ПДК}_{CO}, \text{ПДК}_{NO_2}, \text{ПДК}_{C_mH_n}, \text{ПДК}_{сажа}$ – предельно допустимые концентрации CO, NO₂, C_mH_n, сажи, мг/м³ (табл. 1.3).

3. По результатам расчетов построить гистограммы суммарной токсичности выбросов автомобилей, (кг/год) до ПОМ, после ПОМ1 и ПОМ2.

4. Проанализировать экологическую эффективность предлагаемых природоохранных мероприятий и сделать вывод о целесообразности использования одного из двух предлагаемых природоохранных мероприятий.

Таблица 1.4 – Выбросы токсичных веществ автомобилем с бензиновым двигателем

Вариант	Количество токсичного вещества, выбрасываемого автомобилем с бензиновым								
	CO			NO ₂			C _n H _m		
	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,7	0,07	0,49	0,07	0,03	0,04	0,08	0,008	0,05

Окончание таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2,72	0,3	1,9	0,47	0,19	0,33	0,5	0,01	0,33
3	2,20	0,2	1,4	0,25	0,05	0,18	0,5	0,05	0,33
4	1,50	0,2	1,0	0,14	0,03	0,1	0,17	0,02	0,11
5	2,0	0,2	1,3	0,17	0,03	0,13	0,25	0,03	0,16
6	12,4	1,24	8,6	1,0	0,76	0,41	2,11	0,21	1,37
7	7,0	1,40	4,9	0,21	0,08	0,16	0,26	0,05	0,17
8	5,5	1,1	3,9	0,17	0,08	0,12	0,02	0,02	0,13
9	3,0	0,3	2,1	0,2	0,07	0,15	0,3	0,03	0,19
10	2,0	0,2	1,4	0,19	0,08	0,14	0,23	0,02	0,13
11	1,8	0,2	1,26	0,12	0,05	0,14	0,16	0,02	0,1
12	9,0	1,0	6,3	1,5	0,6	1,11	1,8	0,18	1,1
13	4,0	0,4	2,8	0,7	0,28	0,51	0,9	0,09	0,59
14	1,6	0,2	1,2	0,15	0,06	0,11	0,19	0,03	0,12
15	1,7	0,3	1,2	0,16	0,06	0,11	0,2	0,02	0,13
16	1,8	0,4	1,3	0,2	0,08	0,14	0,25	0,04	0,14
17	1,9	0,2	1,3	0,21	0,08	0,14	0,25	0,03	0,14
18	2,0	0,2	1,4	0,2	0,08	0,14	0,26	0,03	0,17
19	2,0	0,2	1,4	0,18	0,07	0,13	0,22	0,02	0,14
20	2,3	0,4	1,6	0,22	0,08	0,14	0,27	0,03	0,18
21	1,8	0,3	1,1	0,18	0,08	0,14	0,23	0,02	0,15
22	3,0	0,4	2,2	0,6	0,18	0,42	0,27	0,026	0,16
23	7,0	1,2	5,2	1,2	0,84	0,38	1,5	0,015	1,13
24	5,2	1,0	3,6	0,16	0,05	0,12	1,25	0,2	0,73
25	2,7	0,6	1,9	0,19	0,04	0,14	0,19	0,04	0,11
26	2,8	0,3	2,2	0,18	0,07	0,12	0,09	0,009	0,04
27	1,8	0,2	1,6	1,2	0,46	0,31	0,4	0,01	0,29
28	2,45	0,3	1,75	0,39	0,09	0,12	0,35	0,03	0,13
29	5,20	0,5	3,4	0,22	0,05	0,11	1,8	0,18	1,2
30	10,4	1,04	6,6	1,0	0,66	0,38	0,7	0,07	0,29

Таблица 1.5 – Выбросы токсичных веществ автомобилем с дизельным двигателем

Вариант	Количество токсичного вещества, выбрасываемого автомобилем с дизельным двигателем т, г/км											
	СО			NO ₂			CnHm			Сажа		
	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,47	0,09	0,33	0,25	0,25	0,19	0,05	0,01	0,03	0,025	0,013	0,015
2	2,72	0,03	2,31	0,47	0,47	0,3	0,5	0,1	0,33	0,14	0,07	0,08
3	1,0	0,1	2,3	0,46	0,46	0,29	0,23	0,02	0,15	0,08	0,04	0,04
4	0,6	0,06	0,5	0,5	0,5	0,39	0,06	0,0001	0,04	0,05	0,03	0,03
5	0,8	0,08	0,68	0,7	0,7	0,5	0,08	0,0001	0,05	0,06	0,03	0,03
6	3,1	0,3	2,6	5,6	5,6	4,2	1,1	0,1	0,72	0,18	0,09	0,09
7	2,3	0,0001	1,9	2,5	2,5	1,88	0,9	0,02	0,59	0,2	0,1	0,1
8	2,0	0,2	1,7	5,0	5,0	3,75	1,2	0,1	0,78	0,19	0,1	0,1
9	1,5	0,2	1,28	5,4	5,4	4,2	1,0	0,1	0,65	0,14	0,07	0,07
10	0,9	0,0001	0,77	0,49	0,49	0,36	0,16	0,0001	0,1	0,08	0,04	0,04

Окончание таблицы 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
11	0,5	0,0001	0,43	0,6	0,6	0,45	0,05	0,0001	0,03	0,05	0,03	0,03
12	2,4	0,2	2,0	4,2	4,2	3,27	0,7	0,07	0,46	0,15	0,07	0,07
13	1,3	0,1	1,0	5,2	5,2	4,06	1,1	0,14	0,9	0,21	0,11	0,11
14	0,7	0,0001	0,6	0,7	0,7	0,55	0,07	0,0001	0,05	0,07	0,05	0,05
15	0,8	0,0001	0,7	0,9	0,9	0,7	0,08	0,0001	0,05	0,06	0,03	0,03
16	0,9	0,0001	0,8	0,8	0,8	0,6	0,09	0,0001	0,06	0,08	0,04	0,04
17	0,6	0,0001	0,5	0,6	0,6	0,45	0,06	0,0001	0,04	0,06	0,03	0,03
18	2,1	0,2	1,8	5,0	5,0	0,38	0,66	0,07	0,43	0,1	0,05	0,05
19	1,5	0,1	1,3	3,5	3,5	2,63	0,46	0,05	0,29	0,04	0,02	0,02
20	4,0	0,4	3,4	7,0	7,0	5,3	1,1	0,1	0,7	0,15	0,07	0,07
21	3,3	0,33	1,3	4,2	4,2	3,2	1,8	0,18	0,9	0,41	0,22	0,22
22	2,6	0,3	2,0	5,2	5,1	2,27	0,85	0,075	0,26	0,11	0,065	0,055
23	2,22	0,022	1,31	0,77	0,67	0,35	0,8	0,25	0,13	0,14	0,09	0,07
24	3,1	0,45	2,5	4,0	4,1	0,32	0,36	0,06	0,33	0,12	0,056	0,049
25	1,8	0,08	0,48	0,7	0,7	0,5	0,08	0,0001	0,05	0,06	0,03	0,03
26	0,6	0,001	0,33	0,8	0,8	0,35	0,04	0,0001	0,02	0,04	0,02	0,02
27	2,9	0,2	2,1	0,7	0,7	0,5	0,19	0,004	0,09	0,07	0,035	0,04
28	3,0	0,3	1,9	4,0	4,0	2,75	1,8	0,14	0,8	0,19	0,12	0,11
29	2,5	0,2	1,5	4,5	4,5	2,53	0,36	0,06	0,19	0,08	0,04	0,04
30	0,8	0,0003	0,67	0,59	0,39	0,29	0,19	0,0006	0,12	0,09	0,05	0,06

Контрольные вопросы

1. Какие факторы уличного движения влияют на количество выбрасываемых загрязняющих веществ?
2. Какой евро-класс автомобилей запрещен к эксплуатации в промышленности?
3. Что понимают под токсичностью выхлопных газов?
4. Назовите методы снижения уровня токсичности выхлопных газов.
5. Какие показатели учитываются при оценке суммарной токсичности выбросов?

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].

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 [2].

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 [3].

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; наземные, $H \leq 2$ м.

Рассеивание – это перенос и усреднение концентрации примесей в атмосфере. 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)

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).

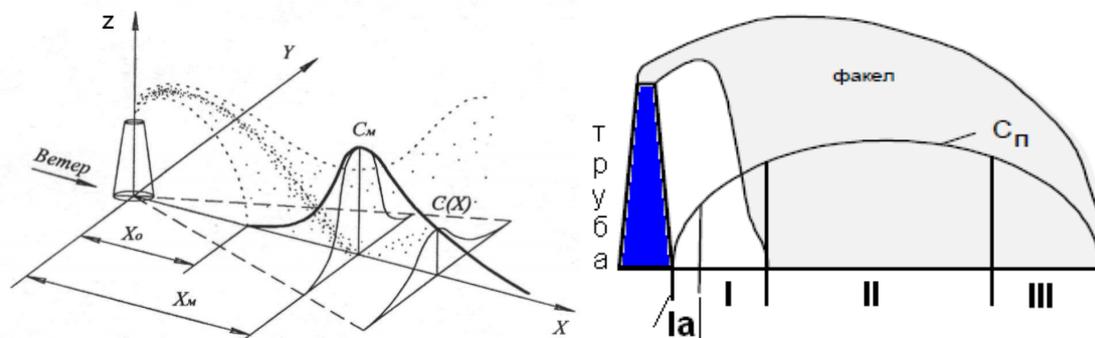


Рисунок 2.1 – Схема распределения концентраций примесей в приземном слое

Рисунок 2.2 – Распространение примесей в атмосфере:

- I – зона переброски факела;
- Ia – зона неорганизованного загрязнения;
- II – зона задымления;
- III – зона постепенного снижения концентраций

Метеопараметры.

Ветер. 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 $1^\circ\text{C}/100\text{ м}$ высоты. При определенных условиях наступает инверсия – состояние атмосферы, характеризующееся отклонениями температурного градиента. В инверсионных условиях ослабляется турбулентный обмен, что ведет к ухудшению рассеивания и увеличению приземных концентраций.

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.

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 Выполнения работы

Исходные данные

1. Подготовить исходные данные, используя таблицы приложения А (табл. А.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 (приложение А табл. А.2) записать в виде таблицы:

<u>Нагретый источник</u>	<u>Холодный источник</u>
Высота источника выброса $H =$	$H =$
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 (приложение А, табл. А.3)

$$T_B = \quad ; U =$$

4. Место расположения объекта и объект (приложение А табл. А.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 ($\text{м}^3/\text{с}$), D – диаметр устья источника выброса (м), ΔT – разность между температурой, выбрасываемой газовой смеси T_{Γ} и температурой окружающего атмосферного воздуха T_{ϵ} ($^{\circ}\text{C}$).

$$\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\epsilon}, \quad (2.2)$$

2. Рассчитать значения параметров: фактор критерия нагретости – f , f_{ϵ} , вспомогательные параметры – v_M , v'_M .

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

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

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

$$f_{\epsilon} = 800 \cdot (v'_M)^3, \quad (2.6)$$

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 :

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

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

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 (исх. данные); F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе ($F = 1$ для газообразных веществ и мелкодисперсных аэрозолей, скорость упорядоченного оседания которых равна 0; $F = 2$ для мелкодисперсных аэрозолей при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов η_z не менее 90 %; $F = 2,5$ при η_z от 75 до 90 %; $F = 3$ при η_z менее 75 % и при отсутствии очистки. Значения η_z указаны в варианте задания (приложение А, табл. А.1)); m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси

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 смесью $T^Г$ и температурой окружающего воздуха $T^В$, °С.

Значение $T^В$ 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:

$$УЗ = \frac{C_M}{ПДК_{М.Р.}} \leq 1. \quad (2.12)$$

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

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

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

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

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

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

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

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 $v_M \leq 0,5$	$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_s})$	$d = 5,7$
$0,5 < v_M \leq 2$	$d = 4,95 \cdot v_M \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_s})$	$d = 11,4 \cdot v'_M$
$v_M > 2$	$d = 7 \cdot \sqrt{v_M} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_s})$	$d = 16 \cdot \sqrt{v'_M}$

7. 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 $v_M \leq 0,5$	$U_M = 0,5$	$v'_M \leq 0,5$	$U_M = 0,5$
$0,5 < v_M \leq 2$	$U_M = v_M$	$0,5 < v'_M \leq 2$	$U_M = v'_M$
$v_M > 2$	$U_M = v_M \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f})$	$v'_M > 2$	$U_M = 2,2 \cdot \sqrt{v'_M}$

8. 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 приложению А таблица А3.

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

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

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

при $\left(\frac{U}{U_M}\right) \leq 1$

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

Контрольные вопросы

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

Практическая работа 3.

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.

3.1 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 [4, 5].

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. 3.1).

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.

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 ($C_{дс}$), то нормативы допустимых сбросов устанавливаются исходя из фактических концентраций загрязняющих веществ в составе отводимых вод при условии, что они не превышают проектные значения концентраций.

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.

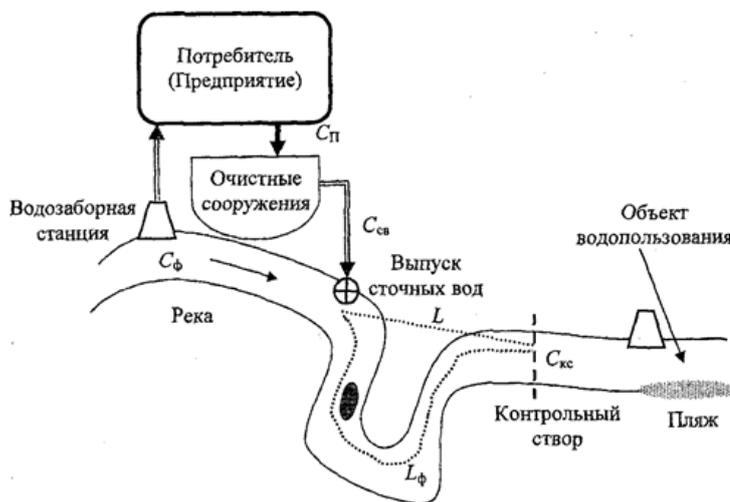


Рисунок 3.1 – Схема выпуска сточных вод в поверхностный водный объект

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

$$\text{НДС}_i = q \cdot C_{дсi} \quad (3.1)$$

где q – максимальный часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 $C_{дсi}$ – допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в сбрасываемых сточных водах, $\text{мг}/\text{дм}^3$.

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

$$C_{max} = q \cdot C_{ДСi} \cdot 10^{-6} \quad (3.2)$$

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

$$C_{ДСi} = [(n - 1) \cdot (C_{ПДКi} - C_{фи})] + C_{ПДКi} \quad (3.3)$$

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; $C_{фи}$ – фоновая концентрация i -го вещества в воде водотока выше выпуска сточных вод, мг/дм³.

Концентрацию вещества в расчетном створе $C_{р.с.}$ рассчитывают:

$$C_{р.с.i} = [(C_{ДСi} - C_{фи})/n] + C_{фи} \quad (3.4)$$

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

$$n = (q + k_{см} \cdot Q)/q \quad (3.5)$$

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

$$k_{см} = \frac{1 - e^{-k_{ry} \cdot \sqrt[3]{l_{\phi}}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-k_{ry} \cdot \sqrt[3]{l_{\phi}}}} \quad (3.6)$$

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:

$$k_{ry} = k_{изв} \cdot k_{вып} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}} \quad (3.7)$$

где $k_{изв}$ – коэффициент извилистости, определяемый как отношение расстояния от места выпуска сточных вод в водоток до контрольного створа по фарватеру водотока ($l\phi$) 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, м²/с.

Коэффициент турбулентной диффузии (D , м²/с) рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{V_{ср} \cdot H_{ср}}{200} \quad (3.8)$$

где $V_{ср}$ – средняя скорость течения воды в створе выпуска сточных вод, м/с; $H_{ср}$ – средняя глубина реки, м.

Все вещества относятся к различным группам по лимитирующему показателю вредности (ЛПВ), под которым понимается наиболее вероятное неблагоприятное воздействие каждого вещества. В водоемах питьевого и культурно-бытового назначения все вещества делятся на три группы по ЛПВ: санитарно-токсикологические, общесанитарные и органолептические.

При расчете требуемой степени очистки по веществам, относящимся к одной группе ЛПВ, требуется, используя рассчитанные по формуле (3.4) значения $C_{РСi}$ для каждого вещества группы, проверить условие:

$$\frac{C_{РС1}}{C_{ПДК1}} + \frac{C_{РС2}}{C_{ПДК2}} + \dots + \frac{C_{РСi}}{C_{ПДKi}} \leq 1 \quad (3.9)$$

Если приведенное условие выполняется, то очистка сточных вод от веществ, входящих в рассматриваемую группу ЛПВ, не требуется. В противном случае из группы рассматриваемых веществ выбирают вещество с наибольшим отношением $\frac{C_{РСi}}{C_{ПДKi}}$ и для него определяют допустимую концентрацию $C_{ПДKi}$ в расчетном створе, при которой соблюдается вышеприведенное условие, по формуле (без учета вещества с наибольшим отношением $\frac{C_{РСi}}{C_{ПДKi}}$):

$$C_{ПДKi} = ПДК_i \cdot \left[1 - \left(\frac{C_{РС1}}{C_{ПДК1}} + \frac{C_{РС2}}{C_{ПДК2}} + \dots + \frac{C_{РСi-1}}{C_{ПДKi-1}} \right) \right] \quad (3.10)$$

Далее, подставив в формулу (3.3) полученное значение $C_{ПДKi}$, рассчитывают $C_{ДСi}$, которое будет соответствовать допустимой концентрации вещества в сточных водах, сбрасываемых в водный

объект, и определяют требуемую эффективность очистки для веществ рассматриваемой группы ЛПВ по формуле:

$$\varepsilon = \frac{C_{св} - C_{дс}}{C_{св}} \quad (3.11)$$

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

3.2 Выполнение работы

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

Расход воды в реке Q , м³/с, средняя скорость течения $K_{ср}$, м/с, средняя глубина реки $H_{ср}$, 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 табл. 3.1 и 3.2. Выпуск сточных вод осуществляется в стрежень реки.

ЛВП: *общесанитарный* – аммиак, ацетон, капролактам, кобальт, медь, никель; *санитарно-токсикологический* – бензол, молибден, мышьяк; *органолептический* – ксилол, хлорофос.

Задание 2. Определить, как изменится НДС, если:

- а) в результате строительства выше по течению реки химического комбината фоновая концентрация увеличилась на 28 %;
- б) на рассматриваемом предприятии проведена модернизация очистных сооружений, в результате чего концентрация загрязняющих веществ в сточных водах снизилась на 50 %.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Характеристика	номер варианта												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Q , м ³ /с	45	48	52	55	35	38	42	30	65	68	58	70	75
$V_{ср}$, 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
$H_{ср}$, 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

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	49	55	49	56	44	54	34	64	38	48	58	68	70
$V_{CP}, \text{ м/с}$	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
$H_{CP}, \text{ м}$	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
$l, \text{ км}$	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
$l_{\text{прям}}, \text{ км}$	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
$q, \text{ м}^3/\text{с}$	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 3.2 – Характеристика загрязняющих веществ

Вещество	вариант													ПДК мг/д м ³	Сфм г/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
ко- бальт	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
молиб- ден	2,4		0,5	3,5		0,9	4,8	5,2		24	0,9	12		0,25	0,03
мышь- як			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	0,00 08

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 4.

Расчет полигона размещения отходов производства с потенциалом выработки биогаза

Цель работы: получить практические навыки определения основных показателей полигонов твёрдых бытовых отходов, характеризующих степень из воздействия на окружающую среду, рассчитать количество образующегося биогаза.

4.1 Общие сведения

В Республике Беларусь ежегодно образуется более 1,5 млн т отходов потребления. Практически полностью (98 %) твердые бытовые отходы (далее – ТБО) захораниваются на полигонах, которые занимают большие площади. В Республике Беларусь 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 противofiltrационными 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 %.

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 CO_2 -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_{Π}^1 , м.
1. Определение удельной нормы образования Y_2 (м³/челгод) 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:

за год:

$$E_{T1} = \frac{Y_1 + Y_2}{2} \cdot \frac{N_1 + N_2}{2} \cdot \frac{K_2}{K_1}$$

за время T :

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

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_{Π}^1 (м).

Масса отходов, вывозимых на полигон, за год:

$$G = E_{T1} \cdot \rho_{отх} \quad (4.3)$$

где $\rho_{отх}$ – плотность отходов ТБО (0,2–0,4 т/м³).

