

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

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Практикум для студентов специальностей:
6-05-0723-02 «Технология и проектирование одежды и обуви»,
6-05-0723-01 «Технология и проектирование текстильных изделий»

Витебск
2025

УДК 658.382.3(075.83)

Составитель:
Н. В. Скобова

Одобрено кафедрой «Экология и химические технологии» УО «ВГТУ»,
протокол № 2 от 06.10.2025.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 3 от 28.11.2025.

Безопасность жизнедеятельности человека : практикум / сост.
Н. В. Скобова. – Витебск : УО «ВГТУ», 2025. – 137 с.

Практикум разработан для студентов специальностей: 6-05-0723-02 «Технология и проектирование одежды и обуви», 6-05-0723-01 «Технология и проектирование текстильных изделий». В лабораторном практикуме представлены темы и задания лабораторных работ по курсу «Безопасность жизнедеятельности человека» разделы «Основы экологии», «Энергосбережение», «Защита населения. Радиационная безопасность».

УДК 658.382.3(075.83)

© УО «ВГТУ», 2025

Содержание

Введение	4
Лабораторная работа 1. Определение загрязнения атмосферного воздуха выбросами от автомобильного транспорта	5
Лабораторная работа 2. Исследование физических показателей качества воды	11
Лабораторная работа 3. Оценка минерализации воды природных источников	18
Лабораторная работа 4. Расчет полигона размещения отходов производства с потенциалом выработки биогаза	21
Лабораторная работа 5. Измерение параметров воздушной среды	32
Лабораторная работа 6. Оценка уровня физического загрязнения атмосферного воздуха	39
Лабораторная работа 7. Экологические аспекты питания человека	46
Лабораторная работа 8. Энергосбережение в производстве при использовании регуляторов расхода тепловой энергии	54
Лабораторная работа 9. Оценка энергопотребления встроенного административного здания	60
Лабораторная работа 10. Изучение характеристик солнечного элемента	70
Лабораторная работа 11. Оценка инженерной защиты персонала объектов экономики в чрезвычайных ситуациях	80
Лабораторная работа 12. Оценка обстановки при наводнении	88
Лабораторная работа 13. Оценка химической обстановки на химически опасных объектах	96
Лабораторная работа 14. Исследование гамма-излучения	105
Лабораторная работа 15. Дозиметрия ионизирующих излучений	114
Лабораторная работа 16. Определение бета-активности строительный материалов	122
Список использованных литературных источников	124
Приложение А. Удельные выбросы от автомобилей	127
Приложение Б. Калорийность некоторых продуктов питания	130

Введение

Издание направлено на формирование у студентов профессиональных знаний по вопросам безопасности жизни и профессиональной деятельности в условиях современной природной, техногенной, экологической и социальной обстановки. В условиях научно-технического прогресса и интенсификации промышленного производства проблемы безопасной деятельности человека стали одной из главных общегосударственных задач, решение которых неразрывно связано с охраной здоровья людей.

Пособие включает пятнадцать лабораторных работ, которые содержат темы по основам экологии, энергосбережения, защите населения и объектов от чрезвычайных ситуаций, радиационной безопасности. Целью пособия является освоение студентами умений и практических навыков, которые будут использованы в профессиональной деятельности и жизненных ситуациях. Лабораторные исследования – наиболее эффективный метод познания степени воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду, позволяют наиболее полно усвоить теоретический материал, овладеть навыками мониторинговых исследований, научиться анализировать полученный материал, представлять его в различных формах (таблицы, схемы, диаграммы), давать на его основании обобщающие выводы.

Для удобства использования нормативной документации в лабораторном практикуме представлены основные нормативные документы по изучаемым вопросам и ряд дополнительных сведений, которые помогут обучающимся для решения поставленных вопросов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВЫБРОСАМИ ОТ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

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

1.1 Основные сведения

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

- при заправке автомобиля (в среднем 1,4 г/л заливаемого топлива);
- при испарениях из топливного бака пропорционально площади испарения (независимо от того, работает двигатель или нет) [1].

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

- качеством, сортом, видом и условиями сгорания топлива, масел [3], конструкцией, качеством регулировки и режимом работы ДВС (табл.1.1); моделью, техническими параметрами и степенью изношенности авто (табл.1.2);
- параметрами улично-дорожной сети и др.

Важной особенностью ОГ дизелей является наличие канцерогенных ПАУ (поверхностных ароматических углеводородов) и диоксинов. Содержащиеся в ОГ загрязняющие вещества по химической структуре, свойствам и характеру воздействия на организм человека можно классифицировать по следующим группам.

Первую образуют нетоксичные продукты полного сгорания топлива: кислород, водород, азот, водяной пар, углекислый газ и другие

естественные компоненты атмосферного воздуха. Они занимают наибольший объем ОГ, а их концентрация в обычных условиях не достигает вредного для человека уровня.

Вторая – это оксид углерода – бесцветный, не имеющий запаха продукт неполного сгорания топлива при недостатке кислорода, содержание которого в ОГ бензиновых ДВС достигает 10 %, в дизельных ДВС 0,2–0,3 %.

Оксид углерода – опаснейший респираторный яд, сохраняющийся в атмосфере 2–42 месяца. Кроме нарушения жирового и углеводного обмена, витаминного баланса в тканях, его токсическое действие основано на способности в 200–300 раз быстрее кислорода адсорбироваться молекулами гемоглобина крови с образованием карбоксигемоглобина – стойкого соединения, которое выводится из организма очень медленно и, затрудняя газообмен в клетках, блокирует процессы транспортировки кислорода и клеточного дыхания.

Таблица 1.1 – Влияние режима работы ДВС на содержание веществ в ОГ

Вещество	Содержание веществ в объеме ОГ, % по массе			
	Холостой ход	Разгон	Движение с постоянной скоростью	Торможение
Бензиновые двигатели				
Оксид углерода	6,900	2,900	2,700	3,900
Углеводороды	0,530	0,160	0,100	1,000
Оксиды азота	0,003	0,100	0,065	0,020
Альдегиды	0,003	0,002	0,001	0,030
Дизельные двигатели				
Оксид углерода	следы	1,000	следы	следы
Углеводороды	0,040	0,020	0,010	0,030
Оксиды азота	0,006	0,035	0,024	0,003
Альдегиды	0,001	0,002	0,001	0,003

Таблица 1.2 – Влияние возраста грузового АТС на содержание веществ в ОГ

Вид топлива	Выбрасываемое вещество, г/кВт·ч					
	СО	C _n H _m	NO _x	Пыль	ПАУ	Альдегиды
Новый автомобиль						
Дизельное топливо	3,5–4,5	2,0–3,0	11,0–14,0	0,3–0,4	0,00075	0,08
Бензин	85–95	8–10	15–17	0,05	0,075	0,65–1,0
Автомобиль, бывший в эксплуатации						
Дизельное топливо	7–12	2,5–4	10–14	0,5–0,8	0,004	0,2–0,4
Бензин	120–130	12–14	15–17	0,1	0,25	2,0–3,0

Третью группу составляют оксиды азота. Это наиболее токсичные компоненты ОГ ($\approx 98\%$ оксид азота (NO) – бесцветный газ и

≈2 % диоксид азота (NO_2) – красно-бурый газ с характерным запахом. Наибольшее количество оксидов азота выделяется при работе ДВС на режимах максимальной мощности, так как процесс сгорания имеет наименьшую продолжительность, а температура сгорания высока. В атмосфере оксид азота в высоких концентрациях содержится только вблизи источников выброса, большая часть его с удалением от источника окисляется в диоксид азота. При вдыхании оксид азота действует на нервную систему человека, вызывает параличи и судороги, а также, связывая гемоглобин крови, может вызвать кислородное голодание. Действие NO_2 даже в небольших количествах проявляется в раздражении слизистых оболочек глаз и дыхательных путей, снижении сопротивляемости организма к заболеваниям, что способствует развитию заболеваний легких, усилинию действия канцерогенных веществ и развитию злокачественных новообразований.

Четвертая, самая многочисленная группа – это несгоревшие углеводородные составляющие топлива (парафины, олефины, нафтены и ароматические соединения углерода и водорода, в том числе ПАУ). Сильными токсическими свойствами среди ароматических углеводородов обладает бензол, нарушающий процессы кроветворения, деятельность центральной нервной и мышечной системы. Наиболее сильным и стабильным канцерогеном является бенз(а)пирен, доля которого в суммарном выбросе ПАУ у дизельных ДВС достигает 3,7 % и у бензиновых ДВС 2,1–3,3 % [1].

В **пятую** группу входят кислородсодержащие производные углеводородов – альдегиды, образующиеся на ранних стадиях окисления углеводородов топлива и тонкого слоя масла на стенках цилиндров или при сгорании очень бедных топливовоздушных смесей. Их максимальные концентрации имеют место на режимах пуска (особенно холодного) и при малых нагрузках ДВС.

Шестую группу составляют мелкодисперсные частицы воды, моторного масла, образующиеся при крекинге, дегидрогенизации и полимеризации капель не полностью окислившегося углеводородного топлива, а также нерастворимых в органических растворителях частиц металлов (железо, цинк, медь, никель) и их оксидов, сульфатов и сажи. Сажевые частицы в чистом виде нетоксичны, но, имея развитую поверхность до $90 \text{ м}^2/\text{г}$, хорошо адсорбируют канцерогенные углеводороды, в частности бенз(а)пирен и формальдегид. А так как частицы сажи находятся длительно во взвешенном состоянии, то время воздействия вредных веществ на организм человека увеличивается. Крупные (2–10 мкм) частицы задерживаются в носовых пазухах, трахеях или бронхах и легко выводятся из организма, а мелкие (до 2 мкм), достигая альвеол легких, вызывают развитие хронических заболеваний.

Седьмая группа – это сернистые соединения, образующиеся при использовании топлива и смазочных масел с повышенным содержанием

серы и ее соединений, сгорающих при высокой температуре и избытке кислорода с образованием солей сернистого и серного ангидридов. Диоксид серы – бесцветный газ с острым запахом, является умеренно опасным веществом. При малых (до 0,001 %) концентрациях раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, вызывает нарушение углеводного обмена и функций кроветворных органов (костного мозга и селезенки). При хронических отравлениях малыми дозами SO_2 появляется головная боль и бессонница, возможно развитие хронического бронхита и конъюнктивита.

В атмосферных условиях диоксид серы сохраняется от нескольких часов до нескольких дней, а затем вступает во взаимодействие с другими соединениями, в частности углеводородами.

1.2 Выполнение работы

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

При расчете выбросов загрязняющих веществ используется градация МТС-1 (табл. 1.3) при расчете выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов на основе данных натурных обследований транспортного потока.

Для расчетов выбросов загрязняющих веществ необходимо установить следующие параметры дорожного движения: скорость движения транспортного потока, длина участка пути, количество остановок транспортного потока, количество задержек транспортного потока.

Таблица 1.3 – Градация МТС-1

Состав транспортных средств	Доля Δ_m	Условное обозначение
Мотоциклы	100 %	М
Легковые автомобили	80 %	ЛБ
	20 %	ЛД
Грузовые автомобили до 3,5 тонн	40 %	ГАБ
	60 %	ГАД
Грузовые автомобили св. 3,5 тонн	100 %	ГД
Автобусы городские и сочлененные	100 %	АГ
Автобусы до 5 тонн	40 %	ГАБ
	60 %	ГАД
Автобусы междугородние и дальнего следования	100 %	АМ

1.2.1 Правила расчета выбросов загрязняющих веществ

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

$$E_i^1 = (E_i^m + E_i^s + E_i^d) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (1.1)$$

где E_i^m – выбросы i -того вещества в атмосферный воздух при движении транспортного потока, г, определяемые по формуле (1.2);

E_i^s – выбросы i -того вещества в атмосферный воздух при остановке (торможении – разгоне), г, определяемые по формуле (1.3);

E_i^d – выбросы i -того вещества в атмосферный воздух при задержке движения (работе на холостом ходу), г, определяемые по формуле (1.4).

K_1 – поправочный коэффициент, учитывающий долю в транспортном потоке МТС расчетных моделей ЛБ и ЛД с холодным (неразогретым) двигателем, определяется по таблице А.5 (приложение А);

K_2 – поправочный коэффициент, учитывающий продольный уклон проезжей части, принимаем $K_2 = 1$;

K_3 – поправочный коэффициент, учитывающий состояние покрытия проезжей части (1 – хорошее, 1,05 – удовлетворительное, 1,10 – неудовлетворительное), принимаем $K_3 = 1$.

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

$$E_i^m = \sum_{j=1}^n q_{ij}^m \cdot L \cdot O_j, \quad (1.2)$$

где q_{ij}^m – удельные выбросы i -го вещества при движении j -го типа МТС в зависимости от скорости движения V , г/авт. км (грамм на один автомобиль на один километр), определяются по таблице А.1 (приложение А);

V – скорость транспортного потока, км/ч;

L – длина участка УДС, км;

O_j – объем движения j -типа МТС, авт.;

n – количество типов МТС, определяемое в зависимости от принимаемой градации

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

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

где q_{ij}^s – удельные выбросы i -го вещества при остановке (торможении – разгоне) j -го типа МТС, г/ост. (грамм на одну остановку), определяются по таблице А.2 (приложение А);

S – удельное количество остановок транспортного потока, ост./авт. (остановок на один автомобиль);

K – коэффициент коррекции выбросов в зависимости от скорости движения транспортного потока, определяется по таблице А.3 (приложение А).

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

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

где q_{ij}^d – удельные выбросы i -го вещества при задержке j -го типа МТС, г/мин (грамм в минуту), определяются по таблице А.4 (приложение А);

D – удельная задержка транспортного потока, мин/авт. (минут на один автомобиль);

Выполнение работы

Провести расчет количества загрязняющих веществ, выбрасываемых от автотранспорта по результатам натурных наблюдений.

Контрольные вопросы

1. Какие наиболее опасные загрязняющие вещества содержатся в отработанных газах автомобилей?

2. Как каждое вещество (перечисленные в ответе на вопрос 1) воздействует на организм человека?

3. Оцените ситуацию по загрязнению воздуха от АТС в г. Витебске.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Цель работы: определение органолептических и санитарно-токсикологических показателей качества воды.

2.1 Основные сведения

Нормирование качества воды заключается в установлении для воды водного объекта совокупности допустимых значений показателей ее состава и свойств, в пределах которых надежно обеспечиваются здоровье населения, благоприятные условия водопользования и экологическое благополучие водного объекта.

Общие требования к составу и свойствам воды водоемов, предназначенному для хозяйствственно-питьевого, коммунально-бытового и рыбохозяйственного назначения установлены следующими нормативными документами:

- Экологические нормы и правила ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности».
- Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 14 декабря 2007 г. № 164 О внесении изменения в Санитарные правила и нормы 10-124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».
- СанПиН от 25.10.2012 № 166 Санитарные нормы и правила «Требования к физиологической полноценности питьевой воды».
- СанПиН от 16.09.2014 № 69 Санитарные нормы и правила «Санитарно-эпидемиологические требования к системам централизованного хозяйствственно-питьевого водоснабжения».
- СанПиН от 15.12.2015 № 123 Санитарные нормы и правила «Требования к питьевой воде, расфасованной в емкости».
- СанПиН от 16.12.2015 № 125 Санитарные нормы и правила «Санитарно-эпидемиологические требования к охране подземных водных объектов, используемых в питьевом водоснабжении, от загрязнения».
- СанПиН от 05.12.2016 № 122 Санитарные нормы и правила «Требования к содержанию поверхностных водных объектов при их рекреационном использовании».

К хозяйствственно-питьевому водопользованию относится использование водных объектов в качестве источника хозяйственно-

питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности. К коммунально-бытовому относится использование объектов для купания, занятия спортом и отдыха населения.

К рыбохозяйственному водопользованию относится использование водных объектов для обитания, размножения и миграции рыб и других водных организмов.

Для всех видов водопользователей регламентируются в первую очередь физические показатели качества воды. Под физическими свойствами воды понимают ее *органолептические свойства (запах, цвет, прозрачность)*, а также температуру, плотность, вязкость и т. п.

Запах воды может быть как естественного (травянистый, болотный, древесный и т. п.), так и искусственного происхождения из-за загрязнения воды стоками предприятий. При качественной оценке запаха определяется его характер.

Естественные запахи могут быть классифицированы как:

1) ароматический, 2) болотный; 3) гнилостный; 4) древесный; 5) землистый; 6) плесневый; 7) рыбный; 8) сероводородный; 9) травянистый; 10) неопределенный. Искусственные запахи называют по вызывающим их веществам, например, фенольный, бензиновый, нафталиновый и т. п.

Количественная оценка интенсивности запаха дается в баллах по пятибалльной шкале (табл. 2.1). Согласно существующим нормам интенсивность запаха воды при 20 °C не должна превышать 2 баллов.

Цветность воды зависит от наличия в ней растворенных и взвешенных примесей (коллоидных соединений железа, гуминовых веществ, взвешенных и окрашенных веществ, водорослей). В зависимости от количества гуминовых кислот и их солей (гуматов) цвет колеблется от желтого до коричневого.

Таблица 2.1 – Определение интенсивности запаха воды

Интенсивность запаха, балл	Характеристика	Появление запаха
0	Никакого запаха	Отсутствие ощутимого запаха
1	Очень слабый	Запах, не замечаемый потребителем, но обнаруживаемый специалистом
2	Слабый	Запах, обнаруживаемый потребителем, если обратить внимание на это
3	Заметный	Запах, легко обнаруживаемый; может быть причиной того, что вода неприятна для питья

Продолжение таблицы 2.1

4	Отчетливый	Запах, обращающий на себя внимание; может заставить воздержаться от питья
5	Очень сильный	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной для питья

Цветность воды определяют качественно и количественно. Результаты качественного исследования цветности воды описывают словесно (бесцветная, светло-желтая, бурая и т. п.).

Количественно цвет воды определяют путем сравнения исследуемой воды со шкалой стандартных растворов и выражают в условных градусах этой шкалы (табл. 2.2). При отсутствии окраски вода считается бесцветной [5].

Таблица 2.2 – Шкала стандартных растворов

Номер пробирки	Раствор, мл		Градус цветности
	№ 1	№ 2	
1	0	50	0
2	0,5	49,5	5
3	1,0	49,0	10
4	1,5	48,5	15
5	2,0	48	20
6	2,5	47,5	25
7	3	47	30
8	3,5	46,5	35
9	4	46	40
10	5	45	50
11	6	44	60
12	7	43	70

Спектрофотометрический метод определения цветности воды основан на измерении оптической плотности или коэффициента пропускания анализируемой пробой воды при фиксированной длине волны 380 нм с последующим определением значения цветности по калибровочному графику, построенному по стандартным водным растворам шкалы цветности (ГОСТ 31868-2012).

Согласно СанПиН 10-124 РБ 99 благоприятные органолептические свойства воды определяются ее соответствием нормативам, указанным в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Нормированные показатели физических свойств воды

Наименование показателя	Единица измерения	Норматив, не более
Запах	баллы	2
Привкус	баллы	2
Цветность	градусы	20 – питьевая 35 – хоз.-быт. назнач.