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}' , 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 :

$$S_{\text{ус}} = 3 \cdot \frac{V}{H} = 3 \cdot \frac{E_T}{H_{\Pi}'} \quad (4.4)$$

Вокруг участка складирования отходов должна 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 $S_{\text{ус}}$ для размещения вспомогательной зоны $S_{\text{доп}}$ (принимаем $S_{\text{доп}} = 0,6$ га) и проездных дорог (коэффициент 1,1):

$$S_{\Pi} = 1,1 \cdot S_{\text{ус}} + S_{\text{доп}} \quad (4.5)$$

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. Зная объем усеченной пирамиды V , m^3 («холма» ТБО) и общую вместимость полигона E_T , m^3 можно уточнить высоту полигона H_{Π} , м:

$$H_{\Pi} = \frac{3 \cdot E_T}{(S_{\text{ус}} + S_B + \sqrt{S_{\text{ус}} \cdot S_B})} \quad (4.6)$$

где S_B – площадь верхнего основания пирамиды, m^2 .

Принимаем $S_B = 40 \times 40 \text{ м}^2$.

Определяют требуемый объем грунта V_T , m^3 :

$$V_T = E_T \cdot \left(1 - \frac{1}{K_2}\right) \quad (4.7)$$

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

$$H_K = 1,1 \cdot \frac{V_T}{S_{yc}} \quad (4.8)$$

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

$$H_{BO} = H_{II} - H_K + 1 \quad (4.9)$$

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

IV. Оценка количества биогаза, образующегося на полигоне

Задание. 1. Рассчитать удельный выход биогаза за период его активной стабилизированной генерации при метановом брожении и количественный выход биогаза за год.

2. Определить плотность выделяющегося биогаза, если концентрации его компонентов, полученные анализами, следующие (мг/м^3): $\text{CH}_4 - 1,25$; $\text{CO}_2 - 0,78$; $\text{N}_2 - 0,02$; $\text{H}_2\text{S} - 0,01$.

3. Рассчитать максимальные разовые выбросы и валовые выбросы.

Продуктом анаэробного разложения органической составляющей отходов является биогаз, представляющий собой в основном смесь метана и углекислого газа. Система сбора биогаза состоит из нескольких рядов вертикальных колодцев (газодренажных скважин) или горизонтальных траншей. Последние заполнены песком или щебнем и перфорированными трубами.

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

$$Q = 10^{-4} \cdot R \cdot (0,92 \cdot Ж + 0,62 \cdot У + 0,34 \cdot Б), \quad (4.10)$$

а с учетом влажности отходов выход биогаза при метановом брожении реальных влажных отходов:

$$\begin{aligned} Q_w &= 10^{-4} \cdot R \cdot 10^{-2} \cdot (100 - W) \cdot (0,92 \cdot Ж + 0,62 \cdot У + 0,34 \cdot Б) = \\ &= 10^{-6} \cdot R \cdot (100 - W) \cdot (0,92 \cdot Ж + 0,62 \cdot У + 0,34 \cdot Б) \end{aligned} \quad (4.11)$$

где Q – удельный выход биогаза за период его активной генерации, кг/кг отходов; R – содержание органической составляющей в отходах, %, ($R = 55$ %); $Ж$ – содержание жироподобных веществ в органике

отходов, %, ($Ж = 2$ %); $У$ – содержание углеводоподобных веществ в органике отходов, %, ($У = 83$ %); $Б$ – содержание белковых веществ в органике отходов, %, ($Б = 15$ %); $10^{-2} (11 - W)$ – сомножитель учитывает какова доля абсолютно сухих отходов в общем количестве реальных влажных отходов.

W – средняя влажность отходов $W = 47$ %. R , $Ж$, $У$ и $Б$ определяются анализами забираемых проб отходов.

Для определения плотности биогаза, $кг/м^3$, применяется формула:

$$\rho_{б.г.} = 10^{-6} \sum_{i=1}^n C_i, \quad (4.12)$$

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

Количественный выход биогаза за год ($кг/т$ отходов в год), отнесённый к одной тонне отходов, определяется по формуле:

$$P_{уд} = \frac{Q_w}{t_{сбр}}, \quad (4.13)$$

где $t_{сбр}$ – период полного сбразивания органической части отходов, лет, определяемый по приближённой эмпирической формуле:

$$t_{сбр} = \frac{10248}{T_{тепл} \cdot t_{ср.тепл} \cdot 0,301966}, \quad (4.14)$$

где $t_{ср.тепл}$ – средняя из среднемесячных температура воздуха в районе полигона твёрдых бытовых и промышленных отходов (ТБО и ПО) за тёплый период года ($t = 10,2$ °С) ; $T_{тепл}$ – продолжительность тёплого периода года в районе полигона ТБО и ПО, дни; 10248 и 0,301966 – удельные коэффициенты, учитывающие термическое разложение органики.

Для расчёта величин выбросов подсчитывается количество активных отходов, стабильно генерирующих биогаз, с учётом того, что период стабильного активного выхода биогаза в среднем составляет 20 лет и что фаза анаэробного стабильного разложения органической составляющей отходов наступает спустя в среднем 2 года после захоронения отходов, то есть отходы, завезённые в последние два года, не входят в число активных.

Таким образом, если полигон функционирует менее 20 лет, то учитываются все отходы, за исключением завезённых в последние 2 года (18 лет учитывают), а если полигон функционирует более 20 лет, то учитываются только отходы, завезённые в последние 20 лет (учитывают 20 лет), за исключением отходов, ввезённых в последние 2 года.

Количество активных отходов, стабильно генерирующих биогаз:

$$\Sigma D = G \cdot T_{\text{ТБО}} \quad (4.15)$$

где G – масса вывозимых на полигон отходов за год, т; $T_{\text{ТБО}}$ – срок функционирования полигона, лет

Например, вывозят отходы в количестве $G = 13200$ т в год, полигон функционирует 20 лет. Тогда, с учетом вышесказанного, количество D равно:

$$\Sigma D = 13200 \cdot (20 - 2) = 237600 \text{ т}, \quad (4.16)$$

Максимальные разовые выбросы i -го компонента биогаза с полигона, г/с, определяются по формуле:

$$M_i = 0,01 \cdot C_{\text{вес.}i} \cdot M_{\text{сум}} \quad (4.17)$$

где

$$M_{\text{сум}} = \frac{P_{\text{уд}} \Sigma D}{24 \cdot 3600 \cdot T_{\text{тепл}}} \cdot 10^3, \text{ г/с} \quad (4.18)$$

где $T_{\text{тепл}}$ – продолжительность тёплого периода года в районе полигона ТБО, дней; $C_{\text{вес.}i}$ – весовое процентное содержание компонентов, определяется по таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Весовое процентное содержание компонентов в биогазе

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

Биогаз образуется неравномерно в зависимости от времени года. При отрицательных температурах процесс «мезофильного сбраживания» органической части ТБО и ПО прекращается, происходит т. н. «законсервирование» до наступления более тёплого периода года ($t_{\text{ср.мес.}} > 0 \text{ } ^\circ\text{C}$).

Приведённая формула для вычисления максимального разового выброса i -го компонента справедлива только в тёплый период года ($t_{\text{ср.мес.}} > 8 \text{ } ^\circ\text{C}$). При обследовании в более холодное время

($0 < t_{cp.мес.} \leq 8^{\circ}C$), что нецелесообразно хотя бы из-за дополнительных погрешностей измерения, в формуле следует применять повышающий коэффициент неравномерности образования биогаза 1,3.

С учётом коэффициента неравномерности валовые выбросы i -го загрязняющего вещества с полигона, т/год, определяются по формуле:

$$G_{сум} = M_{сум} \left(\frac{a \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} + \frac{b \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12 \cdot 1.3} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (4.19)$$

$$G_i = 0.01 \cdot C_{вес.i} \cdot G_{сум}, \quad (4.20)$$

где a и b – периоды, соответственно, тёплого и холодного периода года в месяцах (a при $t_{cp.мес.} > 8^{\circ}C$, $a = 5$ месяцев; b – при $0 < t_{cp.мес.} \leq 8^{\circ}C$, $b = 2$ месяца).

Таблица 4.4 – Исходные данные (варианты)

№ вар.	N_1 , тыс. чел	N_2 , тыс. чел	$N_{П1}$, м	Численность обслуживаемого региона, чел.	Расчетный срок эксплуатации, лет	Годовая удельная норма накопления ТБО, м ³ /чел
1	2	3	4	5	6	7
1	350	500	20	250 000	15	1,1
2	1 300	2 000	40	100 000	16	1,3
3	280	450	25	150 000	15	1,5
4	630	1 000	30	200 000	17	1,1
5	410	800	30	250 000	15	1,1
6	250	520	20	300 000	19	1,3
7	1 100	1 800	35	350 000	15	1,5
8	800	1 100	30	400 000	18	1,1
9	425	630	30	150 000	15	1,1
10	370	530	30	225 000	17	1,3
11	1 600	2 200	40	345 500	16	1,5
12	1 025	1 500	40	276 000	19	1,1
13	220	390	20	265 000	20	1,1
14	420	610	25	297 000	15	1,3
15	550	950	25	175 000	15	1,5
16	1 310	2 000	40	200 500	20	1,1
17	355	940	20	100 000	15	1,4
18	820	1 300	30	155 000	20	1,3
19	225	475	20	122 000	20	1,5
20	510	975	25	225 000	20	1,1
21	1 400	1 900	40	223 000	18	1,1
22	345	420	20	273 500	15	1,3
23	660	1 400	25	244 000	19	1,5
24	1 250	2 300	40	294 500	20	1,1
25	440	710	25	265 000	20	1,4
26	590	1150	20	355 000	17	1,4

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7
27	820	1720	25	196 000	18	1,4
28	1000	1890	20	165 000	20	1,4
29	1100	2460	40	270 000	20	1,3
30	960	2540	40	197 500	20	1,2

Контрольные вопросы

1. Что такое полигон? Что на нем размещают?
2. Требования к размещению полигона.
3. От чего зависит вместимость полигона?
4. Почему в течение года биогаз выделяется неравномерно?

Практическая работа 5.

Оценка эффективности внедрения схемы обращения с отходами

Цель работы: оценить эффективность внедрения схемы обращения с отходами с включением одного из этапов – рассортировки коммунальных отходов населением в местах их сбора.

5.1 Основные сведения

Коммунальные отходы – отходы потребления, а также отходы производства, включенные в утверждаемый Министерством жилищно-коммунального хозяйства перечень отходов, относящихся к коммунальным отходам.

Перечень отходов утвержден постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 26.12.2019 № 31 «Об установлении перечня отходов, относящихся к коммунальным отходам».

В настоящее время обращение с коммунальными отходами регулируется ТКП 17.11-08-2020 (33040/33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила обращения с коммунальными отходами» (далее – ТКП), утвержденным и введенным в действие постановлением Министерством жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь совместно с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30.07.2020 № 13/4 Т. Данный документ будет переработан. Специалисты института «Белжилпроект» завершили работу над первой

редакцией проекта технического кодекса (от 01.08.2024), который устанавливает правила обращения с коммунальными отходами.

Проблема сортировки коммунальных отходов позволит решить ряд проблем урбанизированных районов:

– экологическая составляющая: снижение количества захораниваемых отходов позволит избежать попадания продуктов разложения в почву, воду, снижая тем самым риск отравления живых организмов и растений, риск возникновения заболеваний у человека;

– появление дополнительного дохода у населения за счет сдачи в пункты приемки вторично перерабатываемых видов отходов: макулатуры, пластика, металлолома и стеклотары;

– сокращение площадей земель под организацию полигонов для захоронения отходов, целевое использование освободившихся площадей;

– снижение потребление природных ресурсов за счет вторичного использования отходов.

В г. Витебске согласно решению Витебского городского исполнительного комитета от 23 августа 2023 г. № 939 «Об установлении нормативов образования твердых коммунальных отходов» [7] норматив образования отходов на 1 человека составляет 0,72-0,73 кг/сут (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Нормативы образования твердых коммунальных отходов

Объект образования ТКО	Расчетная единица	Фонд времени образования отходов, сут	Норматив образования ТКО				Средняя плотность отходов, кг/м ³
			Средне-годовой		Средне-суточный		
			кг	м ³	кг	л	
Многоквартирные жилые дома г. Витебска	1 человек	365	267,41	2,53	0,73	6,95	105,49
Одноквартирные и блокированные жилые дома г. Витебска	1 человек	365	262,23	2,86	0,72	7,84	91,64

Примечание: 1 л = 0,001 м³

5.2 Выполнение работы

1. Расчет затрат на покупку контейнеров под отдельный сбор ТБО на конкретный район (см. задание).

1.1 Расчет общей жилой площади домов $S_{зас}$ предлагаемого района:

$$S_{зас} = S_1 \cdot n_1 + S_2 \cdot n_2 + S_3 \cdot n_3, \text{ м}^2 \quad (5.1)$$

где S_1, S_2, S_3 – жилая площадь соответственно однокомнатных, двухкомнатных и трехкомнатных квартир, n_1, n_2, n_3 – количество соответствующих квартир (по заданию).

1.2 Согласно Жилищного Кодекса Республики Беларусь норма жилой площади на одного гражданина является 15 м^2 для всех населенных пунктов кроме г. Минска (для столицы 10 м^2).

Тогда усредненное количество проживающих составит:

$$Ч_{нас} = \frac{S_{зас}}{15} \quad (5.2)$$

1.3 Рассчитаем плотность населения в этом районе:

$$П_{нас} = \frac{Ч_{нас}}{S_{зас}}, \text{ чел/м}^2 \quad (5.3)$$

где $Ч_{нас}$ – численность населения во всех домах оцениваемого района, чел.

1.4 Расчет количества мусорных контейнеров, устанавливаемых возле жилого дома, для чего необходимы следующие данные:

- Численность жителей, которые будут пользоваться мусорными баками ($Ч_{нас}$).

- Количество мусора, выбрасываемого каждым жителем, которое принимается равным усредненному нормативному показателю накопления ТБО на 1 человека за год и измеряется в куб. м (табл. 5.1).

- Период накопления ТБО в баках, зависящий от графика вывоза мусора (спецавтобаза забирает мусор в понедельник, среду и пятницу).

1.5 Объем контейнера, который планируется использовать. Согласно ТКП 17.11-08-2020 [8] для сбора смешанных ТБО используются стандартные контейнеры объемом 1100 л либо контейнеры заглубленного типа. Металлические и пластиковые емкости большого объема ($2,5\text{--}5 \text{ м}^3$) – применяются для сбора ТБО в густонаселенных жилых массивах.

Также должны быть учтены особенности заполнения емкостей, для этого вводятся специальные коэффициенты, учитывающие:

- неравномерность наполнения бака;

– необходимость заполнения контейнера мусором не до самого верха;

– повторное заполнение бака мусором, сметенным с площадки после вывоза ТБО.

Определим суточное накопление мусора $V_{сут}$ по формуле:

$$V_{сут} = \frac{q_{нас} \cdot N \cdot K_H}{365}, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (5.4)$$

где N – норма накопления мусора на 1 жителя в год, м^3 (табл. 5.1); $K_H = 1,25$ – коэффициент, учитывающий неравномерность накопления отходов; 365 – число дней в году.

Далее производится расчет числа контейнеров по формуле:

$$K = \frac{V_{сут} \cdot T \cdot K_P}{V \cdot K_3}, \text{ шт} \quad (5.5)$$

где T – период накопления отходов в баке, если вывоз ТБО осуществляется 1 раз в 3 дня, значит, $T = 3$; $K_P = 1,05$ – коэффициент, учитывающий повторное наполнение бака мусором, оставшимся после выгрузки; V – объем выбранного контейнера, м^3 ; $K_3 = 0,75$ – коэффициент заполнения бака, предусматривающий наполнение его мусором только на $\frac{3}{4}$.

1.6 На одной контейнерной площадке не может устанавливаться более 4 стандартных контейнеров для сбора отходов, вывозимых на захоронение.

Рассчитать количество контейнерных площадок при установке контейнеров объемом 1100 л и при замене их на более вместительные – 2,5 м^3 .

2. Ежедневно на полигон г. Витебска вывозится 822 кг твердых коммунальных отходов, морфологический состав которых приведен в таблице 5.2. Составьте таблицу морфологического состава твердых коммунальных отходов и выберите на ваше усмотрение те отходы, которые могут быть отправлены на вторичную переработку, выпишите массу и определите процент содержания компонентов в отсортированных отходах (табл. 5.2).

2.1 Определим процент извлечения вторичного сырья $P_{изв}$ (отношение суммарной массы извлекаемого вторичного сырья к массе сортируемых отходов), из поступающих на сортировку отходов:

$$P_{изв} = k_{сорт} \cdot \sum(k_i \cdot P_i), \text{ мас.}\% \quad (5.6)$$

где $k_{\text{сорт}}$ – коэффициент эффективности процесса сортировки, принимаем равным 1, так как отходы на сортировочной ленте будем считать условно чистыми («сухими»); k_i – коэффициент извлечения i -го компонента (табл. 5.3); P_i – содержание i -го компонента в сортируемых отходах, мас. % (табл. 5.2).

Расчет потенциального извлечения вторичных материальных ресурсов из ТКО, представим в виде таблицы 5.4.

Таблица 5.2 – Морфологический состав твердых коммунальных отходов до и после отсортировки вторичных отходов

Отходы	Поступило на полигон в сутки		Плотность ТБО в контейнере, ρ кг/м ³	Количество отходов после отсортировки	
	%	кг		кг	%
<i>Смешанная бумага, всего</i>	5,7	46,9	60		
из них, смешанное волокно	3,2	26,4	60		
Газеты	0,5	4,1	100		
Картон	2,0	16,4	50–70		
<i>Пластик, всего</i>	33,28	273,6			
Из них, ПЭТ	16,57	136,2	18–38		
Полиэтилен	4,11	33,9	13–15		
Тетрапак	3,2	26,3	18–38		
Полистирол	0,5	4,1	35		
Смешанный пластик	8,9	73,1	26–36		
<i>Металл, всего</i>	1,68	13,8			
Из них Черный металл	1,5	12,4	80–100		
Алюминий	0,18	1,4	37 (банки)		
<i>Стекло</i>	8,9	73,1	300 (бутылки)		
<i>Текстиль</i>	2,9	23,8	160–180		
<i>Органические отходы, всего</i>	29,5	242,5			
дерево	0,5	4,1	220		
Кожа/резина	1	8,2	200–250		
Садово-парковый мусор	1	8,2	70		
Пищевые отходы	27	222	450–550		
<i>Другие отходы</i>	18,04	148,3	–		
Всего	100	822	–		

Таблица 5.3 – Коэффициенты извлечения отдельных компонентов и их закупочная стоимость в пунктах сбора ОАО «БЕЛВТОРРЕСУРСЫ» [9]

Компонент	Коэффициент извлечения	Примечание	Цена за 1 т без НДС, Ц _{вр} руб
Макулатура	0,2–0,5	Обычно сильно загрязнены пищевыми отходами	60,00
Пленка	0,3–0,6		350,00
ПЭТФ – бутылка	0,6–0,8	Отбираются хорошо, т. к. устойчивы к намоканию	350,00
Стекло	0,3–0,8		10,00
Черные металлы	0,6–0,8	Использование магнитного сепаратора	850,82
Цветные металлы	0,2–0,8	Преимущественно алюминиевая банка	4376,46

Таблица 5.4 – Потенциальное извлечение вторичных материальных ресурсов

Компонент	Количество отходов P_i , %	Коэффициент извлечения, k_i	Процент извлечения, мас.% (формула 5)	Количество вторичных отходов в сутки $M_{вт}$, кг
1	2	3	4	5
				= $Y \cdot \text{ст.4}/X$
...				
Всего	100	-	X	$Y = 822 \cdot X/100$

Примечание: «-» ставим в компоненте, который не извлекается

2.2 Определим общий объем накапливаемых вторичных отходов $V_{вт}$, используя значения массы и плотности для каждого отсортированного i -го компонента (табл. 5.2 и 5.4):

$$V_{вт} = \sum \frac{M_{втi}}{\rho_i} \quad (5.7)$$

2.3 Предлагаемые мероприятия к внедрению включают отдельный сбор отходов населением на контейнерных площадках для исключения его последующей рассортировки на мусороперерабатывающем предприятии. Поэтому рассчитаем количество контейнеров для сбора вторичных отходов при условии объема одного контейнера $V = 0,75 \text{ м}^3$:

$$K = \frac{V_{вт}}{V} \quad (5.8)$$

3. Определим стоимость затрат на покупку контейнеров для сбора вторичных отходов, зная стоимость одного контейнера объемом до 12 м^3 – 87 руб.:

$$Z_{\text{конт}} = C_{1\text{к}} \cdot K \quad (5.9)$$

где $C_{1\text{к}}$ – цена одного контейнера, руб.