Прозрачность воды обусловлена ее цветом и мутностью, т. е. зависит от количества содержащихся в воде взвешенных веществ (частицы песка, глины, почвы и т. п.). Определяют прозрачность воды непосредственно в водоеме или в пробах для анализа. Результаты качественного определения прозрачности воды путем сравнения с эталоном из дистиллированной воды оценивают словесно (слабомутная, очень мутная и др.). Качественная оценка прозрачности воды проводится по кресту или шрифту. Прозрачность по кресту устанавливается в водоеме или при контроле качества очистки воды на очистных сооружениях путем нахождения предельной высоты столба воды, через которую просматривается черный крест на белом фоне. Питьевая вода должна иметь прозрачность по кресту не менее 30 см. Определение прозрачности по шрифту в лабораторных условиях основано на нахождении максимальной высоты столба воды в бесцветном цилиндре, через который можно прочитать стандартный шрифт. Прозрачность питьевой воды по шрифту должна быть не менее 30 см [3].

Температура и плотность – общеизвестные параметры воды. Плотность чистой воды зависит от ее температуры и составляет при 15°C – $0,99913 \text{ г/см}^3$, при 20°C – $0,99823 \text{ г/см}^3$. Плотность природных и сточных вод зависит также и от растворенных соединений. Обычно плотность воды близка к единице.

Водородный показатель – количественная характеристика кислотности водных растворов. Водородным показателем (рН) называется величина, равная отрицательному десятичному логарифму концентрации ионов водорода.

В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого водопользования, воды водных объектов в зонах рекреации, а также воды водоемов рыбохозяйственного назначения величина рН не должна выходить за пределы интервала значений 6,5–8,5. При сбросе сточных вод в канализацию или в водоемы, рН также должна быть в этих пределах. В противном случае может иметь место повышенная коррозия труб, а также гибель или уменьшение биомассы на очистных сооружениях.

При оценке pH поверхностных вод можно использовать следующую градацию: если pH < 3 – сильно кислые, pH 3,0–5,0 – кислые, pH 5,0–6,5 – слабокислые, pH 6,5–7,5 – нейтральные (нормальные), pH 7,5–8,5 – слабощелочные, pH 8,5–10 – щелочные, pH > 10 – сильно щелочные.

Величина концентрации ионов водорода имеет большое значение для химических и биологических процессов, происходящих в природных водах. От величины pH зависит развитие и жизнедеятельность водных растений, устойчивость различных форм миграции элементов, агрессивное действие воды на металлы и бетон, pH воды также влияет на процессы превращения различных форм биогенных элементов (например, формы азота), изменяет токсичность загрязняющих веществ.

В речных водах значение pH обычно 6,5–8,5, в болотных водах 5,5–6,0, в атмосферных осадках 4,6–6,1, в океане – 7,9–8,3, в шахтных и рудных водах иногда 1,0, а в озерах – очень широкий диапазон pH: от 3,0 в вулканических до 9,0–9,5 в эвтрофных и до 10,0 в содовых озерах и термальных источниках.

Человеческая кровь имеет слабощелочные свойства именно из-за наличия в ней бикарбоната натрия. Некоторые вещества не проявляют ни основных, ни кислотных свойств, поэтому их называют нейтральными. Вода, хлорид натрия (NaCl), обычный сахар – примеры нейтральных соединений (табл. 2.4).

После выполнения всех исследований сделать вывод о качестве исследуемой воды.

Таблица 2.4 – Значения pH для некоторых известных веществ

Вещество	pH	Вещество	pH
Желудочный сок	1,0–2,0	Кислотный дождь	< 5,6
Лимонный сок (5% р-р лимонной кислоты)	2,0±0,3	Слюна	6,8–7,4
Пищевой уксус	2,4	Молоко	6,6–6,9
Кока-кола	3,0±0,3	Чистая вода	7,0
Яблочный сок	3,0	Кровь	7,36–7,44
Пиво	4,5	Морская вода	8,0
Кофе	5,0	Мыло (жировое) для рук	9,0–10,0
Шампунь	5,5	Нашатырный спирт	11,5
Чай	5,5	Отбеливатель (хлорная известь)	12,5
Кожа здорового человека	5,5	Концентрированные растворы щелочей	>13

2.2 Выполнение работы

2.2.1 Исследование запаха воды

В колбу с притертой пробкой емкостью 200 см³ налить исследуемую воду до 2/3 объема и сильно встряхнуть вращательным движением в закрытом состоянии. Затем открыть и сразу же определить обонянием характер и интенсивность запаха. Дать оценку характера и интенсивности запаха по пятибалльной шкале (см. табл. 2.1). Результаты исследований запаха воды записать.

2.2.2 Исследование цветности воды

Для качественной оценки цветности воды отфильтровать через бумажный фильтр не менее 40–50 см³ исследуемой воды. Профильтрованную воду налить в бесцветный цилиндр и сравнить с таким же объемом дистиллированной воды в другом таком же цилиндре. Анализ выполняется на фоне белого листа бумаги при дневном освещении. Воду рассматривают сверху и сбоку и указывают наблюдаемый цвет (бесцветная, светло-желтая, бурая и т. д.). Количество цветности воды определяется по хромато-кобальтовой шкале. Шкала цветности готовится путем смешения раствора № 1 (основной) и № 2 (вспомогательный). Для приготовления раствора № 1 необходимо в небольшом объеме дистиллированной воды растворить в отдельной посуде 0,0875 г бихромата калия (K₂Cr₂O₇) и 2,0 г сульфата кобальта (CoSO₄·7H₂O). Растворы солей смешать, прибавить 1 см³ концентрированной серной кислоты и довести дистиллированной водой до 1 дм³. Раствор № 2 содержит 1 см³ концентрированной серной кислоты в 1 дм³ дистиллированной воды (раствор серной кислоты). Шкала цветности готовится в пяти цилиндрах по 50 см³ путем смешения растворов № 1 и № 2 в соотношении согласно табл. 2. Для определения цветности в пробирку (цилиндр) № 6, однотипную с теми, в которых приготовлена шкала, налить 50 см³ исследуемой воды. Сравнить окраску воды с окраской растворов в пяти цилиндрах на белом фоне, отыскивая место в шкале, тождественное или максимально приближенное по окраске. Цветность выражают в градусах цветности по данным таблицы 2.2 [3].

Провести анализ проб воды спектрофотометрическим методом (спектрофотометр Solar) на длине волны 380 нм, выбрать режим поглощения. Определить оптическую плотность раствора анализируемой пробы и, используя калибровочный график, определить градус цветности. Сделать вывод о методах испытаний и результатах измерений.

2.2.3 Прозрачность воды

Определение прозрачности воды по шрифту выполняют при дневном освещении, но не на прямом солнечном свету. Под прозрачный цилиндр из бесцветного стекла 300 см³ помещают текст (высота букв средней жирности 3,5 мм или с нанесенным «крестом», толщина линий 1 мм) и постепенно заполняют его предварительно взболтанной пробой воды. Когда текст становится плохо различимым, высоту столба воды измеряют линейкой и полученное значение записывают в журнал с точностью до 1 см. Для источников хозяйствственно-питьевого водоснабжения вода должна быть прозрачной в столбике воды высотой около 20 см, а для водоемов, используемых для купания и коммунальных целей – около 10 см.

При визуальной оценке прозрачности природные воды характеризуются как прозрачные, слегка мутные, мутные и очень мутные [4].

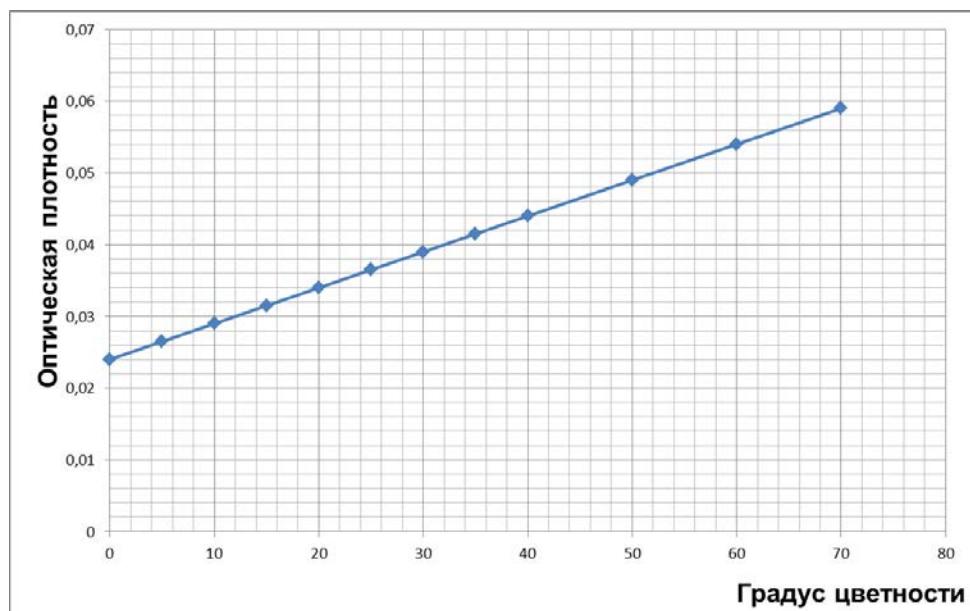


Рисунок 2.1 – Калибровочный график

2.2.4 Определение водородного показателя pH водных растворов

В стеклянный бюкс объёмом 20 см³ налить исследуемую воду, погрузить в воду полоску универсальной индикаторной бумаги и быстро сравнить полученный цвет бумаги со стандартной шкалой универсального индикатора [5].

Сделать выводы.

Определить водородный показатель воды по pH-метру.

Контрольные вопросы

1. Что такое нормирование качества воды?
2. Какие физические показатели воды регламентируются?
3. Какие факторы обуславливают цветность воды?
4. На какие параметры водной среды влияет pH?
5. Как изменяется pH поверхностных вод в разные периоды года?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.

ОЦЕНКА МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Цель работы: ознакомиться со способом оценки минерализации воды из природных источников кондуктометрическим способом.

3.1 Основные сведения

Минерализация: суммарное содержание всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ (единицы измерения: г/л, мг/л, мг/дм³).

Природные воды представляют собой растворы различных солей – сильных электролитов. Электрическая проводимость природной воды зависит от концентрации растворенных минеральных солей и температуры. По значениям электропроводности природной воды можно оценить ее общую минерализацию кондуктометрическим методом. Он применим для оценки общей минерализации природных вод по удельной электропроводности растворенных в воде неорганических веществ. Единицей электропроводности является Сименс (1 Сим = 1 Ом⁻¹).

Единицей удельной электропроводности служит 1 Сим/м и его производные единицы: мСим/см, мкСим/см и т. д.

Для природных вод (кроме рассолов) величины удельной электропроводности и общей минерализации связаны линейной зависимостью, которая и лежит в основе кондуктометрического метода определения общей минерализации природных вод. Коэффициент пересчета между электропроводностью и минерализацией определяется в процессе калибровки кондуктометра путем измерения удельной электропроводности нескольких стандартных растворов известного состава и концентрации.

Общая минерализация природных вод обычно выражается в мг/л (до 1000 мг/л) (таблица 3.1) [6].

Многие производства, сельское хозяйство, предприятия питьевого водоснабжения и рекреации предъявляют различные требования к качеству вод. Предельная величина общей минерализации для питьевого водоснабжения – 1000 мг/л.

Таблица 3.1 – Классификация природных вод по минерализации

Категория вод	Минерализация, г/дм ³
Ультрапресные	<0,2
Пресные	0,2-0,5
Воды с повышенной минерализацией	0,5-1,0
Солоноватые	1,0-3,0
Соленые	3-10
Воды повышенной солености	10-35
Рассолы	>35

Большое содержание солей отрицательно влияет на растительность и животные организмы, на качество продукции, на технологию производства (вызывают образование накипи на стенках котлов, коррозию, засоление почв).

У населения, использующего в качестве питьевой солоноватые воды (1000–3000 мг/л), отмечена повышенная гидрофильность тканей, задержка организмом выпитой воды, снижение диуреза на 30–60 %. Вода с повышенной минерализацией отрицательно влияет на секреторную деятельность желудка, нарушает водно-солевое равновесие в организме, хуже утоляет жажду. Использование маломинерализованной воды (<200 мг/л) в качестве питьевой также отрицательно сказывается на здоровье человека. Длительное употребление такой воды нарушает водно-солевое равновесие организма. Нижний предел минерализации, при которой поддерживается гомеостаз организма, составляет 100 мг/л, оптимальный уровень минерализации для питьевой воды соответствует 200–500 мг/л.

Кондуктометрический метод предназначен для оценки электропроводности водных растворов.

В лабораторной работе используется прибор измерительный НІ 8734 (солемер для пресной воды). Этот прибор позволяет оценивать качество воды от деионизированной (дистиллированной) до морской воды.

Одним из наиболее распространённых методов определения солёности воды является метод с использованием прибора – кондуктометра (солемера), состоящего из платиновых или стальных электродов, погружаемых в воду, через которые пропускается переменный ток частотой от 50 Гц (в маломинерализованной воде) до 2000 Гц и более (в соленой воде), путем измерения электрического сопротивления. Принцип действия кондуктометра основан на прямой зависимости электропроводности воды (силы тока в постоянном

электрическом поле, создаваемом электродами прибора) от количества растворенных в воде соединений.

В связи с тем, что электропроводность воды сильно зависит от температуры, к приборам такого типа предъявляются жёсткие требования к терmostатированию их датчиков или термокомпенсированию. Для расширения диапазона компенсации температурный компенсатор делается переменным. К приборам предъявляются высокие требования по точности измерения. К примеру, для получения погрешности измерения по солёности $\pm 0,01$ промилле при солёности воды 35 промилле погрешность измерения электропроводности должна быть $\pm 0,025$ промилле. В солемерах, производящих замер *in situ*, обычно применяется способ компенсации элементами, сопротивление которых зависит от температуры (термисторами), или применяются функциональные преобразователи на варисторах, что позволяет получать точность измерений в диапазоне 27÷37 промилле не хуже 0,05 промилле.

Удельная электропроводность водных (УЭП) растворов дает для дистиллированной воды величину от 2 до 5 мкСм/метр, для атмосферных осадков величину от 6 до 30 и более мкСм/метр, а для пресных речных и озерных вод в тех районах, где воздушная среда сильно загрязнена, величина УЭП может колебаться в пределах 20–80 мкСм/см.

Удельная электропроводность воды – инструментально определяемая характеристика минерализации морской воды. Это величина, обратная удельному сопротивлению [7].

3.2 Выполнение работы

1. Подготовить несколько растворов с разной концентрацией солей NaCl (0,5 г/л, 1 г/л, 5 г/л, 10 г/л, 18 г/л).

2. Провести измерения уровня минерализации подготовленных проб растворов, записать полученные значения.

3. Провести измерения уровня минерализации минеральных питьевых вод, сделать вывод о категории питьевой воды. *Варианты питьевых вод: по заданию.*

4. Рассчитать электропроводность анализируемых проб воды.

3.3 Порядок работы с кондуктометром

1. Измерьте температуру подготовленных растворов термометром.

2. Погрузите датчик прибора в анализируемый раствор, чтобы отверстия датчика были погружены в воду. Подождите несколько минут для достижения температурного равновесия.

3. Слегка постучите датчиком, чтобы удалить пузырьки из щупа.
4. Включите прибор.
5. Нажмите и удерживайте кнопку Temp для отображения температуры раствора на дисплее и отрегулируйте кнопку-ручку температуры согласно температуре раствора.
6. Выберите на приборе измеряемый диапазон 19,99 г/л нажатием соответствующей кнопки.
7. Снимите показания.
8. Выключите прибор.
9. Промойте щуп в дистиллированной воде, оботрите его сухим текстильным материалом.
10. Повторите описанную процедуру измерений для других растворов.
11. Рассчитайте удельную электропроводность (УЭП) анализируемых проб воды. Для приблизительной оценки УЭП можно воспользоваться эмпирически найденным соотношением зависимости УЭП от содержания солей в воде (минерализация):

$$УЭП = \frac{C(\frac{мг}{л})}{К_э} \text{ (мкСм/см)}$$

Кэ – поправочный коэффициент, для NaCl равен 0,53, для KCl – 0,65.

Контрольные вопросы

1. Что такое удельная электропроводность растворов?
2. Как измеряется минерализация водных растворов?
3. Факторы, влияющие на электропроводность.
4. Достоинства и недостатки кондуктометрического метода.
5. Как степень минерализации воды влияет на здоровье человека?

ЛАБОРАТОРНАЯ 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 их воздействия на окружающую среду, рассчитать количество образующегося биогаза.

4.1 Основные сведения

Отходы – это вещества или предметы, образующиеся в результате жизнедеятельности человека и экономической деятельности, утратившие полностью или частично свои потребительские свойства из-за физического или морального износа.

Отходы производства – это остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образующиеся в процессе производства продукции или выполнения работ, потерявшие полностью или частично исходные потребительские качества; а также попутные вещества, которые образуются в процессе производства и не находят использования в этом производстве.

Согласно международной классификации промышленных отходов (ПО), принятой во всех организациях, входящих во *Всемирный банк отходов производства*, выделяются:

Отходы по агрегатному состоянию

- твердые;
- жидкое;
- пастообразные.

По происхождению отходы делятся:

- отходы органические природного происхождения – животного и растительного;
- отходы минерального происхождения;
- отходы химического происхождения;
- отходы коммунальные (отходы потребления, образующиеся в населённых пунктах).

Отходы потребления – изделия и материалы, которые потеряли свои потребительские свойства в результате физического или морального их износа. К отходам потребления относятся и твердые бытовые отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности людей.

Твёрдые бытовые отходы – твердые отходы, образующиеся у населения в результате потребления товаров в личном домашнем семейном хозяйстве (сломанные бытовые приборы, пищевые отходы, упаковка, изделия из дерева, металла, стекла, пластмассы и др.)

Классификация отходов возможна по разным показателям (стоимости, содержанию ценных компонентов), но самым главным из них является *степень опасности для человеческого здоровья*.

Вредными отходами, например, считаются токсичные, инфекционные и радиоактивные. Их сбор и ликвидация регламентируется специальными санитарными правилами.

Опасные отходы – отходы, которые содержат в своём составе опасные вещества (токсичные, взрывоопасные, пожароопасные и т. п.). Это люминесцентные лампы, ртутные термометры, батарейки и т. п.

Маркировка на упаковке представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Виды маркировок на упаковочной таре

Знак	Пояснение
1	2
	<p>Потенциально перерабатываемый пластик – знак ставится непосредственно на изделии. Обратите внимание, что само наличие треугольника не гарантирует возможность переработки – это зависит от материала</p> <p>1. PET или PETE (ПЭТ) – полиэтилентерфталат (тара для минеральной воды, безалкогольных напитков, масла и фруктовых соков, одежда, спортивная обувь и т. д.); ПЭТ – самый часто используемый в мире тип пластмассы. Важно помнить, что он предназначен для ОДНОРАЗОВОГО использования.</p> <p>2. PEHD или HDPE (ПНД) – полиэтилен высокой плотности или низкого давления (бутылки, фляги, полужесткие упаковки для мыла, шампуней, мусорные контейнеры, дренажные трубы и т. д.; считается безопасным для пищевого использования). Это хороший пластик, который не выделяет практически никаких вредных веществ. Специалисты рекомендуют, покупать воду именно в таких бутылках. Это жесткий тип пластика, который чаще всего используется для хранения молока, игрушек, моющих средств и при производстве некоторого количества пластиковых пакетов, материал, из которого делают большинство спортивных и туристических многоразовых бутылок.</p> <p>3. PVC (ПВХ) – поливинилхлорид (тара для моющих средств, kleenка, трубы для сантехники, напольные профили, оконные покрытия, садовые шланги используется для обшивки компьютерных кабелей, блистерные упаковки; опасен для пищевого использования, поскольку может содержать диоксины, ртуть, кадмий, бисфенол А).</p>

Продолжение таблицы 4.1

1	2
	<p>Именно этот пластик практически не поддается переработке.</p> <p>4. LDPE или PELD (ПВД) – полиэтилен низкой плотности, полиэтилен высокого давления (брезенты, мусорные мешки, пакеты, черепица, прокладочный материал и т. д.; безопасен для пищевого использования); Он не выделяет химические вещества в воду, которую хранит. Но безопасен он в случае только с тарой для воды. Пакеты в продуктовом магазине из него лучше не покупать: можете съесть не только то, что купили, но и некоторые весьма и весьма опасные для вашего сердца химикаты.</p> <p>5. PP (ПП) – полипропилен (используется в автомобильной промышленности для оборудования и бамперов, а также для игрушек, одноразовой посуды, зубных щеток, упаковка из под шоколадок, макарон, упаковки для сиропов и йогурта и т. п.; безопасен для пищевого использования); Полипропилен ценится за его термоустойчивость. Когда он нагревается, то не плавится. Относительно безопасен.</p> <p>6. PS (ПС) – полистирол (плиты теплоизоляции зданий, пищевые упаковки, столовые приборы и чашки, коробки CD, пищевая пленка и пеноматериалы, игрушки, ручки и т. д.; материал потенциально опасен, особенно в случае горения, поскольку содержит стирол); часто используется при производстве кофейных стаканчиков и контейнеров для быстрого питания. При нагревании, однако, выделяет опасные химические соединения. Полистирол – это недорогой, легкий и достаточно прочный вид пластика, который совсем НЕ ГОДИТСЯ для хранения ГОРЯЧЕЙ ЕДЫ и напитков.</p> <p>7. OTHER или O – другие виды пластика (в основном, поликарбонат – может содержать опасный для человека бисфенол А; используется для изготовления твёрдых прозрачных изделий.</p>

Продолжение таблицы 4.1

1	2
	<p>Знак переработки целлюлозной продукции:</p> <p>20 – картон; 21 – прочая бумага: журналы, почта, упаковка из-под муки, сахара и т. д.; 22 – бумага; 23 – полиграфический картон: открытки, обложки книг</p>
	<p>Знак переработки стекла:</p> <p>70 – бесцветное стекло; 71 – зеленое стекло; 72 – коричневое стекло; 73 – бутылочное стекло (тёмно-коричневое); 74 – бутылочное стекло (светло-коричневое); 75 – стекло с малым содержанием свинца: используется в современных телевизорах и электронных приборах; 76 – хрусталь; 77 – стекло, покрытое медью: электроника, часы; 78 – стекло, покрытое серебром: зеркало, посуда для сервировки; 79 – позолоченное стекло: посуда для сервировки</p>
	<p>Знак переработки комбинированных или композитных материалов.</p> <p>Композитные материалы технически подлежат переработке, но данный процесс очень сложен (и, как следствие, дорог) из-за их неоднородной структуры.</p> <p>81 – бумага + пластик (PapPet): пакеты для кормов животных, контейнеры для мороженого, одноразовые тарелки и т. п.; 82 – бумага / фибрый картон + алюминий; 83 – бумага / фибрый картон + жесть; 84 – бумага / картон + пластик + алюминий (С/PAP, PapAl): контейнеры для жидкостей, упаковки для сока, обёртки жевательных резинок, Tetra Brik; 85 – бумага / фибрый картон + пластик + алюминий + жесть; 87 – биоразлагаемый пластик: материал для ламина, закладки, визитки, флаеры/листовки; 90 – пластик + алюминий: тюбики для зубной пасты; 91 – пластик + жесть;</p>

Окончание таблицы 4.1

1	2
	92 – пластик + разные металлы; 95 – стекло + пластик; 96 – стекло + алюминий; 97 – стекло + жесть; 98 – пластик + разные металлы.

4.2 Выполнение работы

I. Определение общей вместимости полигона ТБО на весь срок его эксплуатации [6].

Для этого необходимы следующие данные (табл. 4.5):

- расчетный срок эксплуатации полигона Т, лет;
- удельная норма образования отходов на одного человека в год, $Y_1 \text{ м}^3/\text{чел год}$ (в среднем для Беларуси $Y_1 = 1,1 \text{ м}^3/\text{чел год}$);
- скорость ежегодного прироста удельной нормы $U, \%$ (принимаем $U = 1,8 \%$);
- численность населения города на момент проектирования полигона $N_1, \text{чел.}$;
- прогнозируемая численность населения города через Т лет – $N_2, \text{чел.}$;
- ориентировочная высота «холма» ТБО на полигоне, $H_{\Pi}^1, \text{м.}$

1. Определение удельной нормы образования $Y_2 (\text{м}^3/\text{чел год})$ отходов через Т лет:

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

2. Общая вместимость полигона $E_m, \text{м}^3$:

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 Т

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

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

K_1 и K_2 определяют по таблицам 4.2 и 4.3 в зависимости от ориентировочной высоты «холма» полигона ТБО $H_{\Pi}^1 (\text{м})$.

Масса отходов, вывозимых на полигон, за год

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

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

Таблица 4.2 – 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 4.3 – Значения коэффициента K_2

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

3. 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 , м²:

$$S_{YC} = 3 \cdot \frac{V}{H} = 3 \cdot \frac{E_T}{H_{\Pi}^1} \quad (4.4)$$

Вокруг участка складирования отходов должны быть свободная площадь для движения и работы транспорта, механизмов, обслуживающего персонала и подъездных дорог. Поэтому необходимая под полигон площадь S_{Π} (м²) должна быть больше участка складирования S_{YC} для размещения вспомогательной зоны $S_{\text{доп}}$ (принимаем $S_{\text{доп}} = 0,6$ га) и проездных дорог (коэффициент 1,1):

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

4. 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 заготовлять из котлована под основание участка складирования ТБО.

Холм полигона имеет вид усеченной пирамиды. Зная объем усеченной пирамиды V , м^3 («холма» ТБО) и общую вместимость полигона E_T , м^3 можно уточнить высоту полигона H_Π , м :

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

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

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

Определяют требуемый объем грунта V_Γ , м^3 :

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

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

$$H_K = 1,1 \cdot \frac{V_\Gamma}{S_{YC}} \quad (4.8)$$

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

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

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

II. 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 ($\text{мг}/\text{м}^3$): CH_4 – 1,25; CO_2 – 0,78; N_2 – 0,02; H_2S – 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 без учета 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:

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

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, %, ($Б = 15\%$);

$10^{-2}(100 - W)$ – 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, $\text{кг}/\text{м}^3$, применяется формула:

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

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

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

$$P_{\text{год}} = \frac{Q_W}{t_{\text{сбр}}}, \quad (4.13)$$

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

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

где $t_{\text{ср.тепл}}$ – средняя из среднемесячных температура воздуха в районе полигона твёрдых бытовых и промышленных отходов (ТБО и ПО) за тёплый период года ($t = 10,2\text{ }^{\circ}\text{C}$); $T_{\text{тепл}}$ – 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 (учтывают 20 лет), за исключением отходов, ввезённых в последние 2 года.

Количество активных отходов, стабильно генерирующих биогаз:

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

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:

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

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

$$M_i = 0,01 \cdot C_{\text{вес.}i} \cdot M_{\text{сум}} \quad (4.16)$$

где

$$M_{\text{сум}} = \frac{P_{\text{уд}} \sum D}{24 \cdot 3600 \cdot T_{\text{тепл}}} \cdot 10^3, \text{ г/с} \quad (4.17)$$

где $T_{\text{тепл}}$ – продолжительность тёплого периода года в районе полигона ТБО, дней, $C_{\text{вес.}i}$ – весовое процентное содержание компонентов, определяется по таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Весовое процентное содержание компонентов в биогазе

Компонент	C _{вес.и} , %
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 ($t_{cp.mec.} > 0^{\circ}\text{C}$).

Приведённая формула для вычисления максимального разового выброса i -го компонента справедлива только в тёплый период года ($t_{cp.mec.} > 8^{\circ}\text{C}$). При обследовании в более холодное время ($0 < t_{cp.mec.} \leq 8^{\circ}\text{C}$), 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:

$$G_{сум} = M_{сум} \left(\frac{a \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} + \frac{b \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12 \cdot 1.3} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (4.18)$$

$$G_i = 0.01 \cdot C_{вес.и} \cdot G_{сум}, \quad (4.19)$$

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

Таблица 4.5 – Исходные данные (варианты)

№ вар.	N ₁ , тыс.чел	N ₂ , тыс.чел	H _{П¹} , м	Численность обслуживающего региона, чел.	Расчетный срок эксплуатации, лет	Годовая удельная норма накопления ТБО, м ³ /чел
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

Окончание таблицы 4.5

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
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?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Цели работы:

- получение сведений о параметрах воздушной среды;
- изучение устройства и принципа работы метеометра «МЭС-200 А»;
- приобретение практических навыков по определению параметров воздушной среды с помощью метеометра «МЭС-200 А».

5.1 Основные сведения

Основными параметрами воздушной среды, влияющими на состояние и работоспособность человека, являются температура окружающей среды, относительная влажность воздуха, атмосферное давление и скорость воздушного потока. Комфортные условия воздушной среды зависят не только от климатических параметров, но и от интенсивности совершаемого человеком труда и от его одежды.

В зависимости от состояния организма (сон, отдых, умственная или физическая работа) и параметров окружающей среды человек в течение часа выделяет 330–1050 кДж теплоты, 40–420 г влаги и 18–36 л углекислого газа. Считается, что при небольшой физической нагрузке (ходьба в помещении, легкий труд) комфортная температура в помещении в зимнее время составляет примерно 21 °C (± 2 °C), а в летнее время – 24 °C (± 2 °C). Оптимальным диапазоном относительной влажности воздуха считается 30 – 60 %. Избыточная влажность, особенно в сочетании с высокой температурой, ухудшает теплообмен человека с окружающей средой, что приводит к перегреву организма. При низком влагосодержании возрастает отдача тепла за счет интенсивного испарения влаги с поверхности тела, высыхают слизистые оболочки дыхательных путей, что способствует проникновению болезнетворных микроорганизмов в органы дыхания, восприимчивости организма человека к простуде и другим заболеваниям. Подвижность воздуха в помещении также влияет на ощущение комфорта. Плохое самочувствие в плохо вентилируемом помещении объясняется тем, что при отсутствии движения воздуха вокруг человека образуется тонкая неподвижная воздушная оболочка, которая быстро насыщается парами воды, принимает температуру тела человека и уменьшает теплоотдачу. Если температура окружающей среды ниже температуры тела человека, то с повышением подвижности воздуха потеря тепла человеком возрастает.

Для сохранения комфортных условий необходимо либо увеличивать относительную влажность воздуха, уменьшив тем самым испарение, либо увеличить его температуру. При температуре воздуха 23–24 °C оптимальной является скорость движения воздуха до 0,15 м/с. Кроме того, установлено, что человек более чувствителен не к скорости воздушного потока, а к ее изменениям. Иными словами, имеет значение спектр турбулентных пульсаций скорости потока, который для достижения условий комфорта должен быть максимально приближен к естественному спектру атмосферного ветерка. В сухом атмосферном воздухе содержится 20,95 % (по объему) кислорода, который необходим для дыхания, и небольшое количество углекислого газа, который участвует в регуляции дыхания кровообращения и газообмена человека. В обычных условиях в состоянии покоя человек поглощает в час около

19 л кислорода и выделяет 16 л углекислого газа. Избыток и недостаток углекислого газа во вдыхаемом воздухе одинаково вредно отражаются на состоянии организма. Комфортному состоянию соответствует концентрация углекислого газа в пределах 0,04–0,5 % (по объему). Духота и нехватка кислорода могут ощущаться из-за неверно организованной подачи наружного воздуха. Оптимальным атмосферным давлением, не оказывающим отрицательного влияния на человека, считается давление 750 мм рт.ст.

5.2 Назначение и принцип работы метеометра «МЭС -200 А»

Прибор контроля параметров воздушной среды – метеометр «МЭС-200 А» (рис.5.1) – предназначен для измерения атмосферного давления, относительной влажности, температуры воздуха, скорости воздушного потока, которую можно измерять как на открытых пространствах, так и в вентиляционных трубопроводах. Технические возможности прибора представлены в таблице 5.1.

Прибор «МЭС-200А» состоит из блока электронники и сменного измерительного щупа.

Таблица 5.1 – Основные технические характеристики

Параметр	Значение
Давление, кПа	80–110
Влажность, %	0–98
Температура, °C	(-40)–(+85)
Скорость воздуха, м/с	0,1–20
Абсолютная погрешность:	
давления	± 0,3 кПа (2,3 мм рт . ст .) при t – от 0 до 60 °C;
влажности	± 3 % при t = (20 ± 5) °C;
температуры	± 0,2 °C (при t от - 10 до 50 °C); ± 0,5 °C (при t от -40 до -10 °C, от +50 до +85 °C)



Рисунок 5.1 – Внешний вид метеометра «МЭС-200 А» со сменными щупами

Составные части МЭС-200 А предназначены для эксплуатации в следующих условиях:

- блок электроники при температуре от (-20) до (+60) °С и относительной влажности окружающего воздуха до 95 % при температуре 35 °С;
- щуп измерительный Щ-1 для измерения давления, относительной влажности, температуры и скорости воздушного потока при температуре от (- 40) до (+85) °С и относительной влажности окружающего воздуха до 98 % при температуре 35 °С;
- щуп измерительный Щ-4 для измерения массовой концентрации оксида углерода (СО) от 0 до 120 мг/м³;
- щуп измерительный Щ-5 для измерения массовой концентрации сероводорода (H₂S) от 0 до 45 мг/м³;
- щуп измерительный Щ-5 для измерения массовой концентрации диоксида серы (SO₂) от 0 до 50 мг/м³.

В качестве датчика температуры используется миниатюрный платиновый терморезистор (Honey Well, США) сопротивлением 1 кОм (при температуре 0 °С) с нормирующим усилителем, собранным на операционном усилителе типа ОР 496. В качестве датчика влажности используется функционально заключенный сенсор влажности (Honey Well, США) с нормированным выходным напряжением от 0,8 до 4,2 В с высокой степенью линейности выходного напряжения от относительной влажности. В качестве датчика скорости воздушного потока используется миниатюрный платиновый терморезистор (Honey Well, США), подогреваемый стабилизированным током до температуры (200 – 250) °С. В зависимости от скорости воздушного потока меняется степень охлаждения нагретого терморезистора и падение напряжения на нем, которое и является мерой скорости воздушного потока.

Питание МЭС-200А осуществляется от блока аккумуляторов типа VН АА 1700 напряжением 4,8 В или от источника электропитания ИЭС 7-1203 ШУВК.436230.003 ТУ напряжением 12 В и током 0,25 А. Щуп соединяется с блоком электроники гибким кабелем длиной 0,5 м, оканчивающимся 15-контактным разъемом DHS-15M. Блок электроники служит для преобразования аналоговой информации в цифровую форму, математической обработки результатов измерений и их отображения на двухстрочном матричном жидкокристаллическом индикаторе.

5.2.1 Условия эксплуатации метеометра

В период эксплуатации МЭС-200А при резкой смене температур (перемещение МЭС-200А из рабочих условий с отрицательными температурами в рабочие условия с положительными температурами) необходимо выдержать метеометр при положительной температуре в течение 20 мин, после чего МЭС-200А готов к измерениям. Следует предохранять сенсоры, расположенные в щупах, от касания с различными предметами. При транспортировке щупов сенсоры должны быть обязательно закрыты защитным кожухом.

5.2.2 Безопасность метеометра

Безопасность конструкции «МЭС-200А» соответствует требованиям ГОСТ 12.2.007.0. По способу защиты человека от поражения электрическим током метеометр «МЭС-200А» относится к классу защиты III. Подготовка метеометра к работе. Перед эксплуатацией метеометр проверяют визуально. Обращают внимание на отсутствие видимых повреждений щупа и блока электроники, наличие пломб, состояние разъемных соединений. Заряжают аккумуляторную батарею от источника электропитания ИЭС 7-1203, подключаемого к гнезду «+12 В». Время заряда должно быть не менее 16 ч. Во время заряда «МЭС-200А» должен быть выключен. О подключении источника электропитания к блоку электроники сигнализирует светодиод на задней торцевой стороне прибора «МЭС-200А». Подключают соединительный кабель используемого щупа к разъему THV и снимают защитный кожух со щупа.

5.3 Выполнение работы

5.3.1 Работа с измерительным щупом Щ-1

При нажатии кнопки «О» включается подсветка матричного индикатора на время (18–20) с. На индикаторе появляются надписи со значениями температуры и влажности: ЩУП THV Т° С , Н%.

Если аккумуляторная батарея разряжена, надпись в верхней строке будет мигать с частотой (1-2) Гц. В этом случае необходимо выключить «МЭС-200А», подключить источник электропитания ИЭС 7-1203 к блоку электроники и подзарядить аккумуляторы в течение 16 ч.

Режимы работы метеометра устанавливают кнопками « Π », « $+$ », « $-$ » в соответствии с циклограммой, представленной на рисунке 5.2.

При нажатии кнопки «**О**» метеометр переходит в режим измерения температуры и влажности. Для установки метеометра в режим измерения давления необходимо нажать кнопку «**П**». При следующем нажатии кнопки «**П**» метеометр снова возвращается в режим измерения температуры и влажности и т. д. Для установки метеометра в режим измерения скорости воздушного потока необходимо после нажатия кнопки «**П**» нажать кнопку «**+**» и выждать 2-3 мин (интервал времени, необходимый для прогрева сенсора скорости воздушного потока), после чего можно проводить измерения скорости. При следующем нажатии кнопки «**П**» метеометр возвращается в режим измерения температуры и влажности. В режиме измерения температуры и влажности (T, H) при нажатии кнопки «**П**» и сразу затем кнопки «**-**» младшему разряду единицы измерения температуры соответствует $0,01^{\circ}\text{C}$, влажности $0,1\%$. В режиме измерения давления при нажатии кнопки «**П**» и затем кнопки «**-**» младшему разряду единицы измерения давления соответствуют $0,01\text{ кПа}$ и $0,1\text{ мм рт.ст.}$

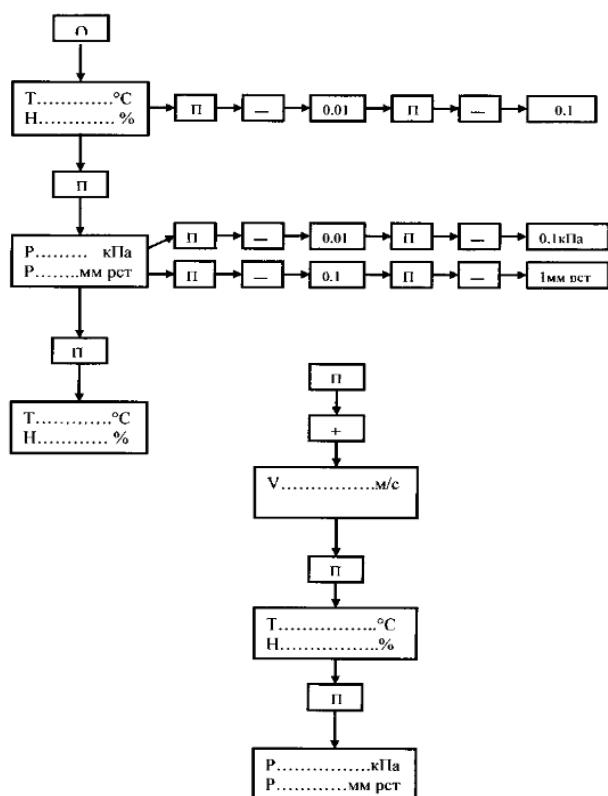


Рисунок 5.2 – Циклограмма установки режимов измерений

Подсветка матричного индикатора возникает каждый раз при нажатии кнопки « \checkmark » и любой другой кнопки и продолжается в течение 10 с, а затем выключается. Для повторной подсветки следует нажать кнопку «+» или «-».