4. Определим доход от реализации вторичных отходов на пунктах сбора:

$$D_{\text{сут}} = \sum C_{\text{ври}} \cdot M_{\text{вти}}, \text{ руб/сут} \quad (5.10)$$

где $C_{\text{ври}}$ – цена закупки 1 кг i -го компонента вторсырья с учетом НДС (20 %), руб.

Так как вывоз мусора осуществляют три раза в неделю, т. е. 12 раз в месяц, то доход в месяц составит:

$$D_{\text{мес}} = D_{\text{сут}} \cdot 12, \text{ руб} \quad (5.11)$$

А за год:

$$D_{\text{год}} = D_{\text{мес}} \cdot 12, \text{ руб} \quad (5.12)$$

5. Определим срок окупаемости предлагаемого метода:

$$T = \frac{Z_{\text{конт}}}{D_{\text{год}}}, \text{ год} \quad (5.13)$$

Задание. Рассмотрим двор, располагающийся в микрорайоне Черемушки ул. Газеты «Витьбичи» (рис. 5.1), в котором построены четыре 10-ти этажных дома:

№ 2 – 5 подъездов 200 квартир, из них 75 однокомнатных квартир, 85 двухкомнатных, 40 трехкомнатных.

№ 4 – 1 подъезд 40 квартир, из них 20 квартир однокомнатные и 20 двухкомнатные;

№ 6 и № 8 – по 120 квартир по 3 подъезда, из них в каждом доме по 45 однокомнатных квартир, по 51 двухкомнатных, по 24 трехкомнатных.

В домах № 2, № 6 и № 8 однокомнатные квартиры имеют жилую площадь $18,84 \text{ м}^2$, 2х комнатные – $31,15 \text{ м}^2$; 3 комнатные – $40,05 \text{ м}^2$.

В доме № 4 однокомнатные квартиры имеют жилую площадь $24,14 \text{ м}^2$, двухкомнатные – $43,99 \text{ м}^2$.

Задача: определить эффективность раздельного сбора отходов населением в пределах контейнерной площадки.

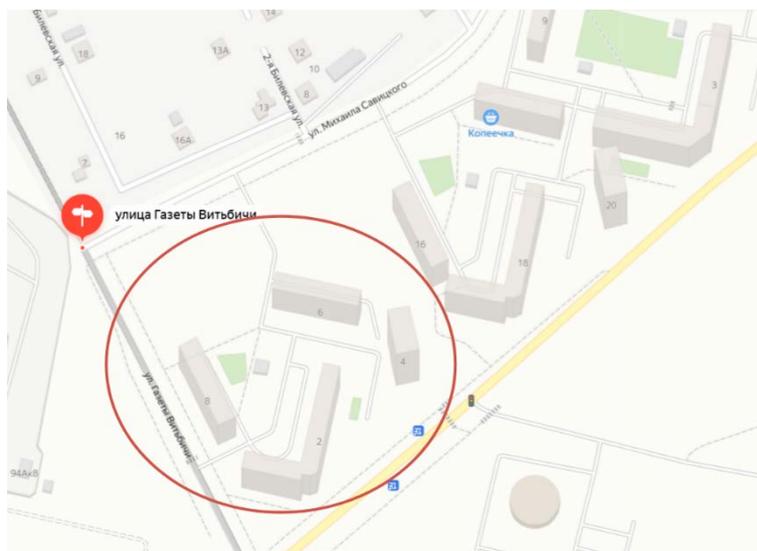


Рисунок 5.1 – Схема района с расположением домов

Контрольные вопросы:

1. Какие отходы подлежат вторичной переработке?
2. Условия складирования отходов.
3. Кто и каким образом организует вывоз и захоронение отходов?
4. Ваши предложения по агитации населения к активной позиции в отношении раздельного сбора мусора.

Практическая работа 6.

Определение эффективности проведения мероприятий по борьбе с физическими загрязнениями окружающей среды

Цель работы: изучить методику расчета экономической эффективности мероприятий по борьбе с физическими загрязнителями атмосферного воздуха.

6.1 Основные сведения

Источники шумового загрязнения, его воздействие на живые организмы и меры борьбы с ним.

Звук называют механические колебания, которые воспринимаются слуховым аппаратом человека – от 16 до 20 тысяч колебаний в секунду. Колебания большей частоты называют ультразвуком, меньшей – инфразвуком.

Шум – один из опасных загрязнителей атмосферы. Он, как правило, непостоянен, не накапливается, не переносится на большие

расстояния. Вместе с тем шум снижает качество жизни и наносит вред здоровью человека: вызывает головные боли, повреждение органов слуха, нервные расстройства, сужение кровеносных сосудов и, как следствие, увеличение артериального давления. Звуковые волны способствуют оползням, селям и лавинам в горах, ускоряют разрушение построек [10].

Измеряется шум в децибелах (дБ). Примеры уровня звукового давления от различных источников представлены в таблице 6.1.

Минимальное звуковое давление, воспринимаемое ухом человека, называется пороговым. Для оценки шума введена величина, называемая уровнем шума (звука), или уровнем звукового давления – выраженное в логарифмических единицах отношение среднего квадратического значения звукового давления J в определенной полосе частот к стандартизованному исходному значению звукового давления J_0 , равному $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

В соответствии с пунктом 6 Положения о порядке проведения аттестации рабочих мест по условиям труда, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 февраля 2008 г. № 253, оценка фактического состояния условий труда на рабочем месте при аттестации производится в порядке, определяемом Министерством труда и социальной защиты. В таблице 6.2 представлены значения ПДУ (предельно допустимого уровня) шума для некоторых помещений и территорий.

Таблица 6.1 – Уровни звукового давления от различных источников

Звуковое давление (дБ)	Источники шума
10	шелест листьев и волны прибоя
40	тихая музыка в жилом помещении
60	нормальная речь
70	работа телевизора со средней громкостью
80	шумная улица, гудок автомобиля, шум трамвая
110	работа мотоцикла или отбойного молотка
130	рев реактивного двигателя самолета
140	болевого предел для человека

Шум от конкретных источников согласно стандарту, измеряется на расстоянии 7,5 м от осевой линии движения. На этом расстоянии уровни шума от единичных легковых и грузопассажирских автомобилей должны быть не более 77 дБ, автобусов – 83 дБ, грузовых – 84дБ, самых тяжелых мотоциклов – 85 дБ.

Основным методом борьбы с шумом на транспорте является улучшение конструкции машин, более жесткие технологические требования, особенно:

- уменьшение дисбаланса роторов;
- установка глушителей; переход на электротягу;
- улучшение стыковки рельсов (для рельсового транспорта);
- установка амортизирующих прокладок, гребнесмазывателей и др.

Для нивелирования действия стационарных регулируемых шумовых источников, например, аэропортов при невозможности отселения жителей, применяют следующие меры:

- тройное остекление окон с отдельными переплетами. При закрытых окнах шум уменьшается в 2,5 раза;

- оптимальное размещение предприятий;

- создания объездов, развязок – на основе шумовых карт;

- градостроительные мероприятия: уменьшенное остекление домов вдоль транспортных магистралей, применение отдельных оконных переплетов, увеличение плотности естественных и искусственных экранов;

- посадка зеленых насаждений. Установлено, что два ряда среднерослых деревьев, высаженных на расстоянии 50 м от здания, уменьшают шум примерно на 20 дБ. Лесопосадки вдоль железной дороги снижают шум на 0,1–0,2 дБ на метр ширины насаждений (а для плотных зеленых изгородей даже на 0,5 дБ на один метр).

Электромагнитное загрязнение возникает в результате изменений электромагнитных свойств среды, приводящих к нарушениям работы электронных систем и изменениям в тонких клеточных и молекулярных биологических структурах.

Таблица 6.2 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и максимальные уровни звука проникающего шума в помещения жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки

№ п/п	Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Максимальные уровни звука, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Кабинеты, лаборатории, мастерские и иные уч. объекты в УО, конференц-залы, читальные залы библиотек		79	63	52	45	39	35	32	30	28	55
2	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, спальные помещения в УДО	С 7 до 23 часов	79	63	52	45	39	35	32	30	28	55
		С 23 до 7 часов	72	55	44	35	29	25	22	20	18	45
3	Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	С 7 до 23 часов	83	67	57	49	44	40	37	35	33	60
		С 23 до 7 часов	76	59	48	40	34	30	27	25	23	50
4	Залы кафе, ресторанов, столовых		90	75	66	59	54	50	47	45	44	70

Окончание таблицы 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	Торговые залы магазинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предпр. быт. обслуж.		93	79	70	63	59	55	53	51	49	75
6	Территории, прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, пансионатов, УО, библиотек	С 7 до 23 часов	90	75	66	59	54	50	47	45	43	70
		С 23 до 7 часов	83	67	57	49	44	40	37	35	33	60
7	Территории, прилегающие к зданиям общежитий	С 7 до 23 часов	93	79	70	63	59	55	53	51	49	75
		С 23 до 7 часов	86	71	61	54	49	45	42	40	39	65
8	Площадки отдыха на терр. мкр/районов и групп жилых домов, площадки УО		83	67	57	49	44	40	37	35	33	60

Предельно допустимые уровни ЭМП достаточно подробно разработаны в санитарных нормах и правилах и постоянно корректируются. На сегодняшний день нормирование уровня электромагнитного излучения установлены Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 5 марта 2015 г. № 23 Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека» (табл. 6.3).

Основными мерами защиты от ЭМП являются нормативы по расстоянию, времени пребывания и, в некоторых случаях, – экраны, средства индивидуальной защиты (спецодежда из экранирующих материалов). Но, научно обоснованные пределы воздействия ЭМП для достаточно распространенных в быту и промышленности приборов и аппаратов до сих пор не разработаны. К ним можно отнести мониторы компьютеров, телевизоры.

Таблица 6.3 – Предельно допустимые уровни электромагнитного излучения радиочастотного диапазона для населения, рабочих мест лиц, не достигших 18 лет, и женщин в периоды беременности и кормления грудью

Назначение помещений или территории	Диапазон частот				
	30-300кГц	0,3-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	300МГц-300ГГц
	Предельно допустимые уровни электромагнитного излучения радиочастотного диапазона				
	В/м	В/м	В/м	В/м	мкВт/см ²
1	2	3	4	5	6

Окончание таблицы 6.3

1	2	3	4	5	6
Территория жил. застройки и мест отдыха. Помещения жилых, общественных и производственных зданий. Рабочие места лиц, не достигших 18 лет. Женщины в период беременности и кормления грудью	25	15	10	3	10

Постоянная работа с дисплеями может вызывать астенопию (зрительный дискомфорт), проявляющийся в покраснении век и глазных яблок, затуманивании зрения, утомлении, появлениях нервно-психических нарушений и др. Нормы устанавливают требования к продолжительности работы на мониторах, организации рабочих мест, освещению помещений и микроклимату для взрослых пользователей, студентов. Выполнение этих требований позволит не допускать появления серьезных отклонений здоровья пользователей ПЭВМ.

Для оценки уровня шумового загрязнения используются следующие понятия:

Годовое дневное расчетное время («дневное время») – объединение всех промежутков времени от 7-00 до 23-00 по местному времени в течение года. Величины, относящиеся к дневному времени, помечаются нижним индексом «д».

Годовое ночное расчетное время («ночное время») – все оставшееся время в течение года. Величины, относящиеся к ночному времени, помечаются нижним индексом «н».

L_A экв.н. (д) – эквивалентный уровень звука, измеренного в децибелах с корректировкой по шкале «А» стандартного шумомера, для краткости обозначается просто L_n (д)

Расчетная территория, или территория регулирования шума – совокупность жилых помещений либо участок жилой застройки (микрорайон и т. д.), где уровень шума подлежит регулированию.

Вкладом того или иного **источника шума (ИШ)** в значение какой-либо величины при совместном действии различных источников шума называется разность между фактическим значением этой величины и тем значением, которое она имела бы при условии, что данный ИШ полностью отключен.

Для расчета экономической эффективности вначале определяется экономическая оценка годового ущерба, причиняемого населению шумами до и после проведения противошумовых мероприятий.

Экономическая оценка годового ущерба, причиняемого населению шумами от совокупности всех источников в условиях жилых помещений равна:

$$Y_{\text{общ}} = Y_{\text{Н.ОБЩ}} + Y_{\text{Д.ОБЩ}} \quad (6.1)$$

$$Y_{\text{Н.ОБЩ}} = \gamma \cdot \sum_{L_{\text{Н}}}^{L_{\text{Нmax}}} A(L_{\text{Н}}) \cdot N_{\text{Н}} \quad (6.2)$$

где $Y_{\text{Н}}$ – экономическая оценка годового ущерба, причиняемого населению шумами, действующими на людей в ночное время в условиях жилых помещений (у. е./год); γ – множитель, имеющий размерность 2 у. е./ (чел.год); $N_{\text{Н}}$ – количество людей, проживающих на расчетной территории в комнатах, в которых суммарный эквивалентный уровень звука от всех источников шума при осреднении за годовое дневное время имеет в дБ значение $L_{\text{Н}}$; $A(L_{\text{Н}})$ – безразмерная величина, значение которой для данного уровня шума представлено в таблице Б.1 (приложение Б).

$$Y_{\text{Д.ОБЩ}} = \gamma \cdot \sum_{L_{\text{Д}}}^{L_{\text{Дmax}}} A(L_{\text{Д}}) \cdot N_{\text{Д}} \quad (6.3)$$

где $Y_{\text{Д}}$ – экономическая оценка годового ущерба, причиняемого населению шумами, действующими на людей в дневное время в условиях жилых помещений у. е./год; $N_{\text{Д}}$ – количество людей, проживающих на расчетной территории в комнатах, в которых суммарный от всех источников шума эквивалентный уровень звука при осреднении за годовое дневное время имеет в дБ значение $L_{\text{Д}}$; $A(L_{\text{Д}})$ – безразмерная величина, значение которой для данного уровня шума представлено в приложении Б таблице Б.1.

Расчет экономического ущерба, вызываемого конкретным регулируемым источником шума, проводится по формуле:

$$Y_j = (Y_{(\text{ОБЩ},j)}) - Y_{\text{ОБЩ}} \quad (6.4)$$

где J – регулируемый источник шума; $Y_{\text{ОБЩ}}$ – экономическая оценка годового ущерба без учета регулируемого источника шума; $Y_{(\text{ОБЩ},j)}$ – экономическая оценка годового ущерба от совокупности всех источников шума.

Снижение экономического ущерба после проведения противозумовых мероприятий определяется как:

$$\Delta Y = Y_{j(\text{до})} - Y_{j(\text{после})} \quad (6.5)$$

где $У_{j(\text{после})}$ – экономический ущерб от регулируемого источника после проведения мероприятий; $У_{j(\text{до})}$ – экономический ущерб от регулируемого источника до проведения мероприятий

Экономическая эффективность затрат означает их результативность, то есть соотношение между результатами и обеспечившим их затратами.

Экономический эффект \mathcal{E} , или результат природоохранных затрат представляет собой предотвращенный экономический ущерб и в нашем случае будет приблизительно равен:

$$\mathcal{E} = \Delta У \quad (6.6)$$

Общая (абсолютная) экономическая эффективность затрат экологического характера рассчитывается как отношение годового объема полного экономического эффекта к сумме вызвавших этот эффект совокупных (приведенных) затрат:

$$\mathcal{E}_з = \frac{\mathcal{E}}{C + У_j + E_H \cdot K} \quad (6.7)$$

где $\mathcal{E}_з$ – общая эффективность природоохранных затрат; \mathcal{E} – полный годовой эффект; C – текущие затраты; E_H – норматив эффективности капитальных вложений; K – капитальные вложения, обеспечившие эффект.

Норматив E_H служит для приведения капитальных вложений к годовой размерности.

$$E_H = \frac{1}{T}, \quad (6.8)$$

где T – срок окупаемости капитальных вложений. При среднем сроке окупаемости по народному хозяйству за последние годы равном 8,3 года норматив эффективности капитальных затрат устанавливается в размере 0,12.

Общая (абсолютная) экономическая эффективность капитальных вложений в средозащитные мероприятия \mathcal{E}_K , определяется путем деления годового объема полного экономического эффекта за вычетом эксплуатационных расходов на содержание и обслуживание средозащитных объектов, на величину капитальных вложений обеспечивших этот результат.

$$\mathcal{E}_K = \frac{\mathcal{E} - C}{K} \quad (6.9)$$

Если $Э_k \geq E_n$, то рассматриваемые капитальные вложения признаются эффективными.

Срок окупаемости природоохранных мероприятий рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{1}{Э_k}, \text{ лет} \quad (6.10)$$

6.2 Выполнение работы

Задание. Рассчитайте экономическую эффективность проведения противошумовых мероприятий в условиях густонаселенного города.

Исходные данные представлены в таблице 6.4. Варианты задания выдаются преподавателем. Регулируемым источником шума является проходящая вблизи населенного пункта автомагистраль. Установлено, что после ввода автомагистрали в эксплуатацию уровень шума в жилых близлежащих кварталах, как в дневное, так и в ночное время вырос на определенную величину, которая зависит от месторасположения жилого помещения. Сложившаяся ситуация потребовала проведения специальных противошумовых мероприятий, для чего необходимы определенные капитальные (К) и текущие (Э) затраты.

Таблица 6.4 – Исходные данные для расчета экономической эффективности проведения комплекса противошумовых мероприятий

Вариант	Уровень шума до строительства, дБ		Уровень шума после строительства, дБ		Уровень шума после мероприятия, дБ		К, у.е.	С, у.е.	Число жителей в квартале, чел
	день	ночь	день	ночь	день	ночь			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35	26	48	39	38	30	113677	9167	550
2	37	28	50	41	40	32	119361	9623	490
3	33	25	46	37	36	28	107814	8651	780
4	31	25	43	35	34	27	102310	8251	510
5	38	29	50	43	42	33	125044	10083	365
6	30	25	41	37	32	26	96625	7867	690
7	42	29	50	45	41	33	135043	10982	515

Продолжение таблицы 6.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	28	41	32	32	28	28	89677	7232	880
9	32	27	43	39	35	29	125253	10101	290
10	33	27	46	40	37	35	126350	10189	468
11	40	27	48	47	39	38	110176	8885	800
12	32	26	44	36	35	28	121669	9812	710
13	39	30	50	46	44	38	118687	9572	635
14	31	26	43	37	32	26	97699	7879	746
15	30	28	48	42	40	33	115258	9295	920
16	28	41	50	45	31	43	87600	9231	740
17	26	26	38	42	33	36	109479	8829	473
18	33	25	47	42	38	35	116982	9434	587
19	35	30	48	48	39	34	110100	8879	685
20	36	29	49	45	40	37	122884	9910	1000

Контрольные вопросы

1. Какие физические загрязнители атмосферного воздуха вы знаете?
2. Что такое шум, в каких единицах измерения измеряется, каким прибором?
3. Какие показатели используются для оценки шумового загрязнения?
4. Укажите нормированные значения уровня шума в аудиториях УО «ВГТУ»?
5. Какие способы защиты существуют от шумового и ЭМ излучения?

Практическая работа 7.

Экологические аспекты питания человека

Цель работы: изучить основные факторы питания современного человека и способы улучшения качества питания,

7.1 Основные сведения

Проблема питания человека актуальна не только в условиях недостатка продуктов, но и при их достатке и даже избытке. Все чаще проявляются такие заболевания, как ожирение, подагра, нарушение минерального обмена в организме, цирроз печени, частые гипervитаминозы, опухолевые заболевания и др. Все эти проявления связаны с переизбытком и с качеством продуктов питания, применением

пищевых добавок, трансгенных продуктов, а также продуктов, загрязненных химическими токсикантами [12].

Пищевая ценность продовольственного сырья и пищевых продуктов – комплекс свойств продовольственного сырья и пищевых продуктов, обеспечивающих физиологические потребности человека в необходимых веществах и энергии,

В условиях покоя и комфортной температуры уровень энергетических затрат взрослого человека составляет от 1300 до 1900 ккал в сутки, что соответствует основному обмену. Основной обмен соответствует 1 ккал на 1 кг массы тела в 1 час. Любая физическая или умственная работа требует дополнительных затрат. Энергетический материал дает организму жиры, белки и углеводы: 1 г белков пищи обеспечивает организму 4,1 ккал (17,17 кДж), 1 г жиров – 9,3 ккал (38,8 кДж) и 1 г углеводов – 4,1 ккал (17,17 кДж).

Таким образом, зная химический состав пищи, можно подсчитать калорийность любого продукта или диеты. Калорийность пищевого рациона должна соответствовать энергетическим затратам организма.

В соответствии с Санитарными нормами и правилами «Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь», утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 20 ноября 2012 г. № 180» и постановления от 16 ноября 2015 г. № 111 «О внесении изменений в постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 20 ноября 2012 г. № 180», суточный рацион здорового человека должен иметь соотношение белков, жиров и углеводов как 1 : 1 : 4. [10].

Многочисленными научными исследованиями и наблюдениями подтверждается, что наиболее полезен для человека такой режим, при котором за завтраком и обедом он получает более 2/3 общего количества калорий суточного рациона, а за ужином – менее 1/3. При составлении суточного рациона должна учитываться степень двигательной активности человека.

***Коэффициент физической активности (КФА)** – соотношение между общими энергозатратами на все виды жизнедеятельности и величиной основного обмена. КФА является объективным физиологическим критерием, определяющим адекватное для конкретных групп населения количество энергии.*

В основу всех современных концепций питания человека положены нормы энергетической потребности человека (табл. 7.1–7.3) и показатели калорийности продуктов питания (табл. 7.5).

Согласно Санитарным нормам и правилам трудоспособное население дифференцировано с учетом КФА в зависимости от размеров энерготрат на следующие группы:

I группа – работники преимущественно умственного труда, очень легкая физическая активность. КФА – 1,4 (научные сотрудники, студенты гуманитарных специальностей, программисты, контролеры, педагоги, диспетчеры, операторы пультов управления и др.);

II группа – работники, занятые легким физическим трудом, легкая физическая активность, КФА – 1,6 (водители трамваев, троллейбусов, весовщики, укладчики-упаковщики, швеи, рабочие профессий электронной техники, агрономы, медицинские сестры, санитарки, рабочие связи, бытового обслуживания, продавцы непродовольственных товаров и др.);

III группа – работники средней тяжести физического труда, средняя физическая активность, КФА – 1,9 (слесари, наладчики, настройщики, станочники, бурильщики, водители автобусов, врачи-хирурги, продавцы продовольственных товаров, рабочие профессий производства текстиля, обувщики, рабочие профессий железнодорожного транспорта, водного транспорта, аппаратчики, рабочие доменного производства, химического производства и др.);

IV группа – работники тяжелого физического труда, высокая физическая активность. КФА – 2,2 (рабочие строительных, монтажных и ремонтно-строительных работ, помощники бурильщиков, проходчики, механизаторы и рабочие растениеводства, животноводства, дояры, овощеводы, рабочие деревообрабатывающего производства, металлургического производства, литейщики и др.);

V группа – работники особо тяжелого физического труда, очень высокая физическая активность. КФА – 2,5 (механизаторы и рабочие растениеводства в посевной и уборочный периоды, вальщики леса, бетонщики, каменщики, землекопы, грузчики немеханизированного труда и др.).

Нормы потребления энергии для различных групп взрослого населения Республики Беларусь представлены в таблицах 7.1 – 7.2.

Таблица 7.1 – Нормы физиологических потребностей в энергии, белках, жирах, углеводах для мужчин 18–59 лет (в сутки)

Группа	Коэффициент физической активности	Возраст	Энергия, ккал	Белки, г		Жиры, г	Углеводы, г
				всего	животные		
1	2	3	4	5	6	7	8
I	1,4	18–29	2450	72	36	81	358
		30–39	2300	68	34	77	335
		40–59	2100	65	33	70	303
II	1,6	18–29	2800	80	40	93	411
		30–39	2650	77	39	88	387
		40–59	2500	72	36	83	366

Окончание таблицы 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8
III	1,9	18–29	3300	94	47	110	484
		30–39	3150	89	45	105	462
		40–59	2950	84	42	98	432
IV	2,2	18–29	3850	108	54	128	566
		30–39	3600	102	51	120	528
		40–59	3400	96	48	113	499
V	2,5	18–29	4200	117	59	154	586
		30–39	3950	111	56	144	550
		40–59	3750	104	52	137	524

Число энергетической потребности – это то количество калорий, которое требуется потреблять ежедневно, чтобы стабильно поддерживать текущий вес тела, т. е. не поправляться, но и не худеть. Если же целью является не поддержание, а снижение веса, то для этого специалисты рекомендуют создавать дефицит калорий, т. е. съедать меньше, чем расходуется, чтобы вынудить организм «добирать» недостаток необходимой энергии из «стратегических жировых запасов».

Расчет суточной калорийности (СК) для умеренно гипокалорийной (низкокалорийной) диеты можно произвести также по формуле ВОЗ.

Таблица 7.2 – Нормы физиологических потребностей в энергии, белках, жирах, углеводах для женщин 18–59 лет (в сутки)

Группа	Коэффициент физической активности	Возраст	Энергия, ккал	Белки, г		Жиры, г	Углеводы, г
				всего	животные		
I	1,4	18–29	2000	61	31	67	269
		30–39	1900	59	30	63	274
		40–59	1800	58	29	60	257
II	1,6	18–29	2200	66	33	73	318
		30–39	2150	65	33	72	311
		40–59	2100	63	32	70	305
III	1,9	18–29	2600	76	38	87	378
		30–39	2550	74	37	85	372
		40–59	2500	72	36	83	366
IV	2,2	18–29	3050	87	44	102	462
		30–39	2950	84	42	98	432
		40–59	2850	82	41	95	417

Формула ВОЗ

Ежедневный расход калорий рассчитывается:

а) суточный расход калорий для женщин:

$$18-30 \text{ лет, СК} = (0,0621 \times \text{вес в кг} + 2,0357) \times 240$$

$$31-60 \text{ лет, СК} = (0,0342 \times \text{вес в кг} + 3,5377) \times 240$$

$$\text{старше 60 лет, СК} = (0,0377 \times \text{вес в кг} + 2,7546) \times 240$$

б) суточный расход калорий для мужчин:

$$18-30 \text{ лет. СК} = (0,0630 \times \text{вес в кг} + 2,8957) \times 240$$

в) суточный расход калорий для людей старше 30 лет:

$$31-60 \text{ лет. СК} = (0,0484 \times \text{вес в кг} + 3,6534) \times 240$$

$$\text{старше 60 лет, СК} = (0,0491 \times \text{вес в кг} + 2,4587) \times 240$$

Помимо научно-обоснованных физиологических норм потребления энергии для быстрого индивидуального расчета суточной нормы калорий (ЭП) существует немало различных формул. Приведем некоторые из них.

Формула 1 – Маффина-Джеора:

$$\text{ЭП} = (10 \times \text{М}) + (6,26 \times \text{Р}) - (4,92 \times \text{Г}) + 5 - \text{ для мужчин};$$

$$\text{ЭП} = (10 \times \text{М}) + (6,26 \times \text{Р}) - (4,92 \times \text{Г}) - \text{ для женщин};$$

где ЭП – энергетическая потребность в ккал; М – масса тела (кг); Р – рост (см); Г – возраст (годы).

Формула 2 – Харриса-Бенедикта, позволяет рассчитать энергетическую потребность (ЭП), с учетом следующих параметров:

$$\text{ЭП} = 655,1 + (9,6 \times \text{М}) + (1,85 \times \text{Р}) - (4,68 \times \text{Г}) \text{ для женщин};$$

$$\text{ЭП} = 66,47 + (13,75 \times \text{М}) + (5 \times \text{Р}) - (6,74 \times \text{Г}) - \text{ для мужчин}.$$

Жировая ткань – соединительная ткань организма человека. С ростом человека происходит наращивание жировой ткани. Жировая ткань не только защищает организм от переохлаждения и механического травмирования, но она является энергетическим депо, в котором хранятся запасы энергии, выполняет эндокринную функцию, синтезирует эстрогены. Именно по этой причине у женщин, увлеченных чрезмерными диетами, велик риск развития аменореи, так как гормонам просто негде синтезироваться. А у мужчин с «пивными животиками»,

наоборот, начинается повышенная выработка эстрогенов, что может стать причиной нарушения половой функции. Повышенное же содержание жировой ткани особенно опасно, так как ведет к заболеваниям сердечно-сосудистой системы, сахарному диабету, болезням суставов и другим серьезным заболеваниям.

Для женщин хороший и отличный показатель жира: в возрасте 20–40 лет составляет от 19 % до 26 %; в возрасте 40–60 лет – от 23 % до 30 %.

Для мужчин хороший и отличный показатель жира: в возрасте 20–40 лет составляет от 10 % до 20 %; в возрасте 40–60 лет – от 19 % до 23%.

Расчет содержания жира в организме можно провести, используя материалы интернет-сайта (ссылка <https://calculat.ru/kakoj-procent-zhira-v-organizme-raschet-onlajn>).

Степень ожирения человека можно определить также по расчетному показателю – индексу массы тела (ИМТ), который определяют:

$$\text{ИМТ} = \frac{\text{масса тела (в кг)}}{(\text{рост, м})^2} \quad (7.1)$$

Гликемический индекс (ГИ) продуктов питания – это показатель, который отражает, с какой скоростью тот или иной продукт расщепляется в организме и преобразуется в глюкозу – главный источник энергии (табл. 7.4).

Чем быстрее расщепляется продукт, тем выше его гликемический индекс. За эталон была принята глюкоза, чей гликемический индекс равен 100. Все остальные показатели сравниваются с гликемическим индексом глюкозы. Продукты с низким гликемическим индексом надолго задерживаются в желудке и кишечнике, расщепляясь постепенно и не давая резкого повышения уровня сахара в крови. Благодаря замедленному усвоению, употребление таких продуктов обеспечивает более продолжительное чувство насыщения. Поэтому, желая похудеть, выбирайте продукты с низким гликемическим индексом.

Таблица 7.3 – Классификация ожирения по индексу массы тела (ИМТ)

Величина ИМТ	Класс массы тела	Риск сопутствующих заболеваний и смертности по сравнению с популяцией, имеющей нормальную массу тела
1	2	3
Менее 18,5	Дефицит массы тела	Незначительно повышенный риск заболеваемости и смертности

Окончание таблицы 7.3

1	2	3
От 18,5 до 24,9	Нормальная масса тела	Средний риск для популяции
От 25 до 29,9	Избыточная масса тела (или предожирение)	Повышен риск развития сахар. диабета и сердечно-сосуд. заб.
От 30 до 34,9	Ожирение I степени	Высокий
От 35 до 39,9	Ожирение II степени	Очень высокий
Более 40	Ожирение III степени	Крайне высокий

Таблица 7.4 – Гликемический индекс (ГИ) некоторых продуктов питания

Продукт	ГИ	Продукт	ГИ
Финики	103	Овсяная каша	49
Гост из белого хлеба	100	Хлеб с отрубями	45
Булочки французские	95	Мороженое, йогурт сладкий	52
Картофель печеный	95	Печенье овсяное, сдобное	55
Попкорн, кукурузные хлопья	85	Киви	50
Хлеб белый	85	Горошек зеленый, свежий (консервированный)	40(48)
Картофельное пюре быстрого приготовления	83	Виноград	40
Картофельные чипсы	80	Сок яблочный, апельсиновый б/сахара	40
Крекеры	80	Фасоль белая	40
Мюсли с орехами и изюмом	80	Морковь, курага, инжир, апельсины	35
Арбуз, кабачки, тыква	75	Груша	34
Бублик пшеничный	72	Клубника	32
пшено	71	Молоко цельное	32
Кока-кола, фанга, спрайт	70	Молоко 2%-е	30
Кукуруза вареная, картофель отвар.	70	Яблоки, персики	30
Шоколад молочный, марс, сникерс	70	Сосиски	28
Лепешки пресные	69	Горох, перловка	22
Ананас	66	Вишня, слива, грейпфрут	22
Картофель вар. «в мундире», хлеб черный, манная крупа, дыня, бананы	65	Шоколад черный (70 % какао)	22
Макароны с сыром	64	Арахис, абрикосы	20
Свекла, изюм, печенье песочное	64	Орехи грецкие	15
Зерна пшеничные, пророщенные, бисквит	63	Капуста, баклажаны, лук, помидоры	10
Оладьи из пшеничной муки	62	Лук, чеснок, грибы	10
Пицца с помидором и сыром	60	Семечки подсолнуха	8

Для составления меню полезной будет информация по весу некоторых штучных продуктов питания или их долевой части (табл. 7.5).

Таблица 7.5 – Вес некоторых штучных продуктов питания или их части

Продукт	Вес, г	Продукт	Вес, г
Ломтик черного хлеба	30–35	Яйцо куриное, 1 шт.	50
Ломтик батона	20–22	Яйцо перепелиное, 1 шт.	9
Булочка для тостов	20	Яичница на масле	60
Сухарик, сушка	10	Огурец средний	100
Хлебец	2	Помидор диаметром 55мм	75
Блинчики тонкие. 1 шт.	70	Яблоки диаметром 50 мм	90
Зефир, 1 шт.	35	Яблоки диаметром 65мм	130
Печенье сахарное	13,5	Хурма	85
Печенье затяжное	10	Апельсин диаметром 65 мм	100
Пряник	20	Маслины, 1 шт.	15
Пирожок	50	Консервир. кукуруза, горошек. 2 ст. л.	50
Шпроты, 1 шт.	15	Сметана 10 %, 1 ч. л.	5–15
Сырник	80	Творог 0,5 %, 3 ст. л.	75
Шоколадная конфета	12	Картофель вареный, 1 шт.	80
Твердые сыры, 1 кусочек	30	Колбаса салями, 1 кусочек	20
Грецкий орех	5	Сарделька. 1 шт.	100
Сгущенка, 2 ч. л.	10 мл	Сосиска, 1 шт.	30–50

7.2 Выполнение работы

Задание.

1. Рассчитать суточную норму калорий (ЭП) для собственных параметров тела.

2. Составить меню с учетом суточной энергетической потребности и калорийности продуктов питания: из таблицы В.1 приложения В выбираем набор продуктов, обеспечивающих суточную калорийность и физиологическую потребности в белках, жирах и углеводах. Результаты составленного суточного рациона представляем в виде таблицы 7.6.

Таблица 7.6 – Примерный суточный рацион студента

Приемы пищи	Нормируемое количество калорий	Продукты	ккал	белки	жиры	углеводы
1	2	3	4	5	6	7
Первый завтрак	489(652)					
Второй завтрак	489 (326)					

Окончание таблицы 7.6

1	2	3	4	5	6	7
Обед	489					
Полдник	366 (244)					
Ужин	367 (489)					
Всего	2200					

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под пищевой ценностью продуктов?
2. Что такое коэффициент физической активности?
3. Что показывает индекс массы тела (ИМТ)?
4. Что такое гликемический индекс (ГИ)?
5. Что понимают под безопасностью продуктов питания?
6. Перечислите основные факторы и источники загрязнения продовольственного сырья и продуктов питания.

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

Задание. Дайте оценку обеспечения инженерной защиты персонала наиболее многочисленной рабочей смены объекта, и предложите меры по повышению этой защиты (исходные данные в табл. 8.6). На основании расчета сделайте общие выводы об обеспеченности и защитных свойствах убежища.

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.

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.

Рассчитываем количество мест (М) 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 $S_{\text{п}}$ – 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 $1,5 \text{ м}^3/\text{чел.}$):

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

где V_1 – объем помещения, приходящийся на одного укрываемого, м^3 ; S_0 – площадь всех помещений (общая), м^2 ; h – высота помещения, м.

Проверяем соответствие площади вспомогательных помещений установленным нормам:

$$S_{\text{всп}} = M \cdot S_2 \quad (8.4)$$

где $S_{\text{всп}}$ – площадь вспомогательных помещений, м^2 ; M – количество мест для укрываемых; S_2 – норма площади вспомогательного помещения на одного укрываемого, м^2 (табл. 8.2).

Определяем количество нар (H) для размещения укрываемых:

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

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 трехъярусном расположении нар (высота помещения – 2,9 м и выше).

Таблица 8.2 – Требования к защитным сооружениям гражданской обороны

Основные требования	Норма
1	2
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

Окончание таблицы 8.2

1	2
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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Материал	Плотность, г/см ³	Толщина слоя половинного ослабления ($d_{\text{пол}}$), 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:

$$N_{\text{возд}} = \frac{W_0}{W_{\text{н}}} \quad (8.9)$$

где W_0 – общая производительность системы воздухообеспечения, м³/ч (табл. 8.4); $W_{\text{н}}$ – 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:

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

где $W_{\text{о.вод}}$ – общий запас воды в защитном сооружении, л; $W_{1\text{н}}$ – 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 2л/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. *Расчет необходимого количества продуктов питания для укрываемых людей.* В таблице 8.5 приведены нормы обеспечения продуктами питания населения, пострадавшего от ЧС. Провести расчет требуемого количества продуктов, для всех укрываемых в убежище.

Таблица 8.5 – Нормы обеспечения продуктами питания населения, пострадавшего от ЧС, г/чел в сутки

Продукт	Количество, г
Хлеб из смеси ржаной, обдирной и пшеничной муки 1 сорта	250
Хлеб белый из пшеничной муки 1 сорта	250
Мука пшеничная 2 сорта	15
Крупа разная	60
Макаронные изделия	20
Молоко и молочные продукты	200
Мясо и мясопродукты	60
Рыба и рыбопродукты	25
Жиры	30
Сахар	40
Картофель	300
Овощи	120
Соль	20
Чай	1

Контрольные вопросы:

1. Какие основные способы защиты населения в чрезвычайных ситуациях?
2. Категории защитных сооружений в соответствии с ТКП.
3. Какие факторы влияют на вместимость людей в убежище?
4. Какие инженерные системы оборудуются в убежищах?
5. Какой физический смысл коэффициента ослабления?
6. Какова последовательность оценки инженерной защиты персонала объекта?

Таблица 8.6 – Исходные данные

Номер варианта	Численность наибольшей рабочей смены, чел.	Убежища (в числителе формулы (строка 1) даются параметры встроенных убежищ, в знаменателе – параметры отдельно стоящих убежищ)								Срок нахождения, сут
		Количество помещений	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	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
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
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
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
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
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
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
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
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

Практическая работа 9.

Оценка химической обстановки на химически опасных объектах

Цель работы: изучить методику оценки химической обстановки на объектах, имеющих сильнодействующие вещества (СДЯВ), научиться применять ее на практике.

9.1 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 9.1 приведена оценка степени вертикальной устойчивости воздуха по данным прогноза погоды.

Таблица 9.1 – Степень вертикальной устойчивости атмосферы

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	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. Обозначение: **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.

9.2 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 отсекающими.

Если произошла реальная авария на объекте, т. е. разрушение емкости, содержащей СДЯВ, то оценка производится по фактически сложившейся обстановке с учетом реального количества вытекшего СДЯВ и метеоусловий. При этом следует иметь в виду, что СДЯВ, имеющие низкую температуру кипения ($t_{кип} < 20$ °С) (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 $t_{кип} > 20$ °С (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 емкостях 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.

9.3 Выполнение работы

Определение количественных характеристик выброса

Количественные характеристики выброса СДЯВ для расчета масштабов заражения определяются по их эквивалентным значениям.

*В специальной литературе применяется также термин «аварийные химически опасные вещества» – АХОВ.

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:

$$S_p = \frac{G}{\rho \cdot h}, \text{ м}^2, \quad (9.1)$$

где G – масса СДЯВ, т; ρ – плотность СДЯВ, т/м³; h – толщина слоя СДЯВ, м.

Толщина слоя СДЯВ, разлившегося свободно по подстилающей поверхности, принимается по всей площади разлива $h = 0,05$ м.

При проливе СДЯВ из ёмкостей, имеющих самостоятельный поддон (обваловку), толщина слоя жидкости принимается:

$$H = H - 0,2, \quad (9.2)$$

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

$$Q_{\text{эл}} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0, \text{ т}, \quad (9.3)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от условий хранения СДЯВ (для сжиженных газов $K_1 < 1$; для сжатых газов $K_1 = 1$ (см. табл. 9.2); K_3 – коэффициент, учитывающий токсичность СДЯВ, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого СДЯВ (см. табл. 9.2); 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. 9.2); Q_0 – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

Для сжиженных газов, не вошедших в таблицу (табл. 9.2), значение коэффициента K_7 принимается равным 1, а значение K_1 определяется по соотношению:

$$K_1 = \frac{c_p \Delta T}{L_{исп}}, \quad (9.4)$$

где c_p – удельная теплоёмкость жидкого СДЯВ, $кДж/(кг \cdot K)$; ΔT – разность температур жидкого СДЯВ до и после разрушения ёмкости, K ; $L_{исп}$ – удельная теплота испарения, $кДж/кг$.