Если в процессе работы с метеометром после нажатия кнопки « \checkmark » ни одна из кнопок не нажимается в течение ~ 5 мин, метеометр автоматически выключается. При измерении скорости воздушного потока в диапазоне от 0 до 5 м/с температура внутри измерительного щупа Щ-1 может возрастать на 2 $^{\circ}\text{C}$ относительно температуры окружающей среды. Измерять температуру с нормированной погрешностью после измерения скорости воздушного потока можно через 10 мин. При измерении скорости воздушного потока измерительный щуп Щ-1 должен быть ориентирован относительно направления воздушного потока таким образом, чтобы плоскость приемного окна сенсора скорости измерительного щупа была перпендикулярна направлению воздушного потока, при этом головка крепежного винта на щупе должна быть направлена в сторону потока.

5.3.2 Работа со щупами измерительными Щ-4, Щ-5, Щ-6

Подключить щуп измерительный к блоку электроники и снять защитный чехол.

При нажатии кнопки « \checkmark » включается подсветка индикатора на интервал времени от 18 до 20 с, и на индикаторе примерно на 2 с появляется надпись, указывающая тип измеряемого газа и номер щупа, например:

ГАЗ.....СО
№.....4.

Далее через 2...3 с на индикаторе появляется результат измерений концентрации газа:

СО..... $\text{мг}/\text{м}^3$
СО..... $\uparrow\text{ПДК}$.

Знак \uparrow появляется на индикаторе при концентрации газа более одного ПДК (предупредительная сигнализация). При концентрации газа более второго порога (3-5 ПДК в зависимости от газа), начинает мигать подсветка индикатора (аварийная сигнализация).

При нажатии кнопки « Π » МЭС-200А переходит в режим измерений концентрации газа в единицах ppm и ПДК. На индикаторе появляются надписи со значениями концентрации:

СО..... ppm
СО..... $\uparrow\text{ПДК}$.

Концентрация в ПДК отображается двузначным числом. Концентрация газа в $\text{мг}/\text{м}^3$ и в ppm отображается трехзначным числом.

При следующем нажатии кнопки «П» МЭС-200А переходит в режим измерений концентрации газа в мг/м³ и в ПДК и т. д.

5.4 Выполнение работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы метеометра «МЭС-200А».
2. Настроить прибор и выполнить измерения параметров воздушной среды, используя щуп Щ-1: температуры, влажности, давления и скорости воздушного потока.
3. Установить Щ-4. Произвести измерение массовой концентрации содержания оксида углерода при горении и тлении целлюлозосодержащих материалов.
4. Установить щуп Щ-5, произвести измерение массовой концентрации сероводорода.
5. Установить щуп Щ-6, произвести измерение массовой концентрации диоксида серы.
6. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные параметры воздушной среды.
2. Какие значения параметров воздушной среды создают комфортные условия для жизнедеятельности?
3. Как влияет относительная влажность воздуха на состояние человека?
4. Какое атмосферное давление комфортно для человека?
5. Какие внешние условия нужно соблюдать при использовании метеометра «МЭС-200А»?
6. Как изменяется концентрация измеряемых вредных веществ при прекращении процесса горения материала?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. ОЦЕНКА УРОВНЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Цель работы: изучить основные источники физического загрязнения атмосферы и методику расчета экономической эффективности мероприятий по борьбе с ним.

6.1 Основные сведения

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

Звуком называют механические колебания, которые воспринимаются слуховым аппаратом человека – от 16 до 20 тысяч колебаний в секунду. Колебания большей частоты называют ультразвуком, меньшей – инфразвуком. Шум – это громкие звуки, слившиеся в нестройное звучание.

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. Кроме того, шум является фактором беспокойства для животных. Звуковые волны способствуют оползням, селям и лавинам в горах, ускоряют разрушение построек [9].

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

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	болевой предел для человека

Минимальное звуковое давление, воспринимаемое ухом человека, называется пороговым. Для оценки шума введена величина, называемая уровнем шума (вука), 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 2×10^{-5} Па:

$$L = \lg \frac{J}{J_0} \text{ (Б)} \quad \text{или} \quad L = 10 \cdot \lg \frac{J}{J_0} \text{ (дБ)} \quad (6.1)$$

Нормирование уровня шума осуществляется согласно СанПиН № 115 от 16.11.2011 «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». В таблице 6.2 представлены значения ПДУ (предельно допустимого уровня) шума в жилых и общественных зданиях.

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

Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные по энергии уровни звука непостоянного шума, дБА	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
Палаты больничных организаций и санаториев, операционные больницы	С 7 до 23 часов	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
	С 23 до 7 часов	69	51	39	31	24	20	17	14	13	25	40
Кабинеты, лаборатории, мастерские и иные уч. объекты в УО, конференц-залы, читальные залы библиотек		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в учреждениях дошкольного образования и спецобразования	С 7 до 23 часов	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
	С 23 до 7 часов	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45

Продолжение таблицы 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	С 7 до 23 часов	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
	С 23 до 7 часов	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
Залы кафе, ресторанов, столовых		90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
Торговые залы магазинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий быт. обслуживания		93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больничных организаций и санаториев	С 7 до 23 часов	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
	С 23 до 7 часов	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, учреждений образования, библиотек	С 7 до 23 часов	90	75	66	59	54	50	47	45	43	55	70
	С 23 до 7 часов	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	С 7 до 23 часов	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
	С 23 до 7 часов	86	71	61	54	49	45	42	40	39	50	65
Площадки отдыха на территории больничных организаций и санаториев		76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
Площадки отдыха на терр. микрорайонов и групп жилых		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

Окончание таблицы 6.2

домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки учреждений образования											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

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 – 84 дБ, 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;
- улучшениестыковки 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 раздельными 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 раздельных 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. Естественные изменения в электромагнитном фоне (при изменении солнечной активности, магнитных «буря» и др.) называют электромагнитными

аномалиями. В последнее время, в связи с широчайшим развитием электронных систем управления, передач, связи, электроэнергетических объектов на первый план вышло антропогенное электромагнитное загрязнение – создание искусственных электромагнитных полей (ЭМП). Их влияние на нашу жизнь многообразно, но недостаточно изучено.

Для электромагнитных полей от источников, работающих на переменных электрических токах частотой до 300 МГц, учитываются электрическая Е и магнитная Н составляющие. К источникам таких излучений относятся многие передающие и технологические установки (радиолокационные, телевизионные) и бытовые приборы (нагреватели и др.). Напряженность электрического поля Е (кВ/м) от 0,5 (внутри жилых зданий), 1 (на территории жилой застройки), 5 (в ненаселенной местности, часто посещаемой людьми) и 20 (в труднодоступной местности) принимается в качестве ПДУ для ЭМП воздушных линий электропередач переменного тока промышленной частоты. При этом для всех случаев при $E > 1$ должны быть приняты меры, исключающие воздействие разрядов и токов стекания на человека.

Основной мерой защиты для этих случаев является соблюдение нормативов времени пребывания работников санитарно-защитных зон (СЗЗ) в зоне ВЛ (высоковольтных линий) и подобных источников. Например, в зоне с напряженностью 10 кВ/м разрешается находится не более 3 часов, а при 20 кВ/м – не более 10 минут в день.

Предельно допустимые уровни ЭМП достаточно подробно разработаны в санитарных нормах и правилах и постоянно корректируются. На сегодняшний день нормирование уровня электромагнитного излучения установлены в Санитарных нормах и правилах № 23 от 05.03.2015 «Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека» (табл. 6.3).

Согласно СанПиН при размещении антенн радиоэлектронных средств любительской и любительской спутниковой служб радиосвязи диапазона частот 3–30 МГц, радиоэлектронных средств гражданского назначения диапазона частот 26,5–27,5 МГц с излучаемой мощностью более 100 Вт до 1000 Вт включительно должна быть обеспечена невозможность доступа людей в зону установки антennы на расстояние не менее 10 м от любой ее точки. При установке на здании антenna должна быть смонтирована на высоте не менее 1,5 м над крышей при обеспечении расстояния от любой ее точки до соседних строений не менее 10 м для любого типа антennы и любого направления излучения. При размещении антenn с эффективной излучаемой мощностью от 1000 до 5000 Вт должна быть обеспечена невозможность доступа людей и отсутствие соседних строений на расстоянии не менее 25 м от любой точки антennы независимо от ее типа и направления излучения. При

установке на крыше здания антenna должна монтироваться на высоте не менее 5 м над крышей.

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				
	30-300 кГц	0,3-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	300 МГц-300 ГГц
	Предельно допустимые уровни электромагнитного излучения радиочастотного диапазона				
	В/м	В/м	В/м	В/м	мкВт/см ²
Территория жилой 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

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.

Документом, регламентирующим установку вышек сотовой связи в Республике Беларусь, являются «Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека» и утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Беларуси от 01.02.2010 № 14 «Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к установке и эксплуатации систем сотовой связи».

Уровни ЭМП, создаваемые системами сотовой подвижной электросвязи и ШБД (широкополосного беспроводного доступа), с учетом внешнего ЭМП и вторичного излучения, для населения Республики Беларусь не должны превышать ПДУ ГПЭ (плотности потока энергии) 10 мкВт/см².

6.2 Выполнение работы

Используя прибор «Экофизика» в режиме шумомера произвести замеры уровня шума:

- внутри помещений (аудиторий, коридора, фойе).
- на прилегающей территории (крыльце, дворовые территории, дорога) шума внутри помещений

Сравнить результаты замеров с нормируемыми значениями и предложить рекомендации по шумоизоляции в случае превышения фактических значений нормативных.

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?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

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

Порядок выполнения работы.

1. Изучить современные концепции питания человека и основные сведения о питательной ценности продуктов питания.
2. Рассчитать суточную энергетическую потребность с учетом индивидуальных параметров человека и составить меню с учетом суточной энергетической потребности и калорийности продуктов питания.
3. Оформить отчет в форме таблицы.
4. Изучить основные источники загрязнения продуктов питания.
5. Оформить отчет в форме таблицы.

7.1 Основные сведения

Основы правильного питания и питательная ценность пищевых продуктов.

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 гипервитаминозы, опухолевые заболевания и др. Все эти проявления связаны с перееданием и с качеством продуктов питания, применением пищевых добавок, трансгенных продуктов, а также продуктов, загрязненных химическими токсикантами [11].

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. 1–3) и показатели калорийности продуктов питания (табл. 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 груда и др.).

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

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

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
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

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 лет. СК = $(0,0484 \times \text{вес в кг} + 3,6534) \times 240$
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 I – Маффлина – Джорда:

$$\text{ЭП} = (10 \times M) + (6,26 \times P) - (4,92 \times \Gamma) + 5 \text{ – для мужчин;}$$

$$\text{ЭП} = (10 \times M) + (6,26 \times P) - (4,92 \times \Gamma) - 5 \text{ – для женщин;}$$

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:

$$\text{ЭП} = 655,1 + (9,6 \times M) + (1,85 \times P) - (4,68 \times \Gamma) \text{ – для женщин;}$$

$$\text{ЭП} = 66,47 + (13,75 \times M) + (5 \times P) - (6,74 \times \Gamma) \text{ – для мужчин.}$$

Формула 3. Оптимальное количество калорий для поддержания определенного (заданного) веса для конкретного человека можно рассчитать:

$$\text{Количество калорий} = \frac{\text{свой желаемый вес в кг} \times 14}{0,453}$$

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 «добрать» недостаток необходимой энергии из «стратегических жировых запасов».

Жировая ткань – соединительная ткань организма человека. С ростом человека происходит наращивание жировой ткани. Она и является главной противницей в борьбе за идеальное тело. 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 сердечнососудистой 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 <http://gvinevra.ru/kalkulyator-zhira.html> или <http://gvinevra.ru/kalkulyator-zhira>).

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

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

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
Менее 18,5	Дефицит массы тела	Незначительно повышенный риск заболеваемости и смертности
От 18,5 до 24,9	Нормальная масса тела	Средний риск для популяции
Более 25, но менее 29,9	Избыточная масса тела (или предожирение)	Повышен риск развития сахарного диабета и сердечно-сосудистых заболеваний
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

Калорийность некоторых продуктов питания для расчета энергетической потребности приведена в таблице 7.4.

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.

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.

Таблица 7.4 – Гликемический индекс (ГИ) некоторых продуктов питания

Продукт	ГИ	Продукт	ГИ
1	2	3	4
Финики	103	Овсяная каша	49
Тост 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	Горошок зеленый свежий (консервированный)	40(48)
Картофельное пюре быстрого приготовления	83	Виноград	40
Картофельные чипсы	80	Сок яблочный, апельсиновый без 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, фанта, спрайт	70	Молоко 2%-ное	30
Кукуруза вареная, картофель вареный	70	Яблоки, персики	30
Шоколад молочный, марс, сникерс (батончики)	70	Сосиски	28
Лепешки пресные	69	Горох, перловка	22
Ананас	66	Вишня, слива, грейпфрут	22
Картофель, вареный «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

Окончание таблицы 7.4

1	2	3	4
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

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.

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 55 мм	75
Блинчики тонкие, 1 шт.	70	Яблоки диаметром 50 мм	90
Зефир, 1 шт.	35	Яблоки диаметром 65 мм	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, горошок. 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
Стушеника, 2 ч. л.	10 мл	Сосиска, 1 шт.	30–50

Выполнение работы.

Рассчитать суточную энергетическую потребность с учетом коэффициента физической активности (КФА) для студента.

1. По таблице 1 найти норму физиологической потребности и энергии (калории), белках, жирах, углеводах при фактическом коэффициенте физиологической нагрузки.

2. Рассчитать количество калорий при приеме пищи по формуле Маффлина – Джеора.

3. Составляем примерное суточное меню. Рекомендуется 5 приемов пищи. Из таблицы Б.1 (приложение Б) составляем набор

продуктов, обеспечивающих суточную калорийность и заносим в таблицу 7.6.

Таблица 7.7 – Примерный суточный рацион студентки А

Приемы пищи	Нормируемое количество калорий	Продукты	ккал	белки	жиры	углеводы
Первый завтрак						
Второй завтрак						
Обед						
Полдник						
Ужин						
Всего						

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под пищевой ценностью продуктов?
2. Что такое коэффициент физической активности?
3. Назовите известные вам расчетные формулы для определения суточной энергетической потребности человека.
4. Как рассчитывается индекс массы тела (ИМТ)?
5. Что такое гликемический индекс (ГИ)?
6. Что понимают под безопасностью продуктов питания?
7. Перечислите основные факторы и источники загрязнения продовольственного сырья и продуктов питания.
8. Какие вещества называют пищевыми добавками?
9. Что понимают под генетически модифицированным продовольственным сырьем и генетически модифицированными продуктами?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8.
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕГУЛЯТОРОВ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Цель работы: изучить особенности энергопотребления производственного здания с возможностью его регулирования

8.1 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.

8.2 Расчет экономии топлива от внедрения регуляторов расхода тепловой энергии

8.2.1 Расчет годового расхода тепловой энергии

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

а) на отопление жилых и общественных зданий:

$$Q_o^{\text{ГОД}} = 24 \cdot Q_{0 \text{ СР}} \cdot n_o, \text{ ккал} \quad (8.1)$$

где $Q_{0 \text{ СР}}$ – 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.

$$Q_{0 \text{ CP}} = Q_0 \cdot \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{CP.0}}}{t_{\text{ВН}} - t_{\text{P.0}}} \quad (8.2)$$

где Q_0 – 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); $t_{\text{CP.0}}$ – 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.); $t_{\text{P.0}}$ – 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:

$$Q_{\text{B}}^{\text{ГОД}} = Z \cdot Q_{\text{B CP}} \cdot n_o, \quad \text{ккал} \quad (8.3)$$

где $Q_{\text{B CP}}$ – 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.).

$$Q_{\text{B CP}} = Q_{\text{B}} \cdot \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{CP.0}}}{t_{\text{ВН}} - t_{\text{P.B}}} ; \quad \text{ккал/ч} \quad (8.4)$$

где Q_{B} – максимальный часовой расход тепла на вентиляцию, ккал/ч (принимается на основании проекта, технических условий на

теплоснабжение или договора с энергоснабжающей организацией на теплоснабжение); тр. в. – расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, принята как средняя температура воздуха наиболее холодного периода, $^{\circ}\text{C}$ (-21°C – Брестская обл., -25°C – Витебская обл., -24°C – Гомельская обл., -22°C – Гродненская обл., -24°C – Минская обл., -25°C – Могилевская обл.).

в) на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий:

$$Q_{\text{Г.В.}}^{\text{ГОД}} = 24 \cdot Q_{\text{Г.В.СР}} \cdot n_0 + 24 \cdot Q_{\text{Г.В.СР}}^{\text{Л}} \cdot (350 - n_0), \text{ ккал} \quad (8.5)$$

где $Q_{\text{Г.В.СР}}$ – среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение за отопительный период, ккал/ч; $Q_{\text{Г.В.СР}}^{\text{Л}}$ – 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°C и ниже; 350 – число суток в году работы системы горячего водоснабжения; 24 – количество часов в сутках.

$$Q_{\text{Г.В.СР}} = Q_{\text{Г.В.}} \cdot k, \text{ ккал/ч} \quad (8.6)$$

где $Q_{\text{Г.В.}}$ – 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 $k = 0,5$).

$$Q_{\text{Г.В.СР.}}^{\text{Л}} = Q_{\text{Г.В.СР.}} \cdot \frac{55 - t_{\text{Х.Л.}} \cdot \beta}{55 - t_{\text{Х.З.}}} \text{ ккал/ч} \quad (8.7)$$

где $t_{\text{Х.Л.}}$ – температура холодной (водопроводной) воды в летний период, $^{\circ}\text{C}$ (допускается принимать $t_{\text{Х.Л.}} = 15^{\circ}\text{C}$); $t_{\text{Х.З.}}$ – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период, $^{\circ}\text{C}$ (допускается принимать $t_{\text{Х.З.}} = 5^{\circ}\text{C}$); 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, $^{\circ}\text{C}$.