При хранении газа в сжатом виде его количество, выброшенное при аварии, определяется по формуле:

$$Q_0 = \rho \cdot p \cdot V, \text{ т}, \quad (9.5)$$

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 (9.5) значение Q_0 умножается на n .

Определение эквивалентного количества вещества по вторичному облаку

Эквивалентное количество вещества по вторичному облаку рассчитывается по формуле

$$Q_{э2} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot \rho}, \text{ т}, \quad (9.6)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, зависящие от физико–химических свойств СДЯВ (см. табл. 9.2); K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра (см. табл. 9.3); 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. 9.2).

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:

$$\tau_{исп} = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7}, \text{ ч.} \quad (9.7)$$

Расчет глубины зоны заражения при аварии на химически опасном объекте

Используя значения Q_3 , полученных по формулам (9.3), (9.5), (9.6), (9.8), по таблице 13.4 определяется глубина зоны заражения для первичного Γ_1 и вторичного Γ_2 облаков в зависимости от скорости ветра u .

Если расчетное эквивалентное количество вылившегося вещества (Q_{31} или Q_{32}) не совпадает с табличным в таблице 9.4, тогда проводят интерполяцию значений глубин по формуле:

$$\Gamma = \Gamma_M + \frac{\Gamma_6 - \Gamma_M}{Q_{36} - Q_{3M}} \cdot (Q_{3ф} - Q_{3M}), \text{ км,} \quad (9.8)$$

где $Q_{3ф}$ – эквивалентное количество вылившегося СДЯВ по первичному (вторичному) облаку; $Q_{3м}$, $Q_{3б}$ – 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:

$$\Gamma_{зар} = \Gamma_1 + 0,5\Gamma_2, \text{ если } \Gamma_1 > \Gamma_2$$

$$\Gamma_{зар} = \Gamma_2 + 0,5\Gamma_1, \text{ если } \Gamma_1 < \Gamma_2. \quad (9.9)$$

Полученное значение $\Gamma_{зар}$ сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс $\Gamma_{пред}$, которое определяется по формуле:

$$\Gamma_{пред} = \tau \cdot u, \quad (9.10)$$

где u – скорость переноса переднего фронта заражённого воздуха при заданной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости атмосферы, км/ч (табл. 9.5); τ – время от начала аварии, ч.

За истинную глубину зоны заражения принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений:

$$\Gamma = \min \{ \Gamma_{зар}, \Gamma_{пред} \}. \quad (9.11)$$

При укрупненных расчетах глубина зоны заражения может быть определена в зависимости от известных смертельных и поражающих концентраций по формуле:

$$\Gamma = 54,2 \cdot \sqrt{\frac{G_1^2}{D^2 \cdot v_e^2 \cdot K^2}}, \text{ м}, \quad (9.12)$$

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_e – скорость ветра в приземном слое, м/с (местность открытая), K – коэффициент, учитывающий вертикальную устойчивость воздуха (инверсия $K = 1$, изотермия $K = 2$, конвекция $K = 4$).

Определение площади зоны заражения

Площади зоны возможного заражения СДЯВ по массе, обусловленные воздействием первичного, вторичного облаков или их совокупностью, определяются по формуле:

$$S_M = \frac{\pi \cdot \Gamma^2 \cdot \phi}{360}, \text{ км}^2, \quad (9.13)$$

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. 9.6).

Таблица 9.2 – 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	0,007	0,8	0,04	0,1	0,4	1	2,4
Акролеин	–	0,839	52,7	0,2*	0	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

Продолжение таблицы 9.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
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
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
Сероуглерод	–	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

Окончание таблицы 9.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
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
Фосфора хлороокись	–	1,675	107,2	0,6	0	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 0,9	0,3 1	0,6 1	1 1	1,4 1
Хлорпикрин	–	1,658	112,3	0,02	0	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	0	0	1	3,9
Этиленимин	–	0,838	55,0	4,8	0	0,009	0,125	0,05	0,1	0,4	1	2,2
Этиленсульфид	–	1,005	55,0	0,1*	0	0,013	6,0	0,05	0,1	0,4	1	2,2
Этилмеркаптан	–	0,839	35,0	2,2	0	0,028	0,27	0,1	0,2	0,5	1	1,7

73

Примечание.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: $D = 240 \cdot K \cdot ПДК_{р.з.}$, где $ПДК_{р.з.}$ – 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 9.3 – 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 9.4 – 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

Примечание.

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.

Таблица 9.5 – 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
Скорость переноса, км/ч	КОНВЕКЦИЯ														
	7	14	21	28											

Таблица 9.6 – 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:

$$S_{\phi} = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot \tau^2, \text{ км}^2 \quad (9.14)$$

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 (9.9)–(9.15), с учетом скорости приземного ветра (см. табл. 9.6), 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 $S_{гор}$ рассчитывается по формуле:

$$\frac{S_{\phi}}{\pi} \cdot \left(\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{(2 \cdot R - \Gamma)}{\Gamma} \right) \cdot \frac{S_{гор}}{1,6 \cdot \Gamma^2} \cdot \sqrt{\Gamma \cdot R - R^2}, \text{ км}^2. \quad (9.15)$$

Тогда площадь зоны заражения в загородной зоне $S_{3,3}$:

$$S_{3,3} = S_{\phi} - S_{гор}, \text{ км}^2 \quad (9.16)$$

Определение времени подхода зараженного воздуха к определенному рубежу (объекту)

Время подхода зараженного воздуха к определенному рубежу определяется по формуле:

$$t_{\text{подх}} = \frac{R}{v_{\text{ср}} \cdot 60}, \text{ мин}, \quad (9.17)$$

где R – расстояния от места разлива СДЯВ до данного рубежа или объекта, км; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость, которая равна скорости переноса воздушных масс v_n (см. табл. 9.6).

Средняя скорость может быть также определена:

$$\begin{aligned} \text{при инверсии} & - v_{\text{ср}} = (2; 2,2)v; \\ \text{при изотермии} & - v_{\text{ср}} = (1,5; 2)v; \\ \text{при конвекции} & - v_{\text{ср}} = (1,5; 1,8)v, \end{aligned} \quad (9.18)$$

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 $t_{\text{пор}}$ в очаге химического поражения определяется временем испарения СДЯВ с поверхности его выброса. Время минимального испарения жидкости $t_{\text{исп}}$ определяется как частное от деления массы жидкости в резервуаре G_1 на скорость испарения $C_{\text{исп}}$:

$$t_{\text{пор}} = t_{\text{исп}} = \frac{G_1}{C_{\text{исп}}}. \quad (9.19)$$

Скорость испарения, т. е. количество испарившейся жидкости в единицу времени, может быть найдена по формуле:

$$C_{\text{исп}} = 12,5 \cdot S \cdot P_s \cdot (5,38 + 4,1v) \cdot \sqrt{M} \cdot 10^{-8}, \text{ т/мин}, \quad (9.20)$$

где S – площадь разлива, м^2 ; P_s – давление насыщенных паров, кПа; M – молекулярная масса жидкости, кг/кмоль; v – скорость ветра, м/с.

Результаты расчетов скорости и времени испарения по формулам (9.19, 9.20) для некоторых СДЯВ представлены в табл. 9.7. Таким образом, используя табл. 9.7, можно найти время поражающего действия с учетом поправочного коэффициента, учитывающего скорость ветра:

$$T_{\text{пор}} = t_{\text{учп}} \cdot K_{\nu} \quad (9.21)$$

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 табл. 9.8 с учетом примечаний.

Таблица 9.7 – Время испарения некоторых СДЯВ, τ (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_{ν}

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6
K_{ν}	1	0,7	0,55	0,43	0,37	0,32

Таблица 9.8 – 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. 9.9). В промышленной зоне города разрушилась ёмкость, содержащая G тонн жидкого СДЯВ под давлением (A – аммиак, X – хлор; $Cв$ – сероводород; $Фт$ – фтор). Ёмкость имеет высоту обвалования B . Определить глубину заражения СДЯВ в случае разрушения объекта, если скорость ветра в приземном слое – ν , температура воздуха – T , степень вертикальной устойчивости – I (Ин – инверсия; Из – изотермия; К – конвекция).

Таблица 9.9 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СДЯВ	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>Cв</i>	<i>Cв</i>	<i>Фт</i>	<i>Фт</i>	<i>X</i>
<i>G</i> , т	250	300	350	500	550	600	650	650	700	700	750	800
<i>B</i> , м	1,5	1,2	1,0	2,0	–	1,5	2,0	1,0	–	1,5	1,2	1,0
<i>T</i> , °C	10	–10	25	0	5	–12	20	25	–15	0	5	–10
<i>I</i>	Ин	Ин	Из	Из	Ин	Из	Ин	Из	Ин	Из	Ин	Из
<i>v</i> , 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. 9.10). В результате аварии на промышленном объекте образовалась зона заражения СДЯВ глубиной *Г*, после аварии прошло *t* часов. Определить площадь зоны заражения по массе (*S_м*) и фактическую (*S_ф*), 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.

Задание В. (табл. 9.11). В промышленной зоне произошла авария с выбросом СДЯВ. Определить время поражающего действия СДЯВ (*A* – аммиак; *X* – хлор; *Ca* – сернистый ангидрид; *Cв* – сероводород; *Ф* – фосген).

Таблица 9.10 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Г</i> , км	3	5	9	11	15	20	4	6	8	10	12	16
<i>t</i> , ч	2	3	3	4	4	5	2	2	2	4	3	3
<i>v</i> , 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>I</i>	Ин	Из	К	Ин	Из	К	Ин	Из	К	Ин	Из	К
<i>R</i> , км	6	8	12	14	13	11	9	7	9	10,5	11	12

Примечание. Ин – инверсия; Из – изотермия; К – конвекция.

Таблица 9.11 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СДЯВ	<i>A</i>	<i>X</i>	<i>Ca</i>	<i>X</i>	<i>Cв</i>	<i>A</i>	<i>X</i>	<i>Ф</i>	<i>X</i>	<i>A</i>	<i>X</i>	<i>A</i>
Ёмк. обв.	нет	нет	да	нет	нет	нет	да	да	да	да	нет	нет
<i>v</i> , м/с	2	3	4	5	6	4	4	3	2	3	4	3

Задание Г. (табл. 9.12). 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 9.12 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>N</i>	300	400	500	600	200	150	100	50	300	400	500	500

Продолжение таблицы 9.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>M</i>	A	A	Об	П	П	Об	Об	Об	П	П	П	П
<i>X, %</i>	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 10. Оценка пожарной обстановки

Цель работы: изучить методику оценки пожарной обстановки.

10.1 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.

По оценке пожароопасности используют Строительные нормы РБ СН 2.02.05-2020 «Пожарная безопасность зданий и сооружений». Согласно норм здания.

Для зданий, пожарных отсеков, воздухоопорных сооружений и гаражей-стоянок открытого типа применяют следующие пожарно-технические характеристики:

- 1) класс функциональной пожарной опасности (далее – класс);
- 2) степень огнестойкости;
- 3) категорию по взрывопожарной и пожарной опасности (далее – категория) для классов Ф5.1–Ф5.3.

По функциональной пожарной опасности здания подразделяют на следующие классы:

Ф1 – здания для постоянного и временного проживания (пребывания) людей:

Ф1.1 – жилые дома для престарелых и инвалидов (неквартирные), здания стационаров больничных организаций, спальные корпуса учреждений образования;

Ф1.2 – гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха, кемпинги, мотели и пансионаты, оздоровительные лагеря;

Ф1.3 – многоквартирные жилые дома;

Ф1.4 – многоквартирные, блокированные жилые дома и агроусадьбы;

Класс Ф2 – зрелищные и культурно-просветительные учреждения:

Ф2.1 – театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные здания с трибунами с расчетным количеством посадочных мест для посетителей в закрытых помещениях;

Ф2.2 – музеи, выставки в закрытых помещениях;

Ф2.3 – спортивные объекты на открытом воздухе с размещением помещений в подтрибунном пространстве;

Класс Ф3 – здания по обслуживанию населения:

Ф3.1 – предприятия торговли (киоски, павильоны, супер- и гипермаркеты), аптеки;

Ф3.2 – предприятия общественного питания (закусочные, столовые, кафе, рестораны);

Ф3.3 – здания ж/д, речных/морских вокзалов, автовокзалы;

Ф3.4 – амбулаторно-поликлинические организации, в том числе фельдшерско-акушерские пункты, ветеринарные лечебницы;

Ф3.5 – помещения предприятий коммунально-бытового обслуживания, культовые учреждения;

Ф3.6 – физкультурно-оздоровительные и спортивно-тренировочные здания без трибун для зрителей, бани;

Ф3.7 – здания религиозных конфессий.

Класс Ф4 – здания различных образовательных, научных, проектных заведений, институтов:

Ф4.1 – учреждения общеобразовательные, дошкольного образования, школы, колледжи, техникумы, организации детского дополнительного образования;

Ф4.2 – учреждения образования, не относящиеся к классу Ф4.1 (ВУЗы, организации дополнительного профобразования, переподготовки специалистов различного уровня);

Ф4.3 – иные здания, не относящиеся к классам Ф4.1, Ф4.2 (административные здания органов управления, научные, проектно-конструкторские, информационные, редакционно-издательские учреждения, офисные центры, конторы, деловые центры);

Ф4.4 – пожарное депо.

Класс Ф5 – промышленные предприятия:

Ф5.1 – производственные здания, цеха, лаборатории, столярные и механические мастерские;

Ф5.2 – складские здания, здания книгохранилищ и архивов, здания холодильников, гаражи-стоянки для автомобилей не предназначенные для автосервиса и техобслуживания, архивы, книгохранилища;

Ф5.3 – животноводческие, звероводческие, птицеводческие, рыбоводческие здания и т. п.;

Ф5.4 – административные и бытовые здания на территории промышленных предприятий.

Категории помещений по пожарной и взрывоопасности представлены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Категория помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А (взрывопожароопасная)	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. 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
Б (взрывопожароопасная)	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 (пожароопасные)	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.

10.2 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».

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;

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 свежеекрашенных 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 пылевыделение в производственном помещении, происходящее в условиях нормального режима работы (например, вследствие пылевыделения 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.

10.3 Выполнение работы

Применение легковоспламеняющихся жидкостей

Алгоритм расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности с применением ЛВЖ:

1. Определяется стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ:

$$C_{\text{стх}} = \frac{100}{1+4,84\beta}, \% \quad (10.1)$$

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:

$$m = m_p + m_{\text{емк}} + m_{\text{св.окр}}, \text{ кг}, \quad (10.2)$$

где m_p – масса ЛВЖ, испарившейся с поверхности разлива, кг; $m_{\text{емк}}$ – масса жидкости, испарившейся с поверхности открытых емкостей, кг; в случае отсутствия $m_{\text{емк}} = 0$; $m_{\text{св.окр}}$ – 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:

$$m = m_{p1} + m_{p2}, \text{ кг}, \quad (10.3)$$

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:

$$m_{p1} = \kappa_{\delta} \cdot V_{\delta} \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (10.4)$$

где κ_{δ} – коэффициент заполнения бака; V_{δ} – объем бака, м^3 ;
 ρ – плотность ЛВЖ, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Масса ЛВЖ, вышедшая в помещение до отключения питающего трубопровода:

$$m_{p2} = (q \tau_{откл} + 0,785 \cdot d^2 l) \cdot \rho, \quad (10.5)$$

где q – производительность насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; $\tau_{откл}$ – расчетное время отключения насоса, с; $\frac{\pi d^2}{4} = 0,785 \cdot d^2$ – 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 $\delta = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$:

$$F_{исп} = \frac{m_p}{\rho \cdot \delta}, \text{ м}^2. \quad (10.6)$$

4. Определяется интенсивность испарения:

$$W_{и} = 10^{-6} \cdot \eta \sqrt{M} \cdot p_{н.п.}, \quad (10.7)$$

где η – коэффициент испарения, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностями помещения (см. табл.10.2);
 M – молекулярная масса ЛВЖ; $p_{н.п.}$ – 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:

$$T_{исп} = \frac{m_{ж}}{W \cdot F_{исп}} \leq 3600 \quad (10.8)$$

Определяется масса паров, образующихся в помещении и могущих участвовать во взрыве:

$$m_{исп} = W \cdot T_{исп} \cdot (F_{исп1} + F_{исп2}), \quad (10.9)$$

где $F_{исп2}$ – площадь дополнительных источников испарения, m^2 (при отсутствии дополнительных источников $F_{исп2} = 0$).

Таблица 10.2 – Значение коэффициента испарения η

Скорость воздушного потока в помещении <i>м/с</i>	Температура воздуха в помещении, °С				
	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:

$$m_{исп.расч} = \frac{m_{исп}}{\frac{A \cdot T_{исп}}{3600} + 1}. \quad (10.10)$$

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:

$$\Delta p = (p_{max} - p_0) \cdot \frac{mz}{V_{св} \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}, \text{ кПа}, \quad (10.11)$$

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 10.10); z – коэффициент участия горючего во взрыве, определяется по табл. 10.3, принимается $z = 0,3$; V – объем помещения, м^3 ; $V_{св} = 0,8$; V – свободный объем помещения, м^3 ; ρ_n – плотность пара при расчетной температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$; $C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ (см. формулу 10.1); K_n – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принимаем $K_n = 3$.

Таблица 10.3 – 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 табл. 10.1) 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:

$$m_0 = (V_a + V_T) \cdot \rho_g, \text{ кг}, \quad (10.12)$$

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:

$$V_a = 0,01 \cdot p_1 \cdot V_6, \text{ м}^3 \quad (10.13)$$

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:

$$V_T = V_{IT} + V_{2T}, \text{ м}^3 \quad (10.14)$$

где V_{IT} – 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:

$$V_{IT} = q \cdot \tau_{откл}, \text{ м}^3, \quad (10.15)$$

где q – расход газа (производительность компрессора), $\text{м}^3/\text{с}$; $\tau_{откл}$ – время отключения компрессора, с .

Объем газа, вышедшего из подводящего и отводящего трубопровода после отключения компрессора, определяется по формуле:

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot p_2 \cdot (r_1^2 l_0 + r_2^2 l_n), \text{ м}^3, \quad (10.16)$$

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 (10.12), принять $T = 60 \text{ с}$:

$$m_p = \frac{m_0}{\frac{A \cdot T}{3600} + 1}, \text{ кг}. \quad (10.17)$$

3. По формуле (10.1) определяется стехиометрическая концентрация газа:

$$C_{стх} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad \%. \quad (10.18)$$

4. Окончанием расчета является определение избыточного давления взрыва Δp по формуле:

$$\Delta p = (p_0 \cdot \frac{m \cdot z}{V_{св} \cdot \rho_{г}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_{н, \max}}), \text{ кПа}, \quad (10.19)$$

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 табл. 10.3; $V_{св} = 0,8V$ – свободный объем помещения, м^3 ; ρ_2 – 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.

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:

$$M_j = V_{др} \cdot \rho_{др} \cdot \tau, \text{ кг}, \quad (10.20)$$

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:

$$m = m_{взв} + m_{ав}, \text{ кг}, \quad (10.21)$$

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

$$m_{взв} = K_{вз} \cdot m_n, \text{ кг}, \quad (10.22)$$

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:

$$m_n = \frac{K_T}{K_y} \cdot (m_1 + m_2), \quad (10.23)$$

где K_T – доля горючей пыли в общей массе отложившейся пыли (принять $K_T = 1$); 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 между уборочный период, определяют по формуле:

$$m_i = M_i(1 - \alpha) \cdot \beta_i, \quad (10.24)$$

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, ч; M_{j2} – масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени τ_2 – между генеральными уборками, ч; 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:

$$m_{ав} = (m_{ан} + q \cdot T) \cdot K_n, \quad (10.25)$$

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:

$$m_{\text{ап}} = \frac{M_j}{n_{\text{ст}} \cdot 3600} \cdot (1 - \alpha), \quad (10.26)$$

где M_j – масса пыли, выделяющейся за 1ч работы j -го оборудования, определяется по формуле (10.20); $n_{\text{ст}}$ – количество станков; $(1 - \alpha)$ – доля пыли, не улавливаемая вентиляцией.

5. Окончанием расчета является определение избыточного давления взрыва Δp для пыли по формуле:

$$\Delta p = \frac{m \cdot H_T \cdot p_0 \cdot z}{V_{\text{св}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot c_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_H} \quad (10.27)$$

где m – масса пыли, участвующая во взрыве (по формуле 10.21), кг; H_T – теплота сгорания, Дж/кг; $p_0 = 101$ кПа – начальное давление (равно $p_{\text{атм}}$); z – коэффициент участия горючей пыли во взрыве; $z = 0,5$ – коэффициент участия горючей пыли во взрыве, определяется по табл. 10.3; $V_{\text{св}} = 0,8V$ – свободный объем помещения, м^3 ; $\rho_{\text{в}} = 1,205$ кг/ м^3 – плотность воздуха до взрыва при $t_{\text{возд}} = 20$ °С; $c_p = 1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) – теплоемкость воздуха; $T_0 = t^\circ\text{C} + 273$ – начальная температура воздуха, К; K_H – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, принять $K_H = 3$.

В заключение, на основании расчетов избыточного давления, возможного при аварийной ситуации, определяется категория рассматриваемого помещения, в котором в технологическом процессе обращается взрывопожароопасная древесная пыль.

Задание А (табл. 10.4). *Определение категории помещения, использующего ЛВЖ, по взрывопожарной и пожарной опасности*

Рассчитать 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 $K_{\text{св}} = 0,8$, кратность аварийной вентиляции $A = 10 \text{ч}^{-1}$, температура воздуха – $t_{\text{в}}$. ЛВЖ имеет следующие характеристики: температура вспышки – $t_{\text{всп}}$, молекулярная масса – M , давление насыщенных паров – $p_{\text{нп}}$, плотность жидкости – $\rho_{\text{ж}}$, плотность пара при расчетной температуре – $\rho_{\text{п}}$. Характеристики технологического процесса: объем аппарата – $V_{\text{ап}}$. Степень заполнения – $\kappa_{\text{б}}$, температура жидкости в аппарате – $t_{\text{ж}}$, 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 $p_o = p_{атм} = 101$ кПа, максимальное давление взрыва $p_{max} = 900$ кПа, $\eta = 1$ ($v_{возд} = 0$ м/с).

Таблица 10.4 – Варианты заданий 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЛВЖ	Ацетон C ₃ H ₆ O	Ацетон C ₃ H ₆ O	Ацетон C ₃ H ₆ O	Бензол C ₆ H ₆	Бензол C ₆ H ₆	Бензол C ₆ H ₆	Гексан C ₆ H ₁₄	Гексан C ₆ H ₁₄	Гексан C ₆ H ₁₄	Ацетон C ₃ H ₆ O
$l \times b \times h$, м	20×20×3	10×20×5	40×20×3	20×20×3	10×20×5	40×20×3	20×20×3	10×20×5	40×20×3	10×20×3
$t_{вн}, ^\circ\text{C}$	20	25	30	20	30	35	20	25	30	22
$t_{всп}, ^\circ\text{C}$	-18	-18	-18	-11	-11	-11	-23	-23	-23	-18
M	50	50	50	78	78	78	86	86	86	50
$p_{н.тв}$, 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
ρ_n , кг/м ³	2,08	2,04	2,00	3,24	3,13	3,08	3,57	3,51	3,45	2,06
$V_{ан}$, м ³	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5
$K_{св}$, %	90	92	95	90	92	95	90	92	95	95
$t_{жс}, ^\circ\text{C}$	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. 10.5). *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 $A = 8 \text{ ч}^{-1}$, температура воздуха – t_g . Газ имеет следующие характеристики: молекулярную массу M , плотность газа по воздуху – ρ_g . Характеристики технологического процесса: производительность компрессора для сжатия газа – q , м³/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 $0,5$ м³, 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 10.5 – Варианты заданий 2

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
$\rho_в$	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. 10.6). *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 – $c_p = 1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. 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 10.6 – Варианты заданий 3

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$l \times b \times h, м$	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

Окончание таблицы 10.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$t_{в}, ^\circ C$	20	24	30	20	24	30	20	24	30	30
$\rho_{в},$ кг/м ³	1,205	1,189	1,165	1,205	1,189	1,165	1,205	1,189	1,165	1,165
$H_{тв}$ Джс/(кгК)	$11 \cdot 10^6$	$13 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$	$13 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$	$13 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^6$
$n_{ст}$	4	5	6	4	5	6	4	5	6	3
$\delta, м$	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 11. Оценка обстановки при наводнении

Цель работы: изучить методику оценки обстановки при наводнении.

11.1 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.

Паводок – 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.

11.2 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:

$$t_{под} = \frac{R}{3600 \cdot v}, \text{ ч}, \quad (11.1)$$

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 11.1 определяется высота волны пропуска для различных расчетных точек (заданных расстояниях).

3. Определяется время опорожнения водохранилища по формуле:

$$T = \frac{W}{N \cdot B \cdot 3600}, \text{ ч}, \quad (11.2)$$

где W – объём водохранилища, м³; B – ширина прорана или участка перелива воды через гребень не разрушенной плотины, м; N – максимальный расход воды на 1 м ширины прорана, м³/(с·м), принимается ориентировочно по табл. 11.2.

Таблица 11.1 – 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, $h, \text{ м}$	$0,25H$	$0,2H$	$0,15H$	$0,075H$	$0,05H$	$0,03H$	$0,02H$
Продолжительность прохождения волны пропуска, $t, \text{ ч}$	T	$1,7T$	$2,6T$	$4T$	$5T$	$6T$	$7T$

Таблица 11.2 – Максимальный расход воды на 1м ширины прорана

Максимальный расход воды	Ширина прорана B , м			
	5	10	25	50
$N, м^3/(с·м)$	10	30	125	350

4. При прогнозировании обстановки принимается худший вариант – произошло полное опорожнение водохранилища за время T (см. п. 3), по таблице 11.1 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:

$$t_{защ} = t_{под} + t. \quad (11.3)$$

11.3 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. 11.1, а), или трапецидальным (рис. 11.1, б).

2. Находят площадь сечения реки до паводка S_0 по формулам:
– для треугольного сечения (рис. 11.1, а)

$$S_0 = 0.5 \cdot b_0 \cdot h_0, м^2 \quad (11.4)$$

– для трапецидального сечения (рис. 11.1, б).

$$S_0 = 0.5 \cdot (a_0 + b_0) \cdot h_0, м^2 \quad (11.5)$$

3. Определяют расход воды в реке до наступления наводнения (паводка) по формуле:

$$Q_0 = V_0 \cdot S_0, м^3/с, \quad (11.6)$$

где V_0 – скорость воды в реке до наступления паводка, м/с.

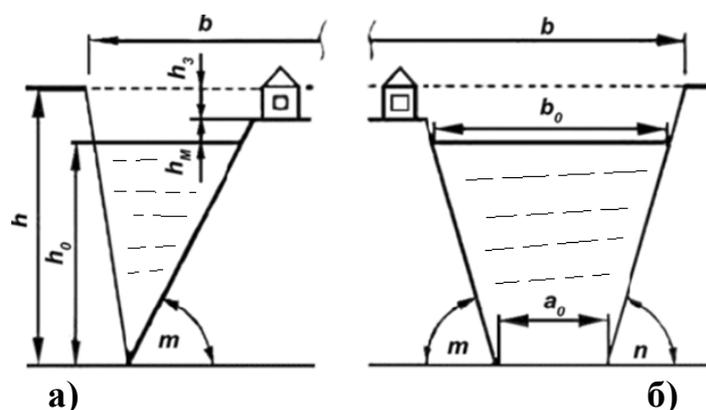


Рисунок 11.1 – Расчетная схема сечения реки:

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:

$$Q_{max} = Q_0 + J \cdot F / 3,6, \text{ м}^3/\text{с} \quad (11.7)$$

где J – интенсивность осадков (таяния снега), мм/ч.; F – площадь выпадения осадков, км²

5. Определяют высоту подъема воды в реке при прохождении паводка:

Для рис.11.1, а:

$$h = \left[2 \cdot Q_{max} \cdot \frac{h_0^{\frac{5}{3}}}{b_0 \cdot V_0} \right]^{\frac{3}{8}}, \text{ м} \quad (11.8)$$

Для рис.11.1,б:

$$h = \left\{ \frac{2 \cdot Q_{max} \cdot \left[\left[\frac{(b_0 - a_0)}{(ctg m + ctg n)} \right]^{\frac{5}{3}} \right]}{b_0 \cdot V_0} \right\}^{\frac{3}{8}}, \text{ м} \quad (11.9)$$

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:

$$V_{max} = \frac{Q_{max}}{S_{max}}, \text{ м/с} \quad (11.10)$$

где S_{\max} – площадь поперечного сечения потока при прохождении паводка, м^2 , определяемая по формулам (11.4) и (11.5), в которые вместо h_0 подставляют h , а вместо b_0 подставляют b .

Значение величины b находят:

– для треугольного сечения реки

$$b = \frac{b_0 \cdot h}{h_0}, \text{ м} \quad (11.11)$$

– для трапецеидального сечения реки

$$b = a_0 + h \cdot (\text{ctg } m + \text{ctg } n) = a_0 + 2 \cdot h \cdot \text{ctg } m \quad (11.12)$$

7. Поражающее действие паводка определяется глубиной h_3 и максимальной скоростью потока затопления V_3 , которые находят по формулам:

$$h_3 = h - h_M - h_0, \text{ м} \quad (11.13)$$

$$V_3 = f \cdot V_{\max}, \text{ м/с} \quad (11.14)$$

где f – параметр, характеризующий удаленность объекта от русла реки (определяется по табл. 11.3).

В отличие от волны прорыва наводнение и паводок оказывают более продолжительное действие (табл. 11.4), усугубляющее первоначальное разрушающее воздействие волны прорыва.

По таблице 11.5 по скорости и глубине затопления определим, степень повреждения здания, промобъектам, дорогам.

Таблица 11.3 – 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

Таблица 11.4 – Доля повреждённых объектов (%) на затопленных площадях при крупных наводнениях ($V_3 = 3 - 4 \text{ м/с}$)

Объект	Время затопления, ч					
	1	2	3	4	24	48
1	2	3	4	5	6	7
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

Окончание таблицы 11.4

1	2	3	4	5	6	7
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 11.5 – 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. 11.6). 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 плотинной H , средняя расчетная скорость движения волны пропуска v .

Таблица 11.6 – 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. 11.7). 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 11.7 – 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. 11.8). 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 11.8 – 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	трапецидальное
2	70	250	100	1,5	1,5	–	1,5	треугольное
3	104	300	50	3,0	2,0	20	1,0	трапецидальное
4	112	400	75	2,5	2,0	–	1,5	треугольное
5	88	200	120	3,0	1,5	40	2,0	трапецидальное
6	100	150	90	3,5	3,0	–	2,5	треугольное
7	137	220	110	4,0	1,0	70	2,0	трапецидальное
8	103	170	80	4,5	1,5	–	1,5	треугольное
9	111	180	90	1,5	2,5	30	1,0	трапецидальное
10	156	240	60	2,0	2,0	–	2,5	треугольное
11	123	350	70	2	2,0	30	2,0	трапецидальное
12	134	250	100	1,5	1,5	–	1,5	треугольное
13	110	300	50	3,0	2,0	20	1,0	трапецидальное
14	104	400	75	2,5	2,0	–	1,5	треугольное
15	106	200	120	3,0	1,5	40	2,0	трапецидальное
16	89	150	90	3,5	3,0	–	2,5	треугольное
17	124	220	110	4,0	1,0	70	2,0	трапецидальное
18	151	170	80	4,5	1,5	–	1,5	треугольное
19	110	180	90	1,5	2,5	30	1,0	трапецидальное
20	97	240	60	2,0	2,0	–	2,5	треугольное
21	71	350	70	2	2,0	30	2,0	трапецидальное
22	90	250	100	1,5	1,5	–	1,5	треугольное
23	85	300	50	3,0	2,0	20	1,0	трапецидальное
24	125	400	75	2,5	2,0	–	1,5	треугольное
25	119	200	120	3,0	1,5	40	2,0	трапецидальное
26	116	150	90	3,5	3,0	–	2,5	треугольное
27	156	220	110	4,0	1,0	70	2,0	трапецидальное
28	109	170	80	4,5	1,5	–	1,5	треугольное
29	124	180	90	1,5	2,5	30	1,0	трапецидальное
30	130	240	60	2,0	2,0	–	2,5	треугольное

Практическая работа 12.

Оценка энергосбережения в производстве при использовании регуляторов расхода тепловой энергии

Цель работы: изучить методику расчета экономии топлива за счет использования регуляторов тепла.

12.1 Основные сведения

Энергосбережение – реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических, экономических мер,

направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Энергоэффективность – эффективное использование энергетических ресурсов – достижение экономически оправданной эффективности использования ТЭР при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды.

Экономический эффект от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии имеет следующие составляющие:

- поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях путем соблюдения заданного графика зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха;
- ликвидация весенне-осенних перетопов зданий;
- автоматическое снижение потребления тепловой энергии системой отопления здания в нерабочее время, в выходные и праздничные дни;
- поддержание требуемой температуры горячей воды в системе ГВС;
- автоматическое снижение температуры горячей воды в ночное время, в выходные и праздничные дни, вплоть до полной остановки системы ГВС;
- поддержание комфортной температуры воздуха в помещениях путем автоматического изменения расхода теплоносителя, поступающего на калорифер вентиляционной установки;
- автоматическое включение вентиляционной установки в рабочее время и отключение в нерабочее время, в выходные и праздничные дни;
- ограничение температуры теплоносителя, возвращаемого в тепловую сеть.

12.2 Расчет экономии топлива от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии

12.2.1 Расчет годового расхода тепловой энергии

Годовой расход теплоты жилыми и общественными зданиями определяется по формулам [18, 19]:

- а) на отопление жилых и общественных зданий:

$$Q_o^{\text{ГОД}} = 24 \cdot Q_{o \text{ CP}} \cdot n_o, \quad \text{ккал} \quad (12.1)$$

где $Q_{o \text{ CP}}$ – среднечасовой расход тепла за отопительный период, ккал/ч; n_o – продолжительность отопительного периода в сутках по числу дней с устойчивой средней суточной температурой воздуха 8 °С и ниже (Брестская обл. – 187 сут, Витебская обл. – 207 сут, Гомельская обл. – 194 сут, Гродненская обл. – 194 сут, Минская обл. – 202 сут, Могилевская обл. – 204 сут); 24 – количество часов в сутках.

$$Q_{o \text{ CP}} = Q_o \cdot \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{CP.O}}}{t_{\text{ВН}} - t_{\text{P.O.}}} \quad (12.2)$$

где Q_o – максимальный часовой расход тепла на отопление, ккал/ч (принимается на основании проекта, технических условий на теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение); $t_{\text{ВН}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, °С (18 °С – для жилых, общественных и административных зданий, 21 °С – для дошкольных и детских лечебных учреждений, для производственных зданий принимается температура в зданиях характерная для конкретного производства); $t_{\text{CP.O}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С (0,2 °С – Брестская обл., – 2 °С – Витебская обл., – 1,6 °С – Гомельская обл., – 0,5 °С – Гродненская обл., – 1,6 °С – Минская обл., – 1,9 °С – Могилевская обл.); $t_{\text{P.O.}}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления принимаемая, как средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С (– 21 °С – Брестская обл., – 25 °С – Витебская обл., – 24 °С – Гомельская обл., – 22 °С – Гродненская обл., – 24 °С – Минская обл., – 25 °С – Могилевская обл.);

б) на вентиляцию общественных зданий:

$$Q_v^{\text{ГОД}} = Z \cdot Q_{v \text{ CP}} \cdot n_o, \quad \text{ккал} \quad (12.3)$$

где $Q_{v \text{ CP}}$ – среднечасовой расход тепла на вентиляцию за отопительный период, ккал/ч (принимается на основании проекта, технических условий на теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение); Z – усредненное за отопительный период число часов работы системы вентиляции общественных зданий в течении суток, ч (при отсутствии данных допускается принимать $Z = 16$ ч.).

$$Q_{В\text{ ср}} = Q_{В} \cdot \frac{t_{ВН} - t_{СР.0}}{t_{ВН} - t_{Р.В.}} ; \text{ ккал/ч} \quad (12.4)$$

где $Q_{В}$ – максимальный часовой расход тепла на вентиляцию, ккал/ч (принимается на основании проекта, технических условий на теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение); $t_{Р.В.}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, принята как средняя температура воздуха наиболее холодного периода, °С (– 21 °С – Брестская обл., – 25 °С – Витебская обл., – 24 °С – Гомельская обл., – 22 °С – Гродненская обл., – 24 °С – Минская обл., – 25 °С – Могилевская обл.).

в) на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий:

$$Q_{Г.В.}^{\text{ГОД}} = 24 \cdot Q_{Г.В.СР} \cdot n_0 + 24 \cdot Q_{Г.В.СР}^{\text{Л}} \cdot (350 - n_0), \text{ ккал} \quad (12.5)$$

где $Q_{Г.В.СР}$ – среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение за отопительный период, ккал/ч; $Q_{Г.В.СР}^{\text{Л}}$ – среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение в летний период, ккал/ч; n_0 – продолжительность отопительного периода в сутках по числу дней с устойчивой средней суточной температурой воздуха 8 °С и ниже; 350 – число суток в году работы системы горячего водоснабжения; 24 – количество часов в сутках.

$$Q_{Г.В.СР} = Q_{Г.В.} \cdot k, \text{ ккал/ч} \quad (12.6)$$

где $Q_{Г.В.}$ – максимальный часовой расход тепла на горячее водоснабжение, ккал/ч (принимается на основании проекта, технических условий на теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение); k – коэффициент часовой неравномерности пользования горячей водой (допускается принимать $k = 0,5$).

$$Q_{Г.В.СР}^{\text{Л}} = Q_{Г.В.СР} \cdot \frac{55 - t_{ХЛ} \cdot \beta}{55 - t_{ХЗ}}, \text{ ккал/ч} \quad (12.7)$$

где $t_{ХЛ}$ – температура холодной (водопроводной) воды в летний период, °С (допускается принимать $t_{ХЛ} = 15$ °С); $t_{ХЗ}$ – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период, °С (допускается принимать $t_{ХЗ} = 5$ °С); β – коэффициент, учитывающий снижение среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение в летний период по отношению к отопительному (допускается принимать $\beta = 0,8$); 55 – температура горячей воды, °С.

Годовые расходы теплоты предприятиями определяются исходя из числа дней работы предприятия в году, количества смен работы в сутки с учетом режима теплоснабжения предприятия. Для действующих предприятий годовые расходы теплоты допускается определять по эксплуатационным данным или ведомственным нормам.

12.2.2 Расчет годовой экономии тепловой энергии

Экономия тепловой энергии за счет поддержания комфортной температуры воздуха в помещениях жилых, общественных и производственных зданий путем соблюдения заданного графика зависимости температуры теплоносителя, поступающего в систему отопления, от температуры наружного воздуха составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление:

$$\Delta 1 Q_o^{\text{год}} = 0,02 \cdot Q_o^{\text{год}}, \text{ ккал.} \quad (12.8)$$

Экономия тепловой энергии за счет ликвидации весенне-осенних перетопов в помещениях жилых, общественных и производственных зданий составляет 12 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление:

$$\Delta 2 Q_o^{\text{год}} = 0,12 \cdot Q_o^{\text{год}}, \text{ ккал.} \quad (12.9)$$

Экономия тепловой энергии за счет автоматического снижения потребления тепловой энергии системой отопления общественных и производственных зданий в нерабочее время, в выходные и праздничные дни составляет 23 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на отопление:

$$\Delta 3 Q_o^{\text{год}} = 0,23 \cdot Q_o^{\text{год}}, \text{ ккал.} \quad (12.10)$$

Для систем отопления жилых зданий не практикуется автоматическое снижение потребления тепловой энергии.