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

8.2.2 Расчет годовой экономии тепловой энергии

Экономия тепловой энергии за счет поддержание 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:

$$\Delta 1Q_O^{\text{ГОД}} = 0,02 \cdot Q_O^{\text{ГОД}}, \text{ ккал.} \quad (8.8)$$

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:

$$\Delta 2Q_O^{\text{ГОД}} = 0,12 \cdot Q_O^{\text{ГОД}}, \text{ ккал.} \quad (8.9)$$

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:

$$\Delta 3Q_O^{\text{ГОД}} = 0,23 \cdot Q_O^{\text{ГОД}}, \text{ ккал.} \quad (8.10)$$

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

Экономия тепловой энергии за счет поддержание 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:

$$\Delta 1Q_{\text{Г.В.}}^{\text{ГОД}} = 0,02 \cdot Q_{\text{Г.В.}}^{\text{ГОД}}, \text{ ккал.} \quad (8.11)$$

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:

$$\Delta 2Q_{\text{Г.В.}}^{\text{ГОД}} = (0,13 \text{ или } 0,21) \cdot Q_{\text{Г.В.}}^{\text{ГОД}}, \text{ ккал.} \quad (8.12)$$

Экономия тепловой энергии за счет поддержание 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:

$$\Delta 1Q_{\text{В.}}^{\text{ГОД}} = 0,09 \cdot Q_{\text{В.}}^{\text{ГОД}}, \text{ ккал.} \quad (8.13)$$

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:

$$\Delta 2Q_{\text{В.}}^{\text{ГОД}} = 0,02 \cdot Q_{\text{В.}}^{\text{ГОД}}, \text{ ккал.} \quad (8.14)$$

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

$$\Delta Q^{\text{ГОД}} = \Delta 1Q_o^{\text{ГОД}} + \Delta 2Q_o^{\text{ГОД}} + \Delta 3Q_o^{\text{ГОД}} + \Delta 1Q_{\text{Г.В.}}^{\text{ГОД}} + \Delta 2Q_{\text{Г.В.}}^{\text{ГОД}} + \Delta 1Q_{\text{В.}}^{\text{ГОД}} + \Delta 2Q_{\text{В.}}^{\text{ГОД}}, \quad (8.15)$$

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

$$\Delta B^{\text{ГОД}} = \Delta Q^{\text{ГОД}} \cdot b_{\text{тэ}} \cdot 10^{-3}, \text{ т у. т,} \quad (8.16)$$

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

8.3 Выполнения работы

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

Таблица 8.1 – 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	Верхнедвинск	119	5	24
12	Орша	144	10	29
13	Жлобин	105	7	20
14	Молодечно	126	8	21
15	Лида	135	4	29
16	Дзержинск	131	3	30
17	Новолукомль	128	8	28
18	Столбцы	137	5	30
19	Слуцк	132	6	21

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9. ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ВСТРОЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ

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 м^2 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. В таблице 9.1 приведены сравнительные фактические удельные показатели энергопотребления на отопление многоэтажных зданий в России и нормативные для Дании и Германии.

Таблица 9.1 – Сопоставление удельных показателей энергопотребления на отопление зданий

Страна	Россия	Германия	Дания
Удельное энергопотребление, кВт.ч/м ²	250–300	85	88

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.

Критерием качества объемно-планировочного решения может служить расчетный показатель компактности здания. Впервые этот

показатель был введен в нормирование в ФРГ в 1984 году. Показатель компактности здания определяется как отношение общей площади наружных ограждающих конструкций $Shap$ и величины отапливаемого объема Vom : $k = Shap / Vom$ [20]. Расчетный показатель компактности здания k для жилых зданий не должен превышать следующих значений:

- 0,32 для зданий от 6 до 9 этажей;
- 0,36 для 5-этажных зданий;
- 0,54 для 3-этажных зданий;
- 1,1 для одноэтажных домов.

Эффективным средством снижения теплопотерь здания является остекление лоджий, устройство на фасадах здания стекол на откосе, размещение пассивных солнечных коллекторов на крышах зданий для подогрева наружного воздуха, поступающего в здание [20].

Выполнение работы

Составить энергетический паспорт встроенного офисного помещения, располагающегося на втором этаже трехэтажного здания, используя следующую методику расчета. Исходные данные представлены в таблице 9.6.

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).

$$F_{н.ст.} = L \cdot H - F_{ок} \quad (9.1)$$

5. Выбрать температуру воздуха внутри помещения.

Расчетная температура внутреннего воздуха помещения $t_{внут.}$ выбирается согласно ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» [21] (табл. 9.2).

Таблица 9.2 – Расчетная температура внутреннего воздуха помещения

Здания	Расчетная температура, $t_{внут.}$, $^{\circ}\text{C}$	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 9.3 (ТКП 45-2.04-43-2006): средние параметры наружного воздуха за отопительный период $t_{\text{H}}^{\circ}\text{C}$ 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 9.3 – Климатические характеристики региона

Область	Средняя температура наружного воздуха, $t_{\text{H}}^{\circ}\text{C}$	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

$$D = (t_{\text{вн.}} - t_{\text{H}}) \cdot Z \quad (9.2)$$

Полная длительность отопительного периода

$$\tau = Z \cdot 24 \text{ (ч)} \quad (9.3)$$

8. Теплопотери через окна.

Сопротивление теплопередаче окон и балконных дверей $R_{\text{окон}} = R_{\text{T}}$ определяется по таблице 9.4.

Потери тепла через окна за отопительный период рассчитываются:

$$Q_{\text{ок}} = \frac{1}{R_{\text{ок}}} \cdot F_{\text{ок}} \cdot D \cdot (1 + \sum \beta_1) \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \text{ МДж} \quad (9.4)$$

где $\sum \beta_1$ – добавочные потери теплоты через окна волях от основных потерь (принимаем, что все окна выходят на север, тогда $\sum \beta_1 = 0,18$)

Таблица 9.4 – 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 раздельных переплетах	0,42
5 Двойное остекление в металлических раздельных переплетах	0,34
6 Двойное остекление витрин в металлических раздельных переплетах	0,31
7 Тройное остекление в деревянных раздельно-спаренных переплетах	0,55
8 Тройное остекление окон в металлических раздельных переплетах	0,46
9 Блоки стеклянные пустотелые размерами $194 \times 194 \times 98$ мм при ширине швов 6 мм	0,31
10 Блоки стеклянные пустотелые размерами $244 \times 244 \times 98$ мм	0,33
11 Профильное стекло швеллерного сечения	0,16
12 Профильное стекло коробчатого сечения	0,31
13 Органическое стекло тройное	0,52
14 Двухслойные стеклопакеты в деревянных переплетах	0,36
15 Двухслойные стеклопакеты в металлических переплетах	0,31

9. Теплопотери через наружные стены.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (наружной стены) $R_{\text{стен}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, следует определять по формуле

$$R_{\text{стен}} = \frac{1}{\alpha_B} + R_K + \frac{1}{\alpha_H}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} \quad (9.5)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ (принимаем равным $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$); R_K – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, α_H – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ (принимаем для наружных стен $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$).

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями R_K , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, следует определять по формуле

$$R_K = R_1 + R_2 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \quad (9.6)$$

где R_1, R_2 – термическое сопротивление отдельных слоев конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; δ – толщина слоя, м; λ – коэффициент теплопроводности материала или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации (выбираем из табл. 9.5, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, данные согласно ТКП 45-2.04-43-2006).

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

$$Q_{\text{стен}} = \frac{1}{R_{\text{стен}}} \cdot F_{\text{Н.ст.}} \cdot D \cdot (1 + \sum \beta_2) \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \text{ МДж} \quad (9.7)$$

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

Затратами тепла на нагрев приточного воздуха – пренебрегаем.

11. Суммарные потери тепла за отопительный период:

$$Q_{\text{от.}} = Q_{\text{ок}} + Q_{\text{стен}} \quad (9.8)$$

Таблица 9.5 – Коэффициенты теплопроводности материалов

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале $W, \%$	Расчетные коэффициенты		
	Плотность $\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	Удельная теплоемкость $c, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$		теплопроводности $\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$	теплоусвоения $\delta, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ (при периоде 24 ч)	паропроницаемости $\mu, \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$
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 теплопоступлений от оборудования и от освещения равна

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

$$q_{\text{обор.}} = N_{\text{ЭВМ}} \cdot W_{\text{ЭВМ}} + N_{\text{МФУ}} \cdot \frac{W_{\text{МФУ}} \cdot T}{8} \quad (9.9)$$

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

– от освещения

$$q_{\text{осв.}} = N_{\text{свет}} \cdot N_{\text{ламп}} \cdot W_{\text{ламп}} \quad (9.10)$$

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

13. Поступление тепла в помещение за отопительный период составит

$$Q_{\text{быт}} = (q_{\text{обор.}} + q_{\text{осв.}}) \cdot t_{\text{раб}} \cdot 3600 \cdot 10^{-6} \text{ МДж} \quad (9.11)$$

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

$$t_{\text{раб}} = \frac{8 \cdot 5 \text{дн}}{24 \cdot 7 \text{дн}} \cdot \tau, \text{ч} \quad (9.12)$$

где τ – полная длительность отопительного сезона (формула 12.3)

Для упрощения расчетов теплопоступление 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

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

где v – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение $v = 0,8$.

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

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

Таблица 9.6 – 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 x 1,56	Двойное остекление в деревянных раздельных переплетах	2	4,2 x 3,3	Двухслойная: 15 см железобетона, потом 10 см стекловаты	4,2 / 6 / 3,3	3 компьютера W = 300 Вт, режим – 8 ч.	6 светиль- ников ЛВО05– 4x18–031 OPL HF с ЭПРА
2	1,79 x 1,77		1	4,2 x 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 x 1,77	Тройное остекление в деревянных раздельно спаренных переплетах	2	4,2 x 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 светиль- ника ЛВО05– 4x18–031 OPL HF с ЭПРА	
4	2,36 x 1,76		1	4,5 x 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 x 1,48	Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	2	4,2 x 3,3	4,2 / 6 / 3,3	5 компьютеров W = 300 Вт, режим – 8 ч 2 МФУ, W = 100 Вт, режим – 2 ч.	4 светиль- ника ЛВО05– 4x18–031 OPL HF с ЭПРА	
6	3 x 1,2		2	3,5 x 3,3		3,5/ 4,5/ 3,3	4 компьютера W = 300 Вт, режим – 6 ч. 1 МФУ, W = 100 Вт, режим – 1 ч.	
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.		

Продолжение таблицы 9.6

68

1	2	3	4	5	6	7	8	9
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	6 светильников ЛВО05–4x18–031 OPL HF с ЭПРА
9	3,94 x 3,94	Органическое стекло двойное	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	
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	4 светильника ЛВО05–4x18–031 OPL HF с ЭПРА
12	1,79 x 1,77		3	3,5 x 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 x 1,77	Двухслойные стеклопакеты в деревянных переплетах	1	4,8 x 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 ЛВО05–4x18–031 OPL HF с ЭПРА

Окончание таблицы 9.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	2,5 x 1,7		1	4,8 x 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 x 1,77		1	4,2 x 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– 4x18–031 OPL HF с ЭПРА
16	2,96 x 1,77		1	4,2 x 3,3		4,2 / 4,2/ 3,3	3 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч. 1 МФУ, W=100 Вт режим – 4 ч	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10.

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Цель работы: ознакомиться с работой стенда НТЦ-20.03 «Фотоэлектрические преобразователи». Изучить характеристики солнечных батарей в зависимости от интенсивности облучения, угла падения лучей и температуры.

10.1 Общие сведения

Фотоэлектрический преобразователь (фотоэлемент, ФЭП) – электронный прибор, который преобразует энергию фотонов в электрическую энергию.

Преобразование энергии в ФЭП основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

Эффективность преобразования зависит от электрофизических характеристик неоднородной полупроводниковой структуры, а также оптических свойств ФЭП, среди которых наиболее важную роль играет фотопроводимость. Она обусловлена явлениями внутреннего фотоэффекта в полупроводниках при облучении их солнечным светом.

Основные необратимые потери энергии в ФЭП вызваны:

- отражением солнечного излучения от поверхности преобразователя,
- прохождением части излучения через ФЭП без поглощения в нём,
- рассеянием на тепловых колебаниях решётки избыточной энергии фотонов,
- рекомбинацией образовавшихся фото пар в ФЭП,
- внутренним сопротивлением преобразователя.

В зависимости способа изготовления, солнечные элементы делятся на виды (наиболее распространенные):

Солнечные элементы из монокристаллического кремния

Монокристаллические элементы имеют наивысшую эффективность преобразования энергии. Изготавливаются путем обработки чистого кристаллического кремния с низкой плотностью дислокаций.

Солнечные элементы из поликристаллического кремния

Изготавливаются путем контролируемой объемной кристаллизации. Внутри кристалла поликристаллического кремния имеются области, отделенные зернистыми границами, вызывающими

меньшую эффективность элементов.

Солнечные элементы из аморфного кремния

Аморфный кремний получается путем осаждения тонкой пленки кремния на несущий материал.

Внешний вид и характеристики ФЭП приведен на рисунке 10.1.

Характеристики	Тип фотоэлектрического преобразователя		
	моноцирсталический	поликристалический	аморфный
внешний вид			
КПД, %	14...20	12...18	6...10

Рисунок 10.1 – Типы фотоэлектрических преобразователей

Солнечная батарея – несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей – полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток.

Кристаллический модуль (солнечная батарея) состоит из нескольких отдельных солнечных элементов, практически всегда соединенных последовательно, что позволяет увеличить напряжение и выходную мощность по сравнению с одним солнечным элементом. Обычно напряжение модуля проектируется так, чтобы оно соответствовало напряжению батареи 12 В. Напряжение отдельного солнечного элемента при 25 °C и атмосферной массе 1,5 составляет около 0,6 В. Устройство солнечной батареи показано на рисунках 10.2, 10.3.

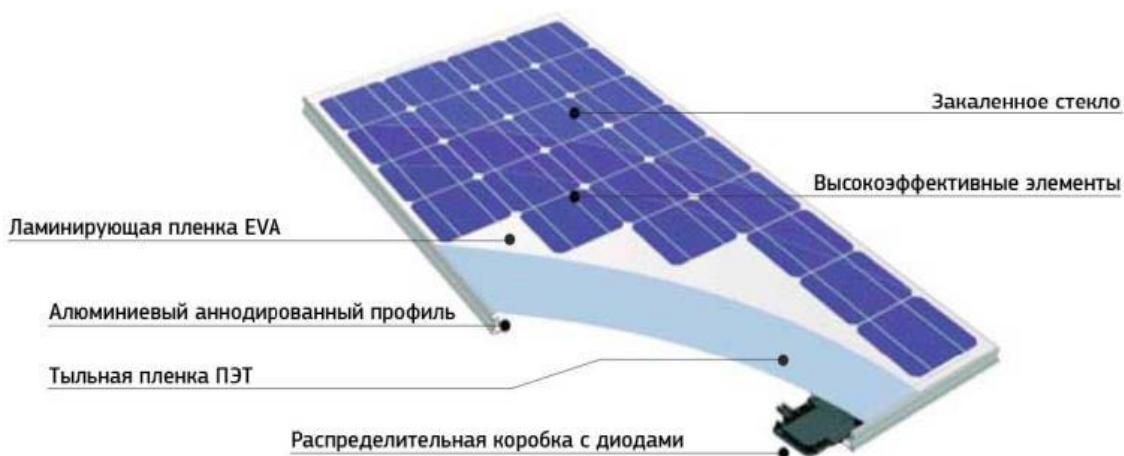


Рисунок 10.2 – Устройство солнечной батареи

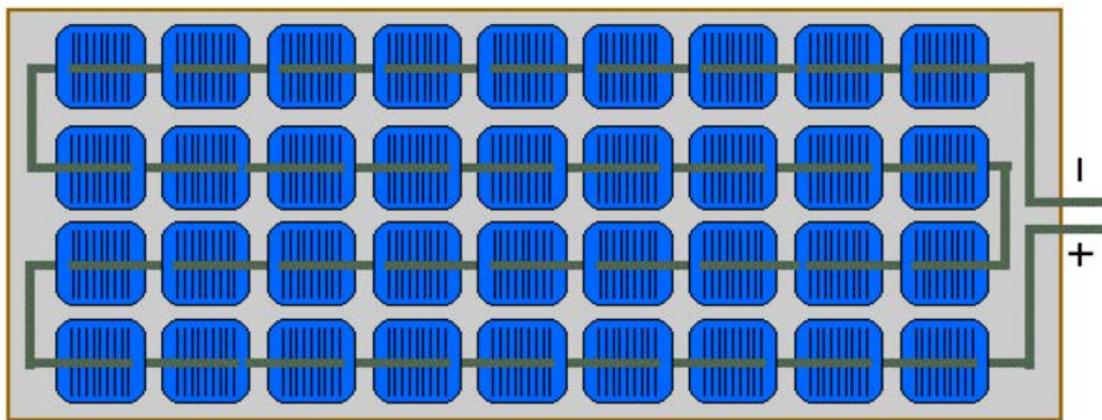


Рисунок 10.3 – Соединение элементов

Плотность упаковки солнечных элементов в модуле равна отношению площади модуля, которую занимают солнечные элементы к общей площади. Плотность упаковки наряду с рабочей температурой и КПД ФЭП является фактором, определяющим выходную мощность батареи. Плотность упаковки зависит от формы используемых солнечных элементов. Возможные варианты упаковки круглых и квадратных элементов показана на рисунке 10.4.

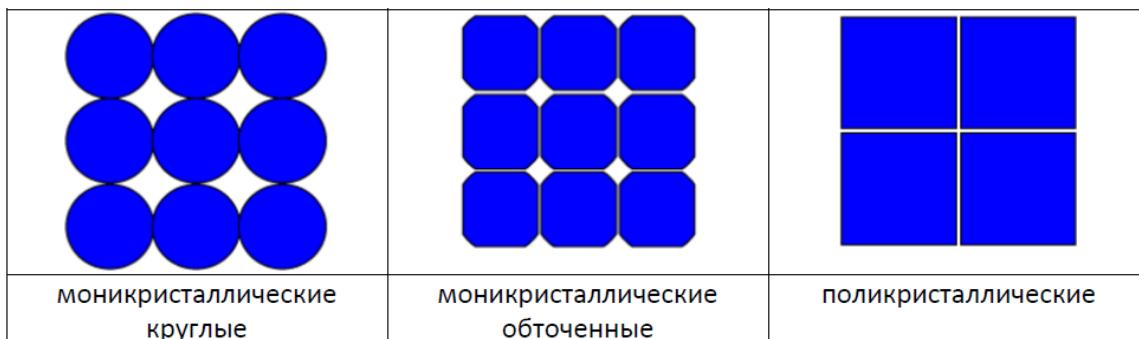


Рисунок 10.4 – Варианты упаковки элементов

10.2 Применяемые приборы

Изучение характеристик солнечного элемента производится с помощью учебно-лабораторного стенда НТЦ-20.03 «Фотоэлектрические преобразователи». Внешний вид стенда представлен на рисунке 10.5. На лицевой панели стенда размещено следующее оборудование: 4 солнечных элемента 6 В/40 мА; аккумуляторная батарея; вентилятор DC 12 В; точечный светодиодный светильник 12 В; активная переменная нагрузка; независимый источник напряжения 12 В.

Электрические соединения между отдельными узлами выполняются гибкими перемычками со штекерными разъемами. Стенд оснащен источником освещения с регулируемой интенсивностью, возвышением и углом наклона. Для измерения тока, стенд

комплектуется шунтами, выполненными в виде перемычек. Для измерения тока и напряжения солнечных батарей используется цифровой мультиметр MI 62.



Рисунок 10.5 – Учебно–лабораторный стенд НТЦ–20.03
«Фотоэлектрические преобразователи»

На панели стенда смонтировано 4 солнечных батареи (BL1...BL4). Характеристики батареи – в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Характеристики батареи

Характеристика	Единица измерения	Значение
типа	–	кристаллический
габаритный размер	мм	70×40
площадь фотоэлементов	мм ²	1400
число фотоэлементов	–	10
<i>под прямыми солнечными лучами (1000Вт/м²)</i>		
напряжение холостого хода	В	6,0
ток короткого замыкания	мА	до 40
<i>при комнатном освещении</i>		
рабочее напряжение	В	3–4,5
рабочий ток	мА	10–20

10.3 Выполнение работы

Задание 1. Температурная чувствительность напряжения холостого хода

- Подготовить установку к работе:
 - Разместить установку на рабочем месте.

1.2 Убрать с панели все перемычки (при их наличии).

1.3 Включить питание стенда.

1.4 Разместить источник освещения так, чтобы прожектор был направлен прямо на блок солнечных элементов. Угол наклона стойки – вертикальный, расстояние **L** от стекла прожектора до поверхности солнечных элементов установить равным **200 мм**.

1.5. Подключить источник освещения к электросети. С помощью регулятора на кабеле питания включить прожектор и проверить регулирование яркости.

1.6. Выключить прожектор, уставив регулировку в положение OFF.

1.7. Выключить питание стенда.

2. Собрать на панели схему как показано на рисунке 10.6.

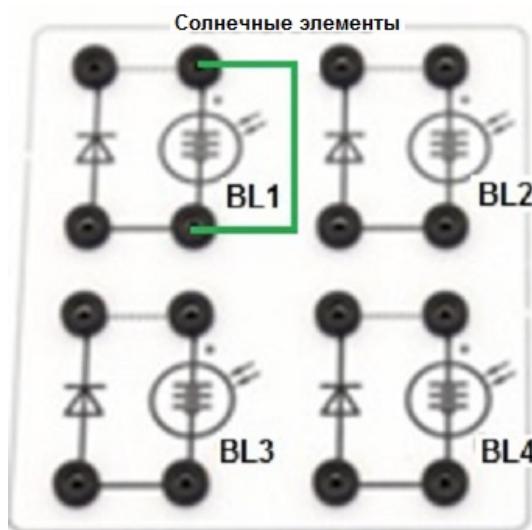


Рисунок 10.6 – Холостой ход

3. Используя цифровой мультиметр измерить температуру батареи (перед началом опыта температура батарей не должна превышать 25°C).

3.1 Установить поворотный переключатель в положение TEMP ($^{\circ}\text{C}$), и на ЖК-дисплее отобразится текущая температура окружающей среды.

3.2 Вставить термопару типа «K» в гнездо для измерения температуры на передней панели и прикоснуться датчиком термопары к измеряемому объекту (рис. 10.7).

3.3 Считайте показания температуры батареи на ЖК-дисплее. Полученное значение начальной температуры занести в таблицу 10.2.

4. Включить прожектор на максимальную яркость.

5. Используя цифровой мультиметр измерить температуру батареи (см. п.п.3).



Рисунок 10.7 – Измерение температуры солнечной батареи

6. Используя цифровой мультиметр, измерить напряжение холостого хода (рис. 10.8).

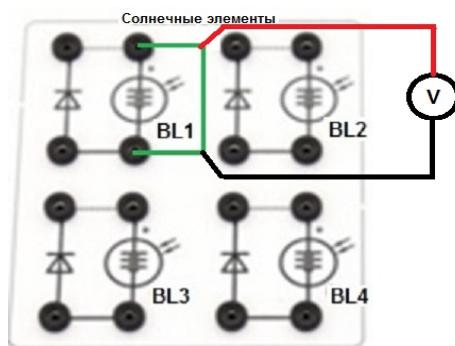


Рисунок 10.8 – Измерение напряжения холостого хода

6.1 Подключите черный провод к разъему СОМ, а красный тестовый провод – к разъему $V\Omega\ Hz$.

6.2 Установите поворотный переключатель в нужное положение диапазона $V \dots or V\sim$ и подключите тестовые провода к измеряемому источнику или нагрузке согласно схеме (рис. 10.8). Полярность подключения красного провода будет указана вместе со значением напряжения при измерении постоянного напряжения.

6.3 Если на дисплее отображается только цифра 1, это указывает на превышение диапазона, и необходимо выбрать более высокий диапазон.

6.4 По мере роста температуры снять зависимость $U_{xx} = f(t)$ с интервалом 5 °C. Данные занести в таблицу 10.2.

7. Выключить прожектор. *При работе прожекторов солнечные батареи могут нагреваться до высоких температур. Следует учитывать, что максимальная температура работы солнечных батарей не должна превышать 80 °C.*

8. Построить зависимость $U_{xx} = f(t)$.

9. На графике выбрать относительно прямолинейный участок между двумя точками.

10. Рассчитать коэффициент зависимости напряжения холостого хода от температуры по формуле:

$$V_{0t} = \frac{U_{XX2} - U_{XX1}}{t_2 - t_1} \quad (10.1)$$

где U_{XX1} – напряжение холостого хода в начальной точке, В; U_{XX2} – напряжение холостого хода в конечной точке, В; t_1 – средняя температура батареи в начальной точке, $^{\circ}\text{C}$; t_2 – средняя температура батареи в конечной точке, $^{\circ}\text{C}$

Таблица 10.2 – Результаты измерений

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Напряжение U_{XX} , В

Задание 2. Вольт-амперные характеристики солнечных батарей в зависимости от угла падения лучей

1. Подготовить установку к работе. Расстояние L установить равным 350 мм.
2. Включить прожектор на максимальную яркость.
3. Снять характеристику батареи.
 - 3.1 Используя цифровой мультиметр, измерить напряжение холостого хода (см. задание 1, п. п. 6, рис. 10.8).
 - 3.2 Исследование работы солнечного элемента под нагрузкой.
 - 3.2.1 Используя перемычки, подключить нагрузку к выходу солнечной батареи (рис. 10.9).

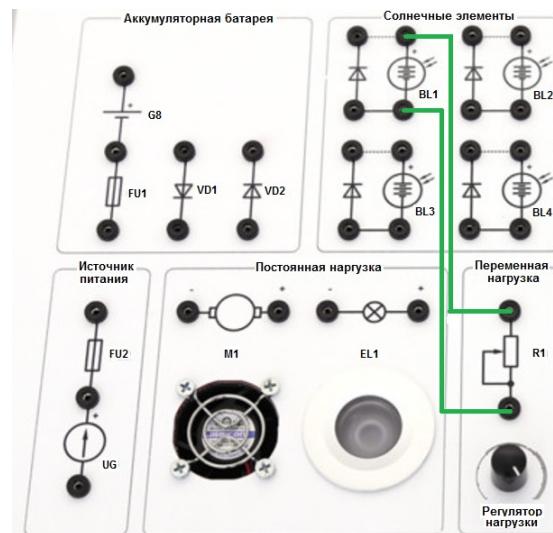


Рисунок 10.9 – Резистивная нагрузка

3.2.2 Регулятор нагрузки установить в положение 1 и, используя цифровой мультиметр, провести измерения напряжения и силы тока (рис. 10.10 а и 10.10 б)

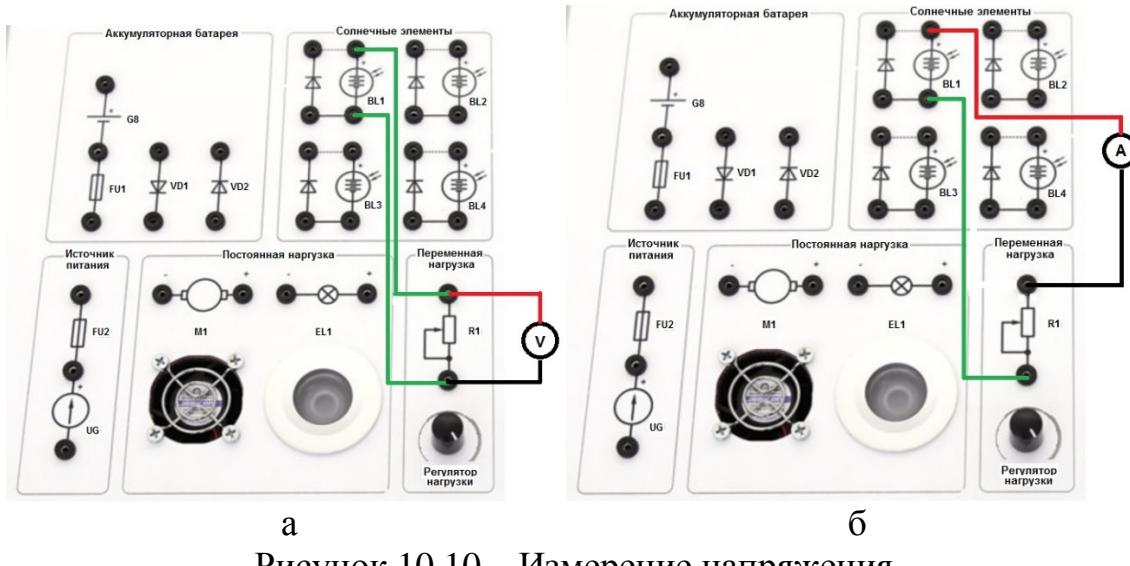


Рисунок 10.10 – Измерение напряжения

3.2.3 Измерение напряжения проводится следующим образом.

3.2.3.1 Подключите черный провод к разъему СОМ, а красный тестовый провод – к разъему $V\Omega$ Hz.

3.2.3.2 Установите поворотный переключатель в нужное положение диапазона $V\dashv$ or $V\sim$ и подключите тестовые провода к нагрузке (рис. 10 а). Полярность подключения красного провода будет указана вместе со значением напряжения при измерении постоянного напряжения.

3.2.3.3 Если на дисплее отображается только цифра 1, это указывает на превышение диапазона, и необходимо выбрать более высокий диапазон.

3.2.4 Измерение силы тока проводится следующим образом.

3.2.4.1 Подключите черный провод к разъему СОМ, а красный тестовый провод – к разъему mA для максимального тока 200 mA. Для максимального тока 20 A переместите красный тестовый провод к разъему A.

3.2.4.2 Установите поворотный переключатель в нужное положение диапазона $A\dashv$ or $A\sim$ и подключите тестовые провода последовательно к измеряемой нагрузке согласно схеме (рис. 10 б). Полярность подключения красного провода будет указана вместе со значением тока при измерении постоянного тока.

3.2.4.3 Если на дисплее отображается только цифра 1, это указывает на превышение диапазона, и необходимо выбрать более высокий диапазон.

3.3 Исследование работы солнечного элемента в режиме

«Короткое замыкание».

3.3.1 Провести измерение силы тока короткого замыкания (рис. 10.11).

3.3.2 Подключите черный провод к разъему СОМ, а красный тестовый провод – к разъему mA для максимального тока 200 mA. Для максимального тока 20 А переместите красный тестовый провод к разъему A.

3.3.3 Установите поворотный переключатель в нужное положение диапазона $A \dots or A\sim$ и подключите тестовые провода последовательно к измеряемой нагрузке согласно схеме (рис. 10.10). Полярность подключения красного провода будет указана вместе со значением тока при измерении постоянного тока.

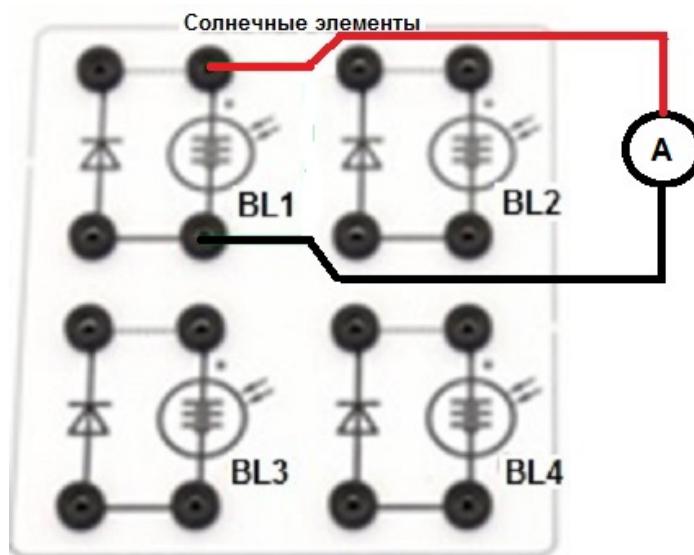


Рисунок 10.11 – Режим работы «Короткое замыкание»

3.3.4 Если на дисплее отображается только цифра 1, это указывает на превышение диапазона, и необходимо выбрать более высокий диапазон.

4. Полученные данные занести в таблицу 2.

5. Постепенно увеличивая нагрузку, последовательно устанавливая регулятор нагрузки в позиции 2–5, провести измерения напряжения и силы тока (см. п.п. 3.2).

6. Полученные данные занести в таблицу 10.3.

7. Установить угол стойки прожектора 200.

8. Повторить пункты 3–6.

9. Установить угол стойки прожектора 400.

10. Повторить пункту 3–6.

11. Выключить прожектор.

12. На одном графике построить характеристики $I = f(U)$ для данных из таблицы 10.3.

Таблица 10.3 – Результаты измерений

Нагрузка	Угол наклона лучей, °С					
	0		20		40	
	$U, В$	$I, мA$	$U, В$	$I, мA$	$U, В$	$I, мA$
Холостой ход						
1						
2						
3						
4						
5						
К3						

Задание 3. Вольт-амперные характеристики солнечных батарей в зависимости от интенсивности облучения

- Подготовить установку к работе. Расстояние L установить равным 400 мм.
- Включить прожектор на максимальную яркость.
- Снять характеристику батареи (схемы на рис. 10.7). Данные занести в таблицу 10.4.
- Расстояние L установить равным 300 мм.
- Повторить пункт 3.
- Расстояние L установить равным 200 мм.
- Повторить пункт 3.
- Выключить прожектор.
- На одном графике построить характеристики $I=f(U)$ для данных из таблицы 10.4.
- Выключить питание. Разобрать схему.

Таблица 10.4 – Результаты измерений

Нагрузка	Расстояние, мм					
	L1=400		L2=300		L3=200	
	$U, В$	$I, мA$	$U, В$	$I, мA$	$U, В$	$I, мA$
Холостой ход						
1						
2						
3						
4						
5						
К3						

Контрольные вопросы

1. Что такое «Фотоэлектрический преобразователь (фотоэлемент, ФЭП)?
2. Чем обусловлены основные необратимые потери энергии в ФЭП?
3. Укажите виды солнечных элементов в зависимости способа изготовления.
4. Что такое «Солнечная батарея»?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11. ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

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

11.1 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. 11.1). 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 11.1 – 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.

11.2 Выполнение работы

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

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

$$M_i = \frac{S_{\pi}}{S_1} \quad (11.1)$$

$$M_{общ} = \sum_{i=1}^n M_i \quad (11.2)$$

где S_{π} – площадь основного помещения для укрываемых в защитных сооружениях, м^2 ; S_1 – норма площади основного помещения на одного укрываемого, м^2 (табл.11.2).

Проверяем соответствие объема помещений в зоне герметизации установленной норме на одного укрываемого (норма: не менее $1,5 \text{ м}^3/\text{чел.}$):

$$V_1 = \frac{S_0 h}{M}, \quad (11.3)$$

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:

$$S_{всп} = M \cdot S_2 \quad (11.4)$$

где $S_{всп}$ – площадь вспомогательных помещений, м^2 ; M – количество мест для укрываемых; S_2 – норма площади вспомогательного помещения на одного укрываемого, м^2 (табл. 11.2).

Определяем количество нар (N) для размещения укрываемых:

$$H = M \cdot \Delta, \quad (11.5)$$

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

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

$$K_{BM} = \frac{M_{общ}}{N}, \quad (11.6)$$

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

Требования к защитным сооружениям (см. табл. 11.2) 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 «Задачные сооружения гражданской обороны. Нормы проектирования». В таблице приведены объемно-планировочные и конструктивные решения к основным и вспомогательным помещениям, основные данные по микроклимату защитных сооружений.

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

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

$$K_{осл} = K_{зас} \cdot 2^{\frac{h_1}{d_{1пол}}} \quad (11.7)$$

где $K_{зас}$ – коэффициент, учитывающий условия расположения защитного сооружения (для встроенных равен 1,5, для отдельно стоящих – 1,0); h_1 – толщина первого слоя материала защитного сооружения, см; $d_{1пол}$ – толщина первого слоя половинного ослабления, см (табл. 11.3).

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

$$K_{осл} = K_{зас} \cdot 2^{\frac{h_1}{d_{1пол}}} \cdot 2^{\frac{h_2}{d_{2пол}}} \quad (11.8)$$

где h_2 – толщина второго слоя материала защитного сооружения, см; $d_{2пол}$ – толщина второго слоя половинного ослабления, см (табл. 11.3).

Таблица 11.2 – Требования к защитным сооружениям гражданской обороны

Основные требования	Норма
Площадь пола основного помещения на одного человека, м^2 , при высоте помещения:	
2,15 м	0,6
2,15–2,9 м	0,5
2,9 м и более	0,4
В защитных сооружениях двойного назначения	1,0
Внутренний объем помещения на одного человека, м^3	1,5
Место для сидения на одного человека, м	$0,45 \times 0,45$
Место для лежания на одного человека, м	$1,8 \times 0,55$
Площадь вспомогательных помещений на одного человека, м^2 :	
без автономных систем водо-, электроснабжения	0,12
при наличии ДЭС, но без автономного водоснабжения	0,13
с автономными системами водо-, электроснабжения при вместимости:	
До 600 чел.	0,23
600–1200 чел.	0,22
Более 1200 чел.	0,2
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

Таблица 11.3 – Толщина слоев половинного ослабления ($d_{\text{пол}}$) ионизирующих излучений для некоторых материалов

Материал	Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	Толщина слоя половинного ослабления ($d_{\text{пол}}$), см	
		для гамма-излучения на следе облака	для нейtronов
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 воздухоснабжения. В ходе расчетов выбираем тип и параметры фильтровентиляционных комплектов (ФВК), определяем количество подаваемого воздуха системой в режиме I – чистой вентиляции и в режиме II – фильтровентиляции.

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

$$N_{возд} = \frac{W_o}{W_h}, \quad (11.9)$$

где W_o – общая производительность системы воздухоснабжения, $\text{м}^3/\text{ч}$ (табл. 11.4); W_h – норма подачи воздуха на одного человека в час, $\text{м}^3/\text{ч}$: в режиме чистой вентиляции – $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, в режиме фильтровентиляции – $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ на человека.

4. Оценка системы водоснабжения защитного сооружения.

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

$$N_{вод} = \frac{W_{о.вод}}{W_{1h} \cdot C} \quad (11.10)$$

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

Таблица 11.4 – Характеристики фильтровентиляционных комплектов и вентиляторов

Название фильтровентиляционных комплектов и вентиляторов	Производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$	
	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:

$$N_{ocm} = \frac{W_{o.cm}}{W_n \cdot C} \quad (11.11)$$

где $W_{o.cm}$ – общая вместимость санитарно-технической системы, ед. изм.; W_n – 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 воздухоснабжения.

Таблица 11.5 – Исходные данные

Номер варианта	Численность наибольшей работающей смены, чел.	Убежища (в числителе формулы (строка 1) даются параметры встроенных убежищ, в знаменателе – параметры отдельно стоящих убежищ)							Срок нахождения, сут	
		Количество	Толщина, м		Высота, м	Площадь пола основного помещения, м ²	Площадь пола вспомогательного помещения, м ²	Запас воды, л	Емкость для сбора сточных вод, л	
			бетонного перекрытия	грунтовой засыпки						
1	2405	$\frac{6}{2}$	$\frac{0,55}{0,2}$	$\frac{=}{0,63}$	$\frac{2,1}{5}$	$\frac{154}{152}$	$\frac{63}{62}$	$\frac{2730}{2700}$	$\frac{1900}{1800}$	2
2	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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12.

ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ НАВОДНЕНИИ

Цель работы: изучить методику оценки обстановки при наводнении.

12.1 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.

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.

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.

12.2 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:

$$t_{nod} = \frac{R}{3600 \cdot v}, \text{ч}, \quad (12.1)$$

где R – характеристика населенных пунктов, расположенных в зоне возможного затопления, а также расстояние между плотиной и

населенными пунктами (расчетными точками), m ; v – средняя скорость движения волны пропуска, m/s ;

2. По таблице 12.1 определяется высота волны пропуска для различных расчетных точек (заданных расстояниях).

3. Определяется время опорожнения водохранилища по формуле

$$T = \frac{W}{N \cdot B \cdot 3600}, \text{ч}, \quad (12.2)$$

где W – объём водохранилища, m^3 ; B – ширина прорана или участка перелива воды через гребень не разрушенной плотины, m ; N – максимальный расход воды на 1 m ширины прорана, $m^3/(с\cdot м)$, принимается ориентировочно по табл.12.2.

Таблица 12.1 – 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, m	0,25 H	0,2 H	0,15 H	0,075 H	0,05 H	0,03 H	0,02 H
Продолжительность прохождения волны пропуска, $t, \text{ч}$	T	$1,7T$	$2,6T$	$4T$	$5T$	$6T$	$7T$

Таблица 12.2 – Максимальный расход воды на 1 m ширины прорана

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

4. При прогнозировании обстановки принимается худший вариант – произошло полное опорожнение водохранилища за время T (см. п. 3), по таблице 12.1 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:

$$t_{заш} = t_{под} + t. \quad (12.3)$$

12.3 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. 12.1 а) или трапецидальным (рис. 12.1 б).

2. Находят площадь сечения реки до паводка S_0 по формулам:
 - для треугольного сечения (рис. 12.1 а)

$$S_0 = 0.5 \cdot b_0 \cdot h_0, \text{ м}^2 \quad (12.4)$$

- для трапецидального сечения (рис. 12.1 б).

$$S_0 = 0.5 \cdot (a_0 + b_0) \cdot h_0, \text{ м}^2 \quad (12.5)$$

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

$$Q_0 = V_0 \cdot S_0, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (12.6)$$

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

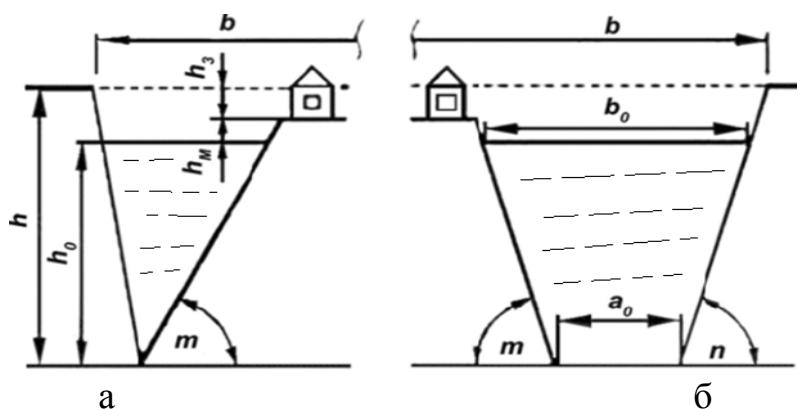


Рисунок 12.1 – Расчетная схема сечения реки:
 а – треугольное сечение, б – трапецидальное сечение;
 a_0 – ширина дна реки; b_0, b – ширина реки до и во время паводка; h_0, h, h_3, h_M – глубина реки до и во время паводка, высота затопления местности и расположение её от первоначального уровня реки; m, n – углы наклона берегов реки

4. Определяют расход воды после выпадения осадков (таяния снега) и наступления половодья (паводка) по формуле

$$Q_{max} = Q_0 + J \cdot F / 3,6, \text{ м}^3/\text{с} \quad (12.7)$$

где J – интенсивность осадков (таяния снега), мм/ч. ; F – площадь выпадения осадков, км^2 .

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

Для рис.12.1 а:

$$h = \left[2 \cdot Q_{max} \cdot \frac{h_0^{\frac{5}{3}}}{b_0 \cdot V_0} \right]^{\frac{3}{8}}, \text{ м} \quad (12.8)$$

Для рис.12.1 б:

$$h = \left\{ \frac{2 \cdot Q_{max} \cdot \left[\left[\frac{(b_0 - a_0)}{(ctg m + ctg n)} \right]^{\frac{5}{3}} \right]^{\frac{3}{8}}}{b_0 \cdot V_0} \right\}, \text{ м} \quad (12.9)$$

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

$$V_{max} = \frac{Q_{max}}{S_{max}}, \text{ м/с} \quad (12.10)$$

где S_{max} – площадь поперечного сечения потока при прохождении паводка, м^2 , определяемая по формулам (12.4) и (12.5), в которые вместо h_0 подставляют h , а вместо b_0 подставляют b .

Значение величины b находят:

– для треугольного сечения реки

$$b = \frac{b_0 \cdot h}{h_0}, \text{ м} \quad (12.11)$$

– для трапецидального сечения реки

$$b = a_0 + h \cdot (\operatorname{ctg} m + \operatorname{ctg} n) = a_0 + 2 \cdot h \cdot \operatorname{ctg} m \quad (12.12)$$

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

$$h_3 = h - h_M - h_0, \text{ м} \quad (12.13)$$

$$V_3 = f \cdot V_{max}, \text{ м/с} \quad (12.14)$$

где f – параметр, характеризующий удаленность объекта от русла реки (определяется по табл. 12.3).

Таблица 12.3 – Параметр удаленности объекта от русла реки (f)

h_3 / h	Сечение русла	
	трапецидальное	треугольное
0,1	0,23	0,3
0,2	0,43	0,5
0,4	0,64	0,72
0,6	0,84	0,96
0,8	1,05	1,18
1,0	1,2	1,32

В отличие от волны прорыва наводнение и паводок оказывают более продолжительное действие (табл. 12.4), усугубляющее первоначальное разрушающее воздействие волны прорыва.

По таблице 12.5 по скорости и глубине затопления определим степень повреждения здания, промобъектам, дорогам.

Таблица 12.4 – 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
Затопление подвалов	10	15	40	60	85	90
Нарушение дорожного движения	15	30	60	75	95	100
Разрушение уличных мостовых	–	–	3	6	30	50
Смыв деревянных домов	–	7	70	90	100	100
Разрушение кирпичных зданий	–	–	10	40	50	60
Прекращение электропитания	75	90	95	100	100	100
Прекращение телефонной связи	75	85	100	100	100	100
Повреждения систем газо- и теплоснабжения	–	–	7	10	30	70
Гибель урожая	–	–	–	–	3	8

Примечание: При $V_3 = 1,5 - 2,5 \text{ м/с}$ приведённые в таблице значения надо умножить на 0,6; при $V_3 = 4,5 - 5,5 \text{ м/с}$ – умножить на 1,4.

Таблица 12.5 – 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-понизительные подстанции	5,0	2,0	4,0	2,0	2,0	1,0

Задание (табл. 12.6, 12.7). Определить параметры волны пропуска в населенном пункте при наводнении в случае аварии, повлекшей за собой прорыв плотины, находящейся от населенного пункта на расстоянии R .

Определить время нахождения в защитном сооружении работников объекта в случае аварии, в результате которой произошел прорыв плотины водохранилища. Объем водохранилища W , ширина прорана B , глубина воды перед плотиной H , средняя расчетная скорость движения волны пропуска v . 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 12.6 – 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

Таблица 12.7 – 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 дна 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

Контрольные вопросы

- Что такое отходы производства?
- Что такое отходы потребления?
- На какие классы опасности подразделяются отходы?
- Почему не подлежат захоронению отходы 1 класса опасности?
- Какими опасными свойствами могут обладать отходы?
- К каким последствиям может привести неправильное обращение с отходами?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 13.

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

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

13.1 Общие сведения

Под химической обстановкой понимают совокупность последствий химического заражения местности сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ) или отравляющими веществами (ОВ), оказывающими влияние на деятельность объектов хозяйствования, формирований МЧС и населения.

Химическая обстановка создается в результате разлива (выброса) СДЯВ или применения химического оружия с образованием зон химического заражения и очагов химического поражения (ОХП). Оценка химической обстановки производится методом прогнозирования и по данным химической разведки.

Оценка химической обстановки включает:

- определение масштабов и характера химического заражения;
- анализ их влияния на деятельность объектов, формирований МЧС и населения;
- выбор наиболее целесообразных вариантов действий, при которых исключается поражение людей.

Исходными данными для оценки химической обстановки являются: тип и количество СДЯВ (ОВ); средства применения химического оружия и способ доставки отравляющих веществ; район и время выброса СДЯВ, применения химического оружия; степень защищенности людей; топологические условия (застройка местности, вид местности); метеоусловия (скорость и направление ветра, температура воздуха и почвы, степень вертикальной устойчивости).

Степень вертикальной устойчивости характеризует состояние приземных воздушных слоев.

1. Инверсия – возникает в вечернее время за 1 час до захода солнца и разрушается в течение часа после его восхода. При инверсии нижние слои воздуха холоднее верхних, что препятствует его рассеиванию вверх и создает условия для сохранения высоких концентраций зараженного воздуха.

2. Изотермия – характеризуется стабильным равновесным состоянием воздушных масс. Она наиболее характерна для пасмурной

погоды, но может возникать и в утренние и вечерние часы как переходное состояние от инверсии к конвекции (утром) и наоборот (вечером).

3. Конвекция – возникает обычно через 2 часа после восхода солнца, разрушается за 2 – 2,5 часа до его захода и наблюдается в наиболее ясные дни. При конвекции нижние слои воздуха нагреты сильнее, чем верхние, что способствует быстрому рассеиванию зараженного облака и уменьшению его поражающего действия.

В таблице 13.1 приведена оценка степени вертикальной устойчивости воздуха по данным прогноза погоды.

Таблица 13.1 – Степень вертикальной устойчивости атмосферы

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность						
< 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.

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 $v_e = 1 \text{ м/с}$).

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

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 ($t_{kip} < 20^{\circ}\text{C}$) (фосген, фтористый водород и т. д.), по мере их разлива сразу же испаряются, и количество ядовитых паров равно количеству вытекшего ядовитого вещества. Если СДЯВ имеют $t_{kip} > 20^{\circ}\text{C}$ (сероуглерод, синильная кислота, жидкий аммиак, сжиженный хлор), то они разливаются по территории объекта и, испаряясь, заражают приземные слои воздуха.

13.2 Выполнение работы

Определение количественных характеристик выброса

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

Для сжатых газов эквивалентное количество вещества определяется только по первичному облаку.

Для сжиженных СДЯВ, имеющих температуру кипения выше температуры окружающей среды, эквивалентное количество вещества определяется только по вторичному облаку.

Для СДЯВ, температура кипения которых ниже температуры окружающей среды, эквивалентное количество вещества определяется по первичному и вторичному облаку.

При прогнозировании химической обстановки принимается, что при разгерметизации емкости произошел вылив всего имеющегося в ней запаса СДЯВ. При этом площадь разлива определяется:

$$S_p = \frac{G}{\rho \cdot h}, \text{м}^2, \quad (13.1)$$

где G – масса СДЯВ, т; ρ – плотность СДЯВ, $\text{т}/\text{м}^3$; h – толщина слоя СДЯВ, м.

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

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

$$h = H - 0,2, \quad (13.2)$$

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

$$Q_{\vartheta 1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0, \text{ т,} \quad (13.3)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от условий хранения СДЯВ (для сжиженных газов $K_1 < 1$; для сжатых газов $K_1 = 1$ (см. табл. 13.2)); K_3 – коэффициент, учитывающий токсичность СДЯВ, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого СДЯВ (см. табл. 13.2); K_5 – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха, (для инверсии $-K_5 = 1$; для изомерии $-K_5 = 0,23$; для конвекции $-K_5 = 0,08$); K_7 – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (может быть меньше единицы (при высоких температурах) и больше единицы (при низких температурах)). Для сжатых газов $K_7 = 1$) (см. табл. 13.2); Q_0 – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

Определение эквивалентного количества вещества по вторичному облаку

Эквивалентное количество вещества по вторичному облаку рассчитывается по формуле

$$Q_{\vartheta 2} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot \rho}, \text{ т,} \quad (13.4)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, зависящие от физико-химических свойств СДЯВ (см. табл. 13.2); K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра (см. табл. 13.3); K_6 – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии $-\tau$, h – толщина слоя СДЯВ, м; ρ – плотность жидкой фазы СДЯВ, т/м³, (см. табл. 13.2).

Коэффициент K_6 определяется исходя из условия:

$$K_6 = \begin{cases} \tau^{0,8} \text{ при } \tau < \tau_{ucn} \\ \tau_{ucn}^{0,8} \text{ при } \tau > \tau_{ucn} \end{cases}; \text{ где } \tau_{ucn} \text{ – время испарения СДЯВ, ч.}$$

Если $\tau_{ucn} < 1$ ч, K_6 принимается для 1 ч.

Время испарения рассчитывается по формуле:

$$\tau_{ucn} = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7}, \text{ ч.} \quad (13.5)$$

Расчет глубины зоны заражения при аварии на химически опасном объекте

Используя значения Q_3 , полученных по формулам (13.3), (13.4), по таблице 13.4 определяется глубина зоны заражения для первичного Γ_1 и вторичного Γ_2 облаков в зависимости от скорости ветра v .

Если расчетное эквивалентное количество вылившегося вещества (Q_{31} или Q_{32}) не совпадает с табличным в таблице 13.4, тогда проводят интерполяцию значений глубин по формуле:

$$\Gamma = \Gamma_M + \frac{\Gamma_\delta - \Gamma_M}{Q_{3\delta} - Q_{3M}} \cdot (Q_{3\phi} - Q_{3M}), \text{ км,} \quad (13.6)$$

где $Q_{3\phi}$ – эквивалентное количество вылившегося СДЯВ по первичному (вторичному) облаку; Q_{3M} , $Q_{3\delta}$ – меньшее и большее табличное значение массы СДЯВ, соответственно; Γ_M , Γ_δ – меньшие и большие табличные значения глубины зоны заражения соответственно.

Полная глубина зоны заражения $\Gamma_{зар}$, обусловленная воздействием первичного и вторичного облака СДЯВ, определяется:

$$\begin{aligned} \Gamma_{зар} &= \Gamma_1 + 0,5\Gamma_2, \text{ если } \Gamma_1 > \Gamma_2 \\ &\quad \text{или} \\ \Gamma_{зар} &= \Gamma_2 + 0,5\Gamma_1, \text{ если } \Gamma_1 < \Gamma_2. \end{aligned} \quad (13.7)$$

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

$$\Gamma_{пред} = \tau \cdot u, \quad (13.8)$$

где u – скорость переноса переднего фронта заражённого воздуха при заданной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости атмосферы, км/ч (по табл. 13.5); τ – время от начала аварии, ч.

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

$$\Gamma = \min \{ \Gamma_{зар}, \Gamma_{пред} \}. \quad (13.9)$$

Таблица 13.2 – Характеристика СДЯВ и вспомогательные коэффициенты для определения глубин зон

зарождения

Наименование СДЯВ	Плотность		Температура кипения, °C	Пороговая токсодоза, мг·мин/л	Значения вспомогательных коэффициентов							
	Газ	Жидкость			K ₁	K ₂	K ₃	K ₇				
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
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
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
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
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	2,5
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	2,5
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
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

Окончание таблицы 13.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Триметиламин	–	0,671	2,9	6,0 [*]	0,07	0,047	0,1	0,001 0,1	0,001 0,4	0,001 0,9	1 1	2,2 1
Формальдегид	–	0,815	–19,0	0,6 [*]	0,19	0,034	1,0	0 0,4	0 1	0,5 1	1 1	1,5 1
Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0,001 0,1	0,001 0,3	0,001 0,7	1 1	1 2,7
Фтор	0,0017	1,512	–188,2	0,2 [*]	0,95	0,038	3,0	0,7 1	0,8 1	0,9 1	1 1	1,1 1
Фосфор треххлористый	–	1,570	75,3	3,0	0,001	0,010	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
Фосфора хлороокись	–	1,675	107,2	0,6	0	0,003	10,0	0,05	0,1	03,	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

102

Примечание. 1. В графах 9–13 в числителе значение K_7 – для первичного, в знаменателе – для вторичного облака.

Таблица 13.3 – Значение коэффициента K_4 в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_4	1,0	1,33	1,67	2,00	2,34	2,67	3,00	3,34	3,674,00	5,68

Таблица 13.4 – Глубины зон возможного заражения СДЯВ, км

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество СДЯВ															
	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	3,0	5,0	10,0	20,0	30,0	50,0	70,0	100,0	300,0	500,0	1000,0
1	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	65,23	81,91	166,0	231,0	363,0
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79	121,0	189,0
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47	84,50	130,0
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18	65,92	101,0
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	16,89	20,82	40,11	54,67	83,60
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,79	18,13	34,67	47,09	71,70
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73	41,63	63,16
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,49	56,70
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60	6,86	9,12	11,03	13,50	25,39	34,24	51,60
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31	6,50	8,50	10,23	12,54	23,49	31,61	47,53
11	0,11	0,25	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58	5,06	6,20	8,01	9,61	11,74	21,91	29,44	44,15
12	0,11	0,24	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43	4,85	5,94	7,67	9,07	11,06	20,58	27,61	41,30
13	0,10	0,23	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29	4,66	5,70	7,37	8,72	10,48	19,45	26,04	38,90
14	0,10	0,22	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17	4,49	5,50	7,10	8,40	10,04	18,46	24,69	36,81
15	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34	5,31	6,86	8,11	9,70	17,60	23,50	34,98

Примечание.

- При скорости ветра $v > 15$ м/с размеры зон заражения принимать как при скорости ветра 15 м/с.
- При скорости ветра $v < 1$ м/с размеры зон заражения принимать как при скорости ветра 1 м/с.

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

$$\Gamma = 54,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{G_1^2}{D^2 \cdot v_e^2 \cdot K^2}}, \text{м} \quad (13.10)$$

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 $K = 4$).

Таблица 13.5 – Скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ИНВЕРСИЯ															
Скорость переноса, км/ч	5	10	15	21											
ИЗОТЕРМИЯ															
	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88
КОНВЕКЦИЯ															
	7	14	21	28											

Определение площади зоны заражения

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

$$S_m = \frac{\pi \cdot \Gamma^2 \cdot \phi}{360}, \text{км}^2 \quad (13.11)$$

где S_m – площадь зоны заражения СДЯВ по массе; Γ – глубина зоны заражения (Γ_1 – первичного облака, Γ_2 – вторичного облака, $\Gamma_{зар}$ – полная), км; ϕ – угловой размер зоны заражения, град (определяется по табл. 13.6).

Таблица 13.6 – Скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха

Скорость ветра, м/с	< 0,5	0,5–1,0	1,1–2,0	> 2
ϕ , град	360°	180°	90°	45°

Площадь зоны фактического заражения СДЯВ на момент времени τ по переносу зараженного облака воздушными массами:

$$S_\phi = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot \tau^2, \text{ км}^2 \quad (13.12)$$

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.

Задание A. (табл. 13.7). В промышленной зоне города разрушилась ёмкость, содержащая G тонн жидкого СДЯВ под давлением (A – аммиак, BM – водород мышьяковистый; X – хлор; $Cв$ – сероводород; Φ_m – фтор; Φ_c – фосген; $СУ$ – сероуглерод; TM – триметиламин; $МБ$ – метил бромистый). Емкость имеет высоту обвалования B . Определить глубину заражения СДЯВ в случае разрушения объекта, если скорость ветра в приземном слое – v , температура воздуха – T , степень вертикальной устойчивости – I (Ин – инверсия; Из – изотермия; К – конвекция).

Определить площадь зоны заражения по массе (S_m) и фактическую (S_ϕ).

Таблица 13.7 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СДЯВ	A	BM	A	$СУ$	X	TM	X	$Cв$	Φ_c	Φ_m	Φ_m	$МБ$
$G, \text{ т}$	250	300	350	500	550	600	650	650	700	700	750	800
$B, \text{ м}$	1,5	1,2	1,0	2,0	–	1,5	2,0	1,0	–	1,5	1,2	1,0
$T, {}^\circ\text{C}$	10	–10	25	0	5	–12	20	25	–15	0	5	–10
I	Ин	Ин	Из	Из	Ин	Из	Ин	Из	Ин	Из	Ин	Из
$v, \text{ м/с}$	2,0	2,5	3,0	1,5	1,0	2,0	3,0	1,5	2,2	3,0	1,3	2,0

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 14. ИССЛЕДОВАНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: изучить характеристики дозиметрических приборов АНРИ-01-02 «Сосна» и РАДЭКС РД1503, научиться с их помощью измерять мощность экспозиционной дозы гамма-излучения.

14.1 Основные сведения

Ионизация – это явление (процесс) образования положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул. Ионизирующее излучение – потоки

частиц и электромагнитных квантов, взаимодействие которых со средой приводит к ионизации ее атомов и молекул. Ионизирующие излучения делятся на фотонные (электромагнитные) и корпускулярные (поток частиц), а по механизму воздействия на вещество они могут быть непосредственно или косвенно ионизирующими.

Явление самопроизвольного (спонтанного) изменения структуры ядра атома одного элемента и превращение его в более устойчивое ядро атома другого элемента называется радиоактивностью, а само неустойчивое ядро – радиоактивным.

Радиоактивность характеризуется сортом и энергией вылетающих частиц, длительностью протекания процесса (постоянная распада λ , среднее время жизни τ , период полураспада $T_{1/2}$).

Существует два вида радиоактивного распада – альфа (α) и бета (β). Бета- и гамма-радиоактивность присуща и легким, и средним, и тяжелым ядрам, альфа-радиоактивность встречается только среди тяжелых ядер. Принято говорить о естественной и искусственной радиоактивности (возникновение искусственной радиоактивности произошло из-за человеческой деятельности – создание ускорителей и реакторов). В настоящее время большинство радиоактивных ядер произведено искусственным путем.

Каждый такой отдельный акт самопроизвольного превращения ядер с испусканием элементарных частиц или их групп называется радиоактивным распадом. Если радиоактивный распад сопровождается испусканием альфа-частиц, он называется альфа-распадом; бета-частиц – бета-распадом. Альфа- и бета-распад обычно сопровождаются гамма-излучением. Возникающие при самостоятельных превращениях ядер атомов потоки элементарных частиц или их групп являются ионизирующими излучениями. Гамма-излучение – коротковолновое электромагнитное излучение с чрезвычайно малой длиной волны $\lambda \leq 10-10$ м (0,1 нм). Это излучение имеет квантовый характер, т. е. испускается и распространяется в среде и поглощается веществом в виде отдельных дискретных квантов-фотонов. Фотон с энергией больше 100 кэВ обычно называется гамма-квантом. Гамма-кванты не обладают ни зарядом, ни массой покоя. Их испускание не приводит к образованию ядер новых элементов. Возбужденное и стабильное ядро одного элемента отличается только энергией.

Экспозиционная доза – это отношение приращения суммарного заряда всех ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении электронов и позитронов, которые первоначально были образованы фотонами гамма-излучения в элементарном объёме воздуха к массе воздуха в этом объёме.

Системная единица (СИ) экспозиционной дозы – 1 Кл/кг (кулон на килограмм), внесистемная единица – 1 Р (рентген).

$$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р.}$$

Мощность экспозиционной дозы – это отношение приращения экспозиционной дозы за интервал времени к этому интервалу времени.

Мощность экспозиционной дозы обычно выражается во внесистемных единицах – Р/ч (рентген в час), мР/ч (миллирентген в час), мкР/ч (микрорентген в час).

Системными единицами мощности экспозиционной дозы является 1А/кг (ампер на килограмм):

$$1 \text{ А/кг} = 1,08 \cdot 107 \text{ Р/ч} = 1,08 \cdot 1013 \text{ мкР/ч.}$$

Отличительная особенность экспозиционной дозы заключается в том, что она определяется только в воздухе и образуется под действием только гамма-излучения.

Экспозиционная доза, которая создается естественными источниками, образует естественный фон на всей поверхности земного шара.

Естественный фон излучения – это доза ионизирующего излучения, создаваемая космическим излучением и излучением естественно распределённых природных радиоактивных элементов.

Космическое излучение, которое постоянно воздействует на атмосферу Земли, называется первичным. Космическое излучение, которое достигает поверхности Земли после взаимодействия с атмосферой, называется вторичным. Остальная энергия первичного космического излучения затрачивается на ионизацию верхних слоёв атмосферы.

Естественными радиоактивными веществами считают те, которые образовались и постоянно вновь образуются без участия человека. В первую очередь это долгоживущие (с большим периодом полураспада) радиоактивные элементы, которые образовались одновременно с образованием Земли: калий-40 (период полураспада $1,3 \cdot 10^9$ лет), кальций-48 (период полураспада $2 \cdot 10^{16}$ лет), рубидий-87 (период полураспада $6,2 \cdot 10^{10}$ лет), олово-124 (период полураспада $2 \cdot 10^{17}$ лет), теллур-130 (период полураспада $1 \cdot 10^{21}$ лет), лантан-138 (период полураспада $2 \cdot 10^{11}$ лет), висмут-209 (период полураспада $3 \cdot 10^{17}$ лет), торий-232 (период полураспада $1,4 \cdot 10^{10}$ лет), уран-235 (период полураспада $1,13 \cdot 10^8$ лет), уран-238 (период полураспада $4,5 \cdot 10^9$ лет), всего 23 элемента.

В настоящее время известно более 100 естественных радионуклидов. Поскольку по химическим свойствам радиоизотопы не отличаются от стабильных, они обнаруживаются в растениях, а также организмах животных и человека.

В земной коре радионуклиды равномерно рассеяны, но могут быть сконцентрированы в виде месторождений.

Искусственным путём созданы радиоизотопы всех известных элементов. В связи с этим образуется радиационный фон, который отличается от естественного.

Фон – это доза ионизирующего излучения, которая создается естественным фоном и излучением посторонних источников. В любом помещении измеряется фон, так как там посторонними источниками являются продукты распада естественных изотопов, содержащихся в строительных материалах, т. е. в результате деятельности человека происходит накопление радиоизотопов в помещении или вблизи зданий и сооружений. Кроме того, строительные конструкции частично экранируют естественный фон. Фон в помещении, следовательно, может быть, как больше, так и меньше естественного.

Естественный фон определяется не ближе 200 метров к любым зданиям и сооружениям.

Радиационный фон Земли складывается из естественного (природного) радиационного фона, технологически измененного естественного радиационного фона и искусственного радиационного фона. В настоящее время на территории СНГ мощность эквивалентной (экспозиционной) дозы, или природный радиационный фон, в среднем составляет 0,05–0,50 мкЗв/ч (5–50 мкР/ч), а для Беларуси – 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч). Естественный радиационный фон в пределах: 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч) признано считать нормальным; фон 0,2–0,6 мкЗв/ч (20–60 мкР/ч) считается допустимым; фон свыше 0,6–1,2 мкЗв/ч (60–120 мкР/ч) – повышенным.

Используемые приборы.

Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503 (рис. 14.1)

Технические характеристики: диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы от 0,05 до 9,99 мкЗв/ч. Диапазон измерений мощности экспозиционной дозы от 5 до 999 мкР/ч. Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения от 0,1 до 1,25 МэВ. Время измерения – $40 \pm 0,5$ с. Время индикации показаний – непрерывно.

Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА» (рис. 14.2)

предназначен для индивидуального использования для контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях, в том числе:

- измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД);
- измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей;
- оценки объемной активности радионуклидов в веществах.

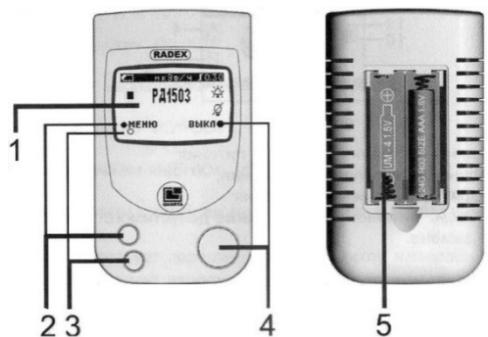


Рисунок 14.1 – Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503: 1 – ЖК-дисплей; 2 – кнопка «МЕНЮ» и её пиктограмма на дисплее. 3 – кнопка «КУРСОР» и ее пиктограмма на дисплее; 4 – кнопка «ВЫКЛ» и её пиктограмма на дисплее; 5 – батарейный отсек

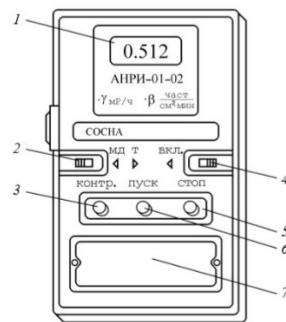


Рисунок 14.2 – Внешний вид дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «СОЧНА»: 1 – цифровой индикатор; 2 – переключатель режимов работы; 3 – кнопка проверки прибора; 4 – кнопка включения и выключения прибора; 5 – кнопка остановки измерений; 6 – кнопка запуска измерений; 7 – отсек питания с легко съемной крышкой

Технические данные и характеристики прибора:

Диапазон измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения – 0,010–9,999 мР/ч.

Диапазон измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей – 10–5000 частиц / (см² · мин).

Диапазон оценки объемной активности растворов (по изотопу цезий-137) : 5 · 10⁻⁸ – 10⁻⁶ Ки/л (1,85 · 10³ – 3,7 · 10⁴ Бк/л).

Основная относительная погрешность измерения:

– мощности экспозиционной дозы гамма-излучения по цезию-137 не более $\pm 30\%$;

– плотности потока бета-частиц от твердого плоского источника стронция-90 и иттрий-90 не более $\pm 45\%$.

14.2 Выполнение работы

Измерение мощности экспозиционной дозы с помощью индикатора радиоактивности РАДЭКС РД1503.

Подготовить прибор к работе.

1. Включите прибор, для чего нажмите большую кнопку (поз. 4 рис. 14.1). На дисплее разворачивается «экран РД1503» (поз. 1 рис. 14.1) и начинается оценка радиационной обстановки. Результат наблюдения появляется на дисплее через 10 секунд.

2. Для входа в меню и изменения размерность измерений, а также других настроек, нажмите кнопку «МЕНЮ» (поз. 2 рисунок 14.1). Кнопка имеет три функции: «МЕНЮ», «ВЫБОР», «ИЗМЕН». Появляется содержание меню. По умолчанию установлено:

- размерность – мкЗв/ч;
- порог – 0,30 мкЗв/ч;
- звук – тихо;
- подсветка – выключена.

Для перемещения курсора по пунктам меню и выбираемым значениям используйте кнопку «КУРСОР», нажимая на края кнопки (поз. 3 рис. 14.1).

ВЫБОР пункта меню и его изменение осуществляется кнопкой «МЕНЮ». ВЫХОД из меню осуществляется кнопкой «ВЫКЛ» (поз. 4 рис. 14.1).

3. Установите курсор на надпись «Размерность» и нажмите кнопку «МЕНЮ» для последующего изменения.

4. Выберите с помощью кнопки «КУРСОР» необходимые для проведения эксперимента единицы измерения (мкР/ч) и нажмите кнопку «МЕНЮ» для изменения.

5. Вернитесь в главное меню, нажав кнопку «ВЫКЛ» (поз. 4).

6. Через 10 секунд на дисплее выводится первый результат короткого цикла и пиктограммы:

..	– соответствует первому короткому циклу измерения;
	– соответствует второму короткому циклу измерения;
	– соответствует третьему короткому.

Короткий цикл измерения равен 10 с и предназначен для быстрого получения предварительных результатов. Наиболее достоверный результат выводится на дисплей после первого (40 с) цикла измерения и отображается пиктограммой «|».

	– соответствует одному циклу измерения;
	– соответствует двум циклам измерения;
	– соответствует трём циклам измерения;
□	– соответствует четырём и более циклам измерения.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов.

7. Проведите 10 циклов наблюдений, записывая показания каждого цикла измерений в таблицу 1.1.

8. После проведения измерений выключите прибор.

Таблица 14.1 – Результаты замеров

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч										
(РАДЭКС РД1503)										
(АНРИ-01002 «Сосна»)										

Измерение мощности экспозиционной дозы с помощью дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «Сосна»

Подготовить прибор к работе

1. Переведите переключатель режима работы (поз. 3) в положение «МД».

2. Включите прибор, для чего выключатель питания (поз. 2 рис. 14.2) переведите в положение «ВКЛ». На цифровом табло должно индицироваться:

или

0.000

0000

включение прибора должно сопровождаться коротким звуковым сигналом. Если переключатель режима работы (поз. 3) находится в положении «МД», то после первого знака индицируется точка, если переключатель находится в положении «Т», то эта точка отсутствует.

3. Если прибор после включения издает постоянный звуковой сигнал, то необходимо установить новый элемент питания.

4. Убедитесь в исправности электронной пересчетной схемы и таймера прибора, для чего переключатель режима работы (поз. 3) должен быть в положение «МД». Нажмите кнопку «контр.» (поз. 4) и удерживайте ее в нажатом состоянии до конца проведения контрольной проверки, а затем кратковременно нажмите кнопку «пуск» (поз. 5). На цифровом табло должны появиться три точки между цифровыми знаками и начаться отсчет чисел. Через (20 ± 5) с отсчет чисел должен прекратиться, окончание отсчета должно сопровождаться коротким звуковым сигналом, а на табло должно индицироваться число

– для двух детекторов – 1.024 – для четырех детекторов – 0.512

После окончания отсчета отпустите кнопку «контр.».

5. Если при проведении контрольного теста индицируемое число отличается от указанного выше повторить еще раз контрольную проверку, как указано в пункте 4.

Работа в режиме измерения мощности экспозиционной дозы γ -излучения.

1. Подготовьте прибор к работе как описано выше.
2. Нажмите кратковременно кнопку «пуск». При этом на цифровом табло должны появиться точки после каждого разряда

0.0.0.0.

и начаться счет импульсов.

3. Через 20 ± 5 секунд измерение закончится, что будет сопровождаться звуковым сигналом, а на цифровом табло фиксируется число с одной точкой, например

0.012

Это показание прибора соответствует мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в миллирентгенах в час (мР/ч). Для математической обработки результатов удобнее использовать целые числа, поэтому показания прибора необходимо умножить на 1000, что будет соответствовать мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в микрорентгенах в час (мкР/ч).

4. Показание на цифровом табло сохранится до повторного нажатия на кнопку «пуск», пока не будет выключен прибор.

5. Повторите измерение 10 раз. Для выполнения повторного измерения необходимо кратковременно нажать кнопку «пуск», не выключая прибор. Полученные результаты занесите в таблицу 14.1 (см. выше).

6. После проведения измерений выключите прибор выключателем питания.

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов.

Расчет оценок: среднего – \bar{Y} , дисперсии – $S^2(Y)$, среднего квадратического отклонения (ско) – $S(Y)$, коэффициента вариации $C(Y)$ по следующим формулам:

– среднее \bar{Y} :

$$\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i \quad (14.1)$$

где m – количество измерений (в нашем примере $m = 8$).

– дисперсия $S^2(Y)$:

$$S^2 \{Y\} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (14.2)$$

– среднее квадратическое отклонение (СКО):

$$S \{Y\} = \sqrt{S^2 \{Y\}} \quad (14.3)$$

– коэффициент вариации $C(Y)$:

$$C(Y) = \frac{S(Y)}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (14.4)$$

3. Расчет величины относительной погрешности измерений

– относительная доверительная ошибка:

$$\delta(Y) = \frac{2 \cdot C(Y)}{\sqrt{m}} \quad (14.5)$$

Проанализировать полученное значение, сравнив его с данными таблицы 14.2 и сделать вывод о точности полученных измерений.

Таблица 14.2 – Оценка точности результатов исследований

Относительная ошибка $\delta \{\bar{Y}\}$, %	точность
≤ 2	высокая
$2 \div 5$	средняя
$5 \div 10$	низкая
> 10	очень низкая (недопустимая)

4. Определить требуемое количество измерений на приборе при заданной точности ($\delta(Y) = 5\%$), т. е. необходимое количество повторных измерений для получения результатов со средней точностью (в формулу подставляем желаемое значение $\delta(Y)$)

$$m(Y) \geq \left(\frac{u\{P_D\} \cdot C(Y)}{\delta(Y)} \right)^2 \quad (14.6)$$

где $u\{P_D\}$ – квантиль распределения случайной величины (для нормального распределения значения квантиля представлены в таблице 14.3).

По результатам расчёта сделать вывод о количестве необходимых дополнительных измерений.

Таблица 14.3 – Квантиль нормального распределение случайной величины

Доверительная вероятность	Квантили $u_{\alpha/2}$
0,90	1,64
0,95	1,96
0,99	2,58
0,9973	3,00

5. Оценка однородности полученных данных (для измерений с двух приборов) проводят *по критерию Фишера*:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ при } S_1^2 > S_2^2$$

или

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2} \text{ при } S_2^2 > S_1^2$$

Выбрать из таблицы 5 критическое значение критерия Фишера F_T и сравнить его с расчетным F , сделать вывод.

Если $F < F_T$, то приборы дают однородные показания.

Если $F > F_T$, то приборы дают отличные друг от друга показания.

Таблица 14.4 – Критические значения критерия Фишера F_T

Степень свободы для меньшей дисперсии $f_1 = m_1 - 1$	Степень свободы для большей дисперсии $f_2 = m_2 - 1$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	61,4	99,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98

Контрольные вопросы:

1. Что такое радиоактивность?
2. Виды ионизирующих излучений.
3. Что такое гамма-излучение?

4. Экспозиционная доза.
5. Естественный фон излучения.
6. Искусственный фон излучения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 15. ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Цель работы: изучить характеристики дозиметрических приборов РАДЭКС РД1503 и РКСБ-104, научиться измерять мощность полевой эквивалентной дозы гамма-излучения

15.1 Основные сведения

При прохождении ионизирующих излучений через различные вещества их энергия поглощается этими веществами. Главным образом она затрачивается на ионизацию, то есть превращение атомов и молекул в ионы.

Энергия ионизирующего излучения, поглощённая единицей массы вещества, называется поглощённой дозой. Эта величина позволяет количественно оценить воздействие различных видов излучений в любой среде. В СИ поглощенную дозу излучения измеряют в греях (Гр). Один грей соответствует поглощенной дозе излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж ($1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$).

Внесистемная единица поглощенной дозы 1 рад. Один рад соответствует