Экономия тепловой энергии за счет поддержания требуемой температуры горячей воды в системе ГВС жилых, общественных и производственных зданий составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на горячее водоснабжение:

$$\Delta 1 Q_{Г.В.}^{ГОД} = 0,02 \cdot Q_{Г.В.}^{ГОД}, \text{ ккал.} \quad (12.11)$$

Экономия тепловой энергии за счет автоматического снижения температуры горячей воды в ночное время в жилых зданиях составляет 13 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на горячее водоснабжение. Экономия тепловой энергии за счет автоматического снижения температуры горячей воды в ночное время, в выходные и праздничные дни, вплоть до полной остановки системы ГВС, общественных и производственных зданий составляет 21 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на горячее водоснабжение:

$$\Delta 2 Q_{Г.В.}^{ГОД} = (0,13 \text{ или } 0,21) \cdot Q_{Г.В.}^{ГОД}, \text{ ккал.} \quad (12.12)$$

Экономия тепловой энергии за счет поддержания комфортной температуры воздуха в помещениях путем автоматического изменения расхода теплоносителя, поступающего на калорифер вентиляционной установки, составляет 9 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на вентиляцию:

$$\Delta 1 Q_{В.}^{ГОД} = 0,09 \cdot Q_{В.}^{ГОД}, \text{ ккал.} \quad (12.13)$$

Экономия тепловой энергии за счет автоматического включения вентиляционной установки в рабочее время и отключение в нерабочее время, в выходные и праздничные дни составляет 2 % (принимается на основании практических наработок) от годового расхода теплоты на вентиляцию:

$$\Delta 2 Q_{В.}^{ГОД} = 0,02 \cdot Q_{В.}^{ГОД}, \text{ ккал.} \quad (12.14)$$

Годовая экономия тепловой энергии $\Delta Q^{ГОД}$ (ккал) составит:

$$\Delta Q^{ГОД} = \Delta 1 Q_o^{ГОД} + \Delta 2 Q_o^{ГОД} + \Delta 3 Q_o^{ГОД} + \Delta 1 Q_{Г.В.}^{ГОД} + \Delta 2 Q_{Г.В.}^{ГОД} + \Delta 1 Q_{В.}^{ГОД} + \Delta 2 Q_{В.}^{ГОД} \quad (12.15)$$

Годовая экономия условного топлива $\Delta B^{ГОД}$ составит:

$$\Delta B^{ГОД} = \Delta Q^{ГОД} \cdot b_{ТЭ} \cdot 10^{-3}, \text{ т у. т.} \quad (12.16)$$

где $b_{тэ}$ – удельный расход условного топлива на выработку одной Гкал тепловой энергии, кг у.т./Гкал (за 2018 год составил 166,6 кг у.т./Гкал).

12.2 Выполнения работы

1. По данным предприятия провести расчет годовой экономии условного топлива при использовании автоматических регуляторов тепла

Таблица 12.1 – Исходные данные для расчета экономии тепловой энергии производственным зданием

Вариант	Населенный пункт	Максимальный расход тепла на отопление, Гкал/мес.	Максимальный расход тепла на вентиляцию, Гкал/мес.	Максимальный расход тепла на горячее водоснабжение, Гкал/мес.
1	Брест	115	5	40
2	Пинск	110	7	42
3	Витебск	130	5	30
4	Полоцк	140	6	38
5	Гомель	100	8	36
6	Гродно	125	6	28
7	Могилев	140	7	31
8	Барановичи	128	8	32
9	Новополоцк	147	5	35
10	Светлогорск	132	4	41
11	Бобруйск	134	6	38
12	Кричев	139	6	35
13	Дубровно	128	8	28
14	Заславль	120	7	27
15	Шклов	106	6	20
16	Туров	102	7	22
17	Верхнедвинск	119	5	24
18	Орша	144	10	29
19	Жлобин	105	7	20
20	Молодечно	126	8	21
21	Лида	135	4	29
22	Дзержинск	131	3	30
23	Новолукомль	128	8	28
24	Столбцы	137	5	30
25	Слуцк	132	6	21
26	Волковыск	109	7	18
27	Слоним	127	6	20
28	Ошмяны	131	6	17

Практическая работа 13.

Оценка энергопотребления встроенного помещения административного здания

Цель работы: изучить методику составления энергетического паспорта объекта на примере административного здания.

13.1 Основные сведения

Эффективное использование энергетических ресурсов, энергии и энергоносителей, сокращение потерь в процессе функционирования промышленной инфраструктуры – вопросы, с каждым десятилетием становящиеся все более актуальными и представляющие собой сегодня глобальную проблему. Внедрение современных энергосберегающих технологий равносильно производству энергоресурсов и зачастую именно оно представляет собой более рентабельный и экологически ответственный способ обеспечения растущего спроса на энергию.

В существующих зданиях расходы тепловой энергии в среднем составляют 250–600 кВт/ч за отопительный период на м² отапливаемой площади в зависимости от объемно-планировочного решения дома: многоэтажный или малоэтажный, многосекционный или одноквартирный. В многоэтажных домах площадь наружных ограждающих конструкций (стен, покрытий, цокольных перекрытий), приходящихся на 1 м² полезной площади зданий, в 3–4 раза меньше, чем в одно-двухэтажных, и, соответственно, меньше тепловых потерь.

Расход энергии (тепла, электричества) в зданиях зависит от многих различных факторов: климатических, технических, потребительских.

К климатическим факторам относятся температура холодного периода, количество солнечной радиации, скорость ветра, количество осадков.

К техническим факторам относятся величина тепловой изоляции, тип, размер и направленность окон, объемно-планировочное решение здания, системы отопления и вентиляции, регулирование этих систем.

К потребительским относят частоту открывания окон, приготовления пищи и использования света, количество бытовых приборов.

Величина теплопотерь через наружные ограждения (стены, покрытия, цокольные перекрытия, окна) определяется сопротивлением теплопередаче конструкции.

Энергоэффективным является здание, в котором при проектировании, строительстве и эксплуатации осуществлено максимальное количество мероприятий, направленных на экономию топливно-энергетических ресурсов.

Основными путями экономии энергии в гражданских зданиях являются повышение тепловой эффективности строительных конструкций, архитектурно-планировочных решений, инженерных систем, использование нетрадиционных видов энергии. Повышение теплозащиты здания возможно осуществить за счет использования эффективных теплоизоляционных материалов и применения новых конструктивных решений стен, окон.

Наиболее перспективными являются двухслойные ограждающие конструкции с несущим и теплоизоляционным слоями.

Объемно-планировочные решения зданий оказывают существенное влияние на энергопотребление. Например, здания с широким корпусом потребляют на 15–18 % меньше энергии, чем здания с обычным корпусом. Поэтому необходимо разрабатывать объемно-планировочные решения с наименьшей площадью наружных конструкций для зданий одинакового объема.

Эффективным средством снижения теплопотерь здания является остекление лоджий, устройство на фасадах здания стекол на отnose, размещение пассивных солнечных коллекторов на крышах зданий для подогрева наружного воздуха, поступающего в здание [18].

13.2 Выполнение работы

Составить энергетический паспорт встроенного офисного помещения, располагающегося на втором этаже трехэтажного здания, используя следующую методику расчета. Исходные данные представлены в таблице 13.5.

1. Рассчитать общую площадь окон, $F_{ок}$ (m^2).
2. Рассчитать площадь помещения, $F_{пом}$ (m^2)
3. Рассчитать объем помещения, $V_{пом}$ (m^3)
4. Рассчитать площадь наружной стены за вычетом площади оконных проемов, $F_{н.ст.}(m^2)$

$$F_{н.ст} = L \cdot H - F_{ок} \quad (13.1)$$

5. Выбрать температуру воздуха внутри помещения.

Расчетная температура внутреннего воздуха помещения $t_{\text{внут.}}$ выбирается согласно ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» [18] (табл.13.1)

Таблица 13.1 – Расчетная температура внутреннего воздуха помещения

Здания	Расчетная температура, $t_{\text{внут.}}, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность, %
Жилые	18	55
Общественные (кроме помещений с мокрым климатом, дошкольных и лечебных учреждений)	18	50
Административные и бытовые здания	18	50

Для расчёта отопления принимаем $t_{\text{вн.}} = 18 ^\circ\text{C}$.

6. Выбрать климатические характеристики региона.

Климатические характеристики региона выбираем из таблицы 13.2 (ТКП 45-2.04-43-2006): средние параметры наружного воздуха за отопительный период $t_{\text{н}} ^\circ\text{C}$ со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$ и продолжительность отопительного периода Z (сут.) со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$

Таблица 13.2 – Климатические характеристики региона

Область	Средняя температура наружного воздуха, $t_{\text{н}} ^\circ\text{C}$	Продолжительность отопительного периода Z , сут
Брестская	0,2	187
Витебская	- 2,0	207
Гомельская	- 1,6	194
Гродненская	- 0,5	194
Минская	- 1,6	202
Могилевская	- 1,9	204

7. Количество градусо-суток отопительного периода D , $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$, следует определять по формуле:

$$D = (t_{\text{вн.}} - t_{\text{н.}}) \cdot Z \quad (13.2)$$

Полная длительность отопительного периода:

$$\tau = Z \cdot 24 \text{ (ч)} \quad (13.3)$$

8. Теплопотери через окна.

Сопротивление теплопередаче окон и балконных дверей $R_{\text{окон}} = R_T$ определяется по таблице 13.3 (табл. Г.1 приложения Г (справочное) ТКП 45-2.04-43-2006).

Таблица 13.3 – Сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов

Заполнение светового проема	Сопротивление теплопередаче $R_T, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
1 Одинарное остекление в деревянных переплетах	0,18
2 Одинарное остекление в металлических переплетах	0,15
3 Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	0,39
4 Двойное остекление в деревянных отдельных переплетах	0,42
5 Двойное остекление в металлических отдельных переплетах	0,34
6 Двойное остекление витрин в металлических отдельных переплетах	0,31
7 Тройное остекление в деревянных отдельно-спаренных переплетах	0,55
8 Тройное остекление окон в металлических отдельных переплетах	0,46
9 Блоки стеклянные пустотелые размерами 194×194×98 мм при ширине швов 6 мм	0,31
10 Блоки стеклянные пустотелые размерами 244×244×98 мм	0,33
11 Профильное стекло швеллерного сечения	0,16
12 Профильное стекло коробчатого сечения	0,31
13 Органическое стекло одинарное	0,19
14 Органическое стекло двойное	0,36
15 Органическое стекло тройное	0,52
16 Двухслойные стеклопакеты в деревянных переплетах	0,36
17 Двухслойные стеклопакеты в металлических переплетах	0,31
18 Двухслойные стеклопакеты и одинарное остекление в отдельных деревянных переплетах	0,53
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Значения сопротивления теплопередаче заполнений световых проемов в деревянных переплетах даны для случаев, когда отношение площади остекления к площади заполнения светового проема находится в пределах 0,75–0,85.</p> <p>2 При отношении площади остекления к площади заполнения светового проема в деревянных переплетах, находящемся в пределах 0,60–0,74, указанные в таблице значения R_T следует увеличивать на 10 %, а при отношении площадей, равном 0,86 и более – уменьшать на 5 %.</p>	

Потери тепла через окна за отопительный период рассчитываются по формуле:

$$Q_{\text{ок}} = \frac{1}{R_{\text{ок}}} \cdot F_{\text{ок}} \cdot D \cdot (1 + \sum \beta_1) \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \text{МДж} \quad (13.4)$$

где $\Sigma\beta_1$ – добавочные потери теплоты через окна в долях от основных потерь (принимая, что все окна выходят на север, тогда $\Sigma\beta_1 = 0,18$)

9. Теплопотери через наружные стены.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (наружной стены) $R_{стен}$, $m^2 \cdot ^\circ C / W$, следует определять по формуле:

$$R_{стен} = \frac{1}{\alpha_B} + R_K + \frac{1}{\alpha_H}, \quad m^2 \cdot ^\circ C / W \quad (13.5)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$ (принимая равным $8,7 W / (m^2 \cdot ^\circ C)$) ; R_K – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / W$, α_H – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$ (принимая для наружных стен $23 W / (m^2 \cdot ^\circ C)$).

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями R_K , $m^2 \cdot ^\circ C / W$, следует определять по формуле:

$$R_K = R_1 + R_2 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \quad (13.6)$$

где R_1, R_2 – термическое сопротивление отдельных слоев конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / W$; δ – толщина слоя, м; λ – коэффициент теплопроводности материала или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации (выбираем из табл. 12.4, $W / (m \cdot ^\circ C)$), данные согласно ТКП 45-2.04-43-2006).

Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

10. Потери тепла через наружные стены за отопительный период равны:

$$Q_{стен} = \frac{1}{R_{стен}} \cdot F_{н.ст.} \cdot D \cdot (1 + \Sigma\beta_2) \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \quad MДж \quad (13.7)$$

где $\Sigma\beta_2$ – добавочные потери теплоты через наружные стены в долях от основных потерь (принимая, что стена выходит на север, тогда $\Sigma\beta_2 = 0,23$).

Затратами тепла на нагрев приточного воздуха – пренебрегаем.

11. Суммарные потери тепла за отопительный период:

$$Q_{от.} = Q_{ок} + Q_{стен} \quad (13.8)$$

Таблица 13.4 – Коэффициенты теплопроводности материалов

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале W, %	Расчетные коэффициенты		
	Плотность ρ , кг/м ³	Удельная теплоемкость c , кДж/(кг·°C)	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		теплопроводности λ , Вт/(м·°C)	теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°C) (при периоде 24 ч)	паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
Железобетон	2500	0,84	1,69	3	1,92	19,70	0,03
Кладка из сплошного кирпича глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	2	0,70	10,12	0,11
Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом связующем	250	0,84	0,057	2,0	0,061	1,08	0,45

12. Поступление тепла от оборудования, от людей и от освещения.

Мощность теплоступлений от оборудования и от освещения равна:

– от оборудования (учтено, что МФУ работает неполный рабочий день):

$$Q_{обор.} = N_{ЭВМ} \cdot W_{ЭВМ} + N_{МФУ} \cdot \frac{W_{МФУ} \cdot T}{8} \quad (13.9)$$

где $N_{ЭВМ}$, $N_{МФУ}$ – соответственно количество установленных компьютеров, МФУ, шт; $W_{ЭВМ}$, $W_{МФУ}$ – потребляемая мощность за рабочий день соответственно ЭВМ, МФУ, Вт; T – количество часов работы МФУ, ч;

– от освещения:

$$q_{\text{осв.}} = N_{\text{свет}} \cdot N_{\text{лампы}} \cdot W_{\text{лампы}} \quad (13.10)$$

где $N_{\text{свет}}$, $N_{\text{лампы}}$ – соответственно количество светильников, ламп в одном светильнике, шт; $W_{\text{лампы}}$ – потребляемая мощность одной лампы, Вт.

13. Поступление тепла в помещение за отопительный период составит:

$$Q_{\text{быт}} = (q_{\text{обор.}} + q_{\text{осв.}}) \cdot t_{\text{раб}} \cdot 3600 \cdot 10^{-6} \quad \text{МДж} \quad (13.11)$$

где $t_{\text{раб}}$ – количество рабочих часов в отопительный период

$$t_{\text{раб}} = \frac{8 \cdot 5 \text{ дн}}{24 \cdot 7 \text{ дн}} \cdot \tau, \text{ ч} \quad (13.12)$$

где τ – полная длительность отопительного сезона (формула 13.3)

Для упрощения расчетов теплоступление от людей не учитывать.

14. Потребность в тепловой энергии на отопление помещения.

Потребность в тепловой энергии на отопление помещения за отопительный период определяется по формуле:

$$Q_{\text{отопл}} = Q_{\text{ок}} + Q_{\text{стен}} - Q_{\text{быт}} \cdot \nu, \text{ МДж}$$

где ν – коэффициент снижения теплоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение $\nu = 0,8$.

15. Фактический удельный расход тепловой энергии на отопление помещения за отопительный период $q_{\text{отоп.пер}}$, кДж/(м³·°С·сут), определяем по формуле:

$$q_{\text{отоп.пер}} = \frac{Q_{\text{отопл}}}{V_{\text{пом}} \cdot D} \cdot 10^3, \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут)}$$

Таблица 13.5 – Исходные данные

№ вар	Размер окон, м	Заполнение светового проема	Количество окон	Размер наружной стены, м	Материал стены	Размер помещения, Ш/Г/В, м	Оборудование. Режим работы, часов в сутки	Искусственное освещение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,33 х 1,56	Двойное остекление в деревянных отдельных переплетах	4	4,2 х 3,3	двухслойная: 15 см железобетона, потом 10 см стекловаты	4,2 / 6 / 3,3	3 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч.	6 светильников ЛВО05-4х18-031 OPL HF с ЭПРА
2	1,79 х 1,77		4	4,2 х 3,3		4,2 / 6 / 3,3	4 компьютеров W = 300 Вт, режим – 8 ч. 1 МФУ, W = 100 Вт режим – 2 ч.	
3	1,79 х 1,77		2	4,2 х 3,3		4,2/4,6/3,3	2 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч. 1 МФУ, W = 100 Вт режим – 2 ч.	
4	2,36 х 1,76		3	4,5 х 3,3		4,5/4,5/ 3,3	4 компьютеров W = 300 Вт, режим – 8 ч. 2 МФУ, W = 100 Вт режим – 4 ч.	
5	1,51 х 1,48	Тройное остекление в деревянных раздельно-спаренных переплетах	4	4,2 х 3,3		4,2 / 6 / 3,3	5 компьютеров W = 300 Вт, режим – 8 ч 2 МФУ, W = 100 Вт режим – 2 ч.	
6	3 х 1,2		2	3,5 х 3,3		3,5/ 4,5/ 3,3	4 компьютера W = 300 Вт, режим – 6 ч. 1 МФУ, W = 100 Вт режим – 1 ч.	

Продолжение таблицы 13.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	2,5 x 1,7		3	3,5 x 3,3		3,5/ 5,5/ 3,3	3 компьютеров W = 300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W = 100 Вт режим – 2 ч.	6 светильников ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА
8	2,94 x 2,94	Тройное остекление в деревянных раздельно-спаренных переплетах	2	4,2 x 3,3		4,2 / 6,5 / 3,3	2 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч. 2 МФУ, W = 100 Вт режим – 4 ч	
9	3,94 x 3,94	Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	3	4,2 x 3,3		4,2 / 6 / 3,3	4 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч. 2 МФУ, W = 100 Вт режим – 4 ч	
10	3 x 1,2		2	4,2 x 3,3		4,2/ 6,5/3,3	3 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч. 2 МФУ, W = 100 Вт режим – 3 ч	4 светильника ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА
11	2,36 x 1,76		2	3,5 x 3,3	Двухслойная: 12,5 см кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе потом 10 см стекловаты	3,5/4,5/3,3	2 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч. 1 МФУ, W = 100 Вт режим – 4 ч	

Окончание таблицы 13.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	1,79 х 1,77		3	3,5 х 3,3		3,5 / 5,2/3,3	4 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч. 1 МФУ, W = 100 Вт режим – 8 ч	
13	1,79 х 1,77	Двухслойные стеклопакеты в деревянных переплетах	1	4,8 х 3,3		4,8/ 5,8/ 3,3	3 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч. 1 МФУ, W = 100 Вт режим – 5 ч	8 светильников ЛВО05-4х18-031 OPL HF с ЭПРА
14	2,5 х 1,7		1	4,8 х 3,3		4,8 / 6 / 3,3	4 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч. 3 МФУ, W = 100 Вт режим – 3 ч	
15	1,79 х 1,77		1	4,2 х 3,3		4,2 / 6,2 /3,3	3 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч. 1 МФУ, W = 100 Вт режим – 1 ч	6 светильников ЛВО05-4х18-031 OPL HF с ЭПРА
16	2,96 х 1,77	1	4,2 х 3,3		4,2 / 4,2/ 3,3	3 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч. 1 МФУ, W = 100 Вт режим – 4 ч		

Список использованных источников

1. Управление экологической безопасностью предприятия : практикум / О. И. Родькин, Г. И. Морзак, Н. В. Сидорская. – Минск : БНТУ, 2022. – 85 с.
2. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л., Гидрометеиздательство, 1987. – 93 с.
3. 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. – 160 с.
4. 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/МУ_%20к%20ЛР/EiKSOS/7-Normativi-dopustimih-sbrosov.pdf. – Дата доступа: 12.07.2024.
5. 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.
6. Комплексное управление отходами: методические указания к практическим работам / сост. Т. С. Благовещенская. – Минск : БНТУ, 2015. – 44 с.
7. Решение Витебского городского исполнительного комитета от 23 августа 2023 г. № 939 «Об установлении нормативов образования твердых коммунальных отходов» [Электронный ресурс]. Режим доступа – <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=R923v0126075/>. Дата доступа: 15.07.2024.
8. ТКП 17.11-08-2020 Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила обращения с коммунальными отходами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cleanbin.ru/zkh/container-calculation>. – Дата доступа: 18.07.2024.
9. Пункты сбора ОАО «БЕЛВТОРРЕСУРСЫ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belvtorresurs.by/prices/purchasing-prices-for-legal-entities>. – Дата доступа: 18.07.2024.
10. Босак В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека. Практикум : учебное пособие / В. Н. Босак, А. В. Домненкова. – Минск, Вышэйшая школа, 2016. – 192 с.
11. Безопасность жизнедеятельности человека : метод. рекомендации к практическим занятиям / 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>. – Дата доступа: 25.07.2024.

12. Республика Беларусь. Законы. 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. – 14 с.

13. ТКП 474–2013 (02300). Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – Минск : НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС РБ, 2013. – 53 с.

14. СНБ 2.02.01–98. Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов. – Минск : Изд-во Минскстройархитектуры РБ, 2001. – 11 с.

15. Асаенок, И. С. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие / И. С. Асаенок [и др.]. – Минск, 2000. – 220 с.

16. Савенок, В. Е., Трутнев А. А. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций : практикум / В. Е. Савенок, А. А. Трутнев. – Витебск : УО «ВГТУ», 2014. – 104 с.

17. Мастрюков, Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях : учебник для студентов высших учебных заведений / Б. С. Мастрюков. – Москва : издательский центр «Академия». – 2004. – 336 с.

18. ТКП 45-2.04-43-2006. Строительная теплотехника Строительные нормы проектирования. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2007. – 36 с.

Приложение А

Таблица А.1 – Масса вредных веществ, выбрасываемых в единицу времени, г/с

Вариант	Нагретый источник				Холодный источник		
	СО	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 А.2 – Параметры источников выбросов

Вариант	Нагретый источник				Холодный источник		
	H, м	D, м	V ₁ , м ³ /с	T _r , °С	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 А.3 – Среднесуточная температура в жаркий период года, скорость ветра

Города	Средняя максимальная температура воздуха наиболее жаркого месяца года, Тв, °С	Среднегодовая скорость ветра, м/с U	Максимальная скорость ветра, м/с U _М
<i><u>Брестская область</u></i>			
Брест	24	2,5	22
Барановичи	24	2,8	27
Пинск	24	2,1	22
<i><u>Витебская область</u></i>			
Витебск	23	2,0	23
Орша	23	2,8	25
Полоцк	23	2,0	28
<i><u>Гомельская область</u></i>			
Василевичи	25	1,9	17
Жлобин	24	2,2	20
Гомель	24	2,0	25
Мозырь	25	2,0	23
<i><u>Гродненская область</u></i>			
Волковыск	24	2,4	24
Гродно	24	3,3	22
Лида	23	2,2	23
Новогрудок	22	3,4	22
Ошмяны	23	3,1	23
<i><u>Минская область</u></i>			
Борисов	23	2,3	24
Минск	23	1,7	21
Слуцк	24	3,1	26
<i><u>Могилевская область</u></i>			
Бобруйск	24	2,6	24
Горки	23	3,4	29
Могилев	23	3,5	28

Таблица А.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 Б

Таблица Б 1 – Зависимость коэффициентов экономического ущерба от уровня шумового загрязнения.

L_H , дБ(экв.)	$A(L_H)$, (безразм.)	L_D дБ (экв.)	$A(L_D)$
25	0,6	25	0,4
26	1,4	26	0,8
27	2,2	27	1,2
28	3,1	28	1,7
29	4,1	29	2,2
30	5,2	30	2,7
31	6,5	31	3,3
32	7,8	32	3,9
33	9,4	33	4,6
34	11,1	34	5,3
35	12,9	35	6,0
36	15,0	36	6,8
37	17,3	37	7,7
38	19,8	38	8,6
39	22,7	39	9,6
40	25,9	40	10,7
41	29,4	41	11,9
42	33,3	42	13,1
43	37,6	43	14,4
44	42,4	44	15,8
45	47,7	45	17,3
46	53,6	46	19,0
47	60,2	47	20,7
48	67,4	48	22,6
49	75,5	49	24,6
50	84,4	50	26,7

Приложение В

Таблица В.1 – Калорийность некоторых продуктов питания

Продукты	Количество на 100 г продукта				Продукты	Количество на 100 г продукта			
	Жиры	Белки	Углеводы	Ккал		Жиры	Белки	Углеводы	Ккал
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Мясо									
Баранина 1 кат.	16,3	15,6	0,0	209	«Диетическая» вареная колбаса	13,5	12,1	0,0	170
Мякоть говядины сырая	19,6	26,2	0,0	135	«Молочные» сосиски	23,9	11,0	0,4	261
Телятина 1 кат.	2,0	19,7	0,0	97	Говяжьи сосиски	20,1	10,4	0,8	226
Сердце говяжье (свиное)	3,5(4,0)	16,0	2,0(2,6)	96 (101)	Грудинка свинины копчено-запеченная	52,7	10,0	0,0	514
Сардельки говяжьи отварные	18,2	11,4	1,2	215	Корейка свинины копчено-запеченная	48,2	10,2	0,0	475
Печень говяжья	4,0	20,0	4,0	127	«Диетическая» вареная колбаса	13,5	12,1	0,0	170
Печень свиная	3,8	18,8	4,7	109	«Молочные» сосиски	23,9	11,0	0,4	261
Грудинка свиная сырая	45,0	12,0	1,0	458	Грудинка свинины с/к	63,3	8,9	0,0	605
Сало сырое	89,0	3,0	0,0	812	Консервы «Завтрак туриста» из говядины	14,9	20,5	0,2	217
Сердце свиное	4,0	16,2	2,6	101	Консервы «Завтрак туриста» из свинины	31,0	16,9	0,2	347
Язык говяжий	12,1	16,0	2,2	173	Консервы «Паштет мясной» из говядины	23,3	16,1	0,4	275
Язык свиной	16,0	15,9	2,2	208	Голень индейки с кожей сырая	7,0	20,0	0,0	144
«Брауншвейгская» с/к колбаса	42,2	27,7	0,2	491	Белое мясо индейки сырое	2,0	24,0	0,0	115
«Одесская» п/к колбаса	38,1	14,8	0,3	402	Утки 1 кат.	38,0	15,8	0,0	405
«Охотничьи» п/к колбаски	40,0	25,3	0,3	463	Кролик сырой (отварной)	8,4(10,4)	30,2(25,5)	0,0	205 (194)

Продолжение табл. В.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
«Докторская» вареная колбаса	22,2	12,8	1,5	257	Бедро кур с кожей сырое	15,4	24,9	0,0	245
Консервы «Паштет печеночный»	28,1	11,6	3,4	301	Крыло кур с кожей сырое	19,3	26,6	0,0	288
Консервы из курицы в собственном соку	9,9	23,2	0,4	183	Грудка кур б/кожи сырая	3,5	30,8	0,0	164
Пельмени отварные	13,9	9,9	13,5	219	Печень курицы сырая	5,0	17,0	0,0	116
Бройлеры (цып.) 1 кат.	16,1	18,7	0,0	220	Котлеты из индейки (кур)	12,2(10,4)	18,6(18,2)	8,7(13,8)	220(222)
Желудок курицы сырой	2,0	18,0	0,0	94	Индейка отварная	19,8	23,6	0,0	273
Сердце курицы сырое	9,0	16,0	1,0	153	Гуси 1 кат,	39,0	15,2	0,0	412
Курица гриль	0,0	27,1	13,5	237	Индейка целиком сырая	7,0	28,9	0,0	187
Курица отварная	17,0	22,6	0,0	244					
Жиры									
Шпик свиной соленый	90,0	1,4	0,0	816	Масло сливочное «Крестьянское»	72,5	0,8	1,3	661
Жир куриный	99,7	0,0	0,0	897	Масло кукурузное, льняное, оливковое, подсолнечное, рапсовое	99,9	0,0	0,0	899
Майонез «Провансаль»	67,0	2,8	3,7	629					
Молоко и молочные продукты									
Масса творожная сладкая с ванилином 20,0 % жирности	23,0	7,1	27,1	345	Сыр Фета	21,0	14,0	4,0	264
Молочное мороженое	3,5	3,7	21,3	132	Сыр Чеддер	33,0	25,0	1,0	403
Мороженое молочное в шоколадной глазури	15,0	3,2	20,6	231	Сырки глазир. 10 % жир	10,9	9,4	33,1	270
Моцарелла	22,0	22,0	21,0	300	Сырки глазир. 0,1 % жир	27,7	7,9	32,6	413
Ряженка 2,5 % жирности	2,5	2,9	4,2	54	Творог 9,0 % жирности	9,0	18,0	3,0	169

Продолжение табл. В.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Простокваша 2,5 % жирности	2,5	2,9	4,1	53	Творог «Столовый» 2,0 % (5 %) жирность	2,0 (5,0)	20,0(21)	3,0	114
Сметана 10,0 % жирности	10,0	2,7	3,9	119	Творог нежирный	0,6	22,0	3,3	110
Сметана, (сливки) 25,0 % жирности	25,0	2,4	3,2 (3,9)	250	Молоко пастеризованное, 2,5 % жирности	2,5	2,9	4,8	54
Сыр сычужный твердый «Российский»	29,5	23,2	0,0	364	Сливки пастеризованные 20,0 % жирности	20,0	2,5	4,0	207
Маргарин молочный	82,0	0,3	1,0	743	Кефир 2,5 % жирности	2,5	2,9	4,0	53
Масло сладко-сливочное несоленое	82,5	0,5	0,8	748	Йогурт сладкий 3,2 % жирности	3,2	5,0	8,5	87
Сыр Тильзитер	26,0	24,0	2,0	340	Сыр сычужный рассольный «Сулугуни»	22,0	20,5	0,4	286
Рыба									
Килька балтийская	9,0	14,1	0,0	137	Горбуша	6,5	20,5	0,0	140
Макрель свежая	14,0	19,0	0,0	205	Камбала дальневосточ.	3,0	15,7	0,0	90
Минтай	0,9	15,9	0,0	72	Кета	5,6	19,0	3,2	181
Мойва осенняя	18,1	13,6	0,0	217	Форель морская (речная) свежая	7,0(5,0)	21,0	0,0	148(138)
Навага	1,6	19,2	0,0	91	Икра кеты (горбуши) зернистая	13,2(11,5)	31,5(30,6)	1,0	249(230)
Окунь морской	3,3	18,2	0,0	103	Икра минтая пробойная	1,8	27,9	1,1	132
Форель горячего (холодного) копчения	11,8(11,0)	37,0(22,3)	0,0	264(248)	Скумбрия атлант.	13,2(18,0)	18,1(19,3)	0,0	191(239)
Икра зернистая черная (осетровая)	13,8(14,5)	26,8(38,2)	0,8(1,5)	235(289)	Хек	2,2	16,6	0,0	86
Сайда свежая	2,0	38,0	0,0	178	Кальмар (мясо)	2,2	18,0	2,0	100
Мидии	2,0	11,5	3,3	77	Ставрида океанич.	4,5	18,5	0,0	114
Карп	5,3	16,0	0,0	112	Треска	0,6	16,0	0,0	69

Продолжение табл. В.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Креветки свежие	2,0	20,0	1,0	106	Сельдь атлантическая жирн. (нежирн.)	19,5(6,5)	17,7(19,1)	0,0	248(135)
Лещ	4,4	17,1	0,0	105	Печень трески, консервы	65,7	4,2	1,2	613
Окунь речной	0,9	18,5	0,0	82	Тунец	4,6	24,4	0,0	139
Раки речные	1,0	15,5	1,2	76	Щука	1,1	18,4	0,0	84
Сазан	2,7	18,2	0,0	97	Шпроты в масле, консервы	32,4	17,4	0,0	363
Сом	5,1	17,2	0,0	115	Бутерброд с соленой горбушей	2,7	6,7	14,8	110
Судак	1,1	18,4	0,0	84	Бутерброд с икрой кеты	3,9(3,5)	5,5 (5,2)	15,0	117(112)
Зерновые									
Крупа гречневая ядрица	3,3	12,6	57,1	308	Крупа перловая ячневая	1,1	9,3	66,9	315
Крупа кукурузная	1,2	8,3	71,0	328	Крупа пшено шлиф,	3,3	11,5	66,5	342
Крупа манная	1,0	10,3	70,6	333	Крупа рисовая	1,0	7,0	74,0	333
Крупа овсяная	6,1	12,3	59,5	342	Макароны из муки в/с	1,3	11,0	70,5	338
Хлопья «Геркулес» овсяные	6,2	12,3	61,8	352	Мука высшего сорта	1,3	10,8	69,9	334
Печенье затыжное из муки высшего сорта	11,3	8,5	69,7	414	Мука сеяная ржаная	1,4	6,9	66,3	305
Печенье сахарное из муки высшего сорта	9,8	7,5	74,4	417	Крупа перловая ячневая	1,1	9,3	66,9	315
Печенье сдобное из муки высшего сорта	16,8	6,4	68,5	451	Крупа пшено шлиф,	3,3	11,5	66,5	342
Сухари сливочные из муки высшего сорта	10,8	8,5	66,7	399	Хлеб пшеничный из муки высшего сорта	0,8	7,6	49,2	235
Сушки простые из муки высшего сорта	1,2	10,7	71,2	339	Хлеб бородинский	1,3	6,8	39,8	201

Продолжение табл. В.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Хлебцы докторские	2,6	8,2	46,3	242	Баранки сдобные из муки высшего сорта	8,0	8,3	60,4	348
Батон нарезной из муки высшего сорта	2,9	7,5	51,4	262	Блины из муки 1 сорта	3,1	5,1	32,6	189
Булочки сдобные из муки высшего сорта	9,4	7,9	55,5	339					
Овощи									
Капуста белокочан, (краснокочан,)	0,1(0,2)	1,8(0,8)	4,1(5,1)	29(26)	Пастернак (корень)	0,5	1,4	9,2	47
Капуста брокколи	0,4	2,8	6,6	34	Патиссон	0,1	0,9	8,6	34
Петрушка	0,4	3,7	7,6	49	Перец сладкий	0,1	1,3	4,9	26
Фасоль стручковая, консервы	0,1	1,2	2,4	16	Брюссельская капуста	0,3	3,4	8,9	43
Салат зеленый	4,1	1,8	2,4	54	Капуста цветная	0,3	2,5	4,2	30
Помидоры	0,0	0,6	4,2	20	Капуста кольраби	0,2	2,8	7,9	44
Рагу овощное	4,5	1,9	10,6	91	Морская капуста	0,2	0,9	0,0	5
Свекла	0,1	1,5	8,8	42	Картофель	0,4	2,0	16,3	77
Спаржа	0,1	1,9	3,1	21	Кабачки	0,3	0,6	4,6	24
Тыква	0,1	1,0	4,4	22	Морковь	0,1	1,3	6,9	35
Чеснок	0,5	6,5	29,9	149	Лук репка свеж. (жар.)	0,2(13,5)	1,4 (4,5)	8,2(27,4)	4(251)
Щавель	0,3	1,5	2,9	22	Огурцы грунт,(парник)	0,1	0,8(0,7)	2,5(1,9)	14(11)
Баклажаны	0,1	1,2	4,5	24	Редька черная (репа)	0,29 (0,2)	1,9 (1,5)	6,7 (6,2)	1 36 (32)
Имбирь свежий	1,0	2,0	18,0	80	Икра из кабачков (конс)	8,9	1,9	7,7	119
					Кукуруза сладкая	1,0	3,0	19,0	86
Фрукты									
Ананас	0,2	0,4	11,5	52	Яблоки (яблоки суш,)	0,40,1	0,4 (2,2)	9,8 (59)	47 (253)
Апельсин (мандарин)	0,2	0,9(0,8)	8,1(7,5)	43(38)	Гранат	0,6	0,7	14,5	72
Вишня (черешня)	0,2(0,4)	0,8 (1,1)	10,6	52	Арбуз	0,1	0,6	5,8	27

Продолжение табл. В.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Абрикосы	0,1	0,9	9,0	44	Крыжовник	0,2	0,7	9,1	45
Клубника (варенье из клубники)	0,3 (0,1)	0,7 (0,3)	7,7 (74)	32 (285)	Виноград (изюм)	0,60	0,63	15,4 (79)	72 (299)
Малина (ежевика)	0,5	0,8 (1,5)	8,3 (4,4)	46 (34)	Инжир (инжир суш.)	0,2(0,8)	0,7(3,1)	12,0(57,9)	54 (257)
Смородина черная (смородина красная)	0,4(0,2)	1,0 (0,6)	7,3 (7,7)	44 (43)	Лимон (лимон с сах.)	0,1	0,9(0,6)	3,0 (38)	34(169)
Черника (голубика)	0,60,5	1,1(1,0)	7,6 (6,6)	44 (39)	Персик (курага)	0,1(0,4)	0,9(3,0)	9,5 (57)	45 (254)
Клюква	0,2	0,5	3,7	28	Рябина черноплодная	0,2	1,5	10,9	55
Облепиха	5,4	1,2	5,7	82	Слива садовая (чернос.)	0,3 (0,7)	0,8 (2,3)	9,6 (57)	49(256)
Шиповник (шиповник сушеный)	0,7(1,4)	1,6 (3,4)	22,4(48)	1109(284)	Финики	0,5	2,5	69,2	292
Груша (груша сушеная)	0,3 (0,6)	0,4(2,3)	10,3(62,6)	47 (270)	Хурма	0,4	0,5	15,3	67
Грейпфрут	0,2	0,7	6,5	35	Киви	0,4	0,8	8,1	47
Яйца и яйцепродукты									
Яйцо целое куриное и отварное	11,5	12,7	0,7	157	Яичница глазунья	20,9	12,9	0,9	243
Белок	0,0	11,1	1,0	48	Яйцо под майонезом	24,5	4,1	4,7	256
Желток	31,2	16,2	0,0	354	Перепелиное яйцо	13,1	11,9	0,6	168
Орехи и семечки									
Грецкий орех	60,8	16,2	11,1	656	Миндаль жареный	53,7	18,6	13,0	609
Кедровые орехи	68,0	14,0	13,0	673	Фисташки	44,0	21,0	28,0	557
Лещина	62,6	13,0	9,3	42	Фундук	61,5	15,0	9,4	651
Оливки (мякоть)	23,7	1,6	19,0	296	Семечки подсолнечника	51,0	21,0	20,0	584
					Тыквенные семечки	42,0	33,0	12,0	500
Грибы									
Вешенки	0,0	3,0	6,0	43	Грибы белые свежие (суш.)	1,7(14,3)	3,7(30,3)	1,1(9,0)	34(286)
Грибы опята	1,2	2,2	0,5	22	Грибы шампиньоны	1,0	4,3	0,1	27

Окончание табл. В.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Грибы подберезовики, подосиновики	0,5–0,8	2,1–3,3	1,2	20–22	Грибы лисички	1,0	1,5	1,0	19
Напитки									
Кофе черный с сахаром	0,2	0,0	0,3	45	Какао со сгущенным молоком и сахаром	7,5	8,2	51,6	321
Кофе растворимый черный	0,0	0,0	0,0	1	Кофе натуральный со сгущенным молоком и сахаром	8,6	8,4	53,0	324
Кофе эспрессо	0,0	0,0	0,0	2	Сок морковный	0,1	1,1	12,6	56
Кофе на молоке	1,0	0,7	11,2	58	Сок апельсиновый	0,1	0,7	13,2	60
Квас хлебный	0,0	0,2	5,2	27	Сок грейпфрутовый	0,1	0,3	7,9	38
Сок яблочный	0,1	0,5	10,1	46	Сок виноградный	0,2	0,3	16,3	70
Сок томатный	0,1	1,0	2,9	18	Напиток Coca-cola	0,0	0,0	12,0	44
Вода (вода мин. «Боржоми», «Есентуки», «Минская-4», «Дарида»)	0,0	0,0	0,0	0,0	Чай ромашковый	0,0	0,0	0,0	1
Зеленый чай без сахара	0,0	0,0	0,3	1,0	Холодный чай Lipton, Nestea с лимоном	0,0	0,0	9,0	36
Черный чай без сахара	0,0	0,0	0,0	0,1					

Учебное издание

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Практикум

Составитель:
Скобова Наталья Викторовна

Редактор *Р.А. Никифорова*
Корректор *А.С. Прокопюк*
Компьютерная верстка *Ю.И. Марущак*

Подписано к печати 09.10.2024. Формат 60x90¹/₁₆. Усл. печ. листов 8,2.
Уч.-изд. листов 9,9. Тираж 50 экз. Заказ № 223.

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 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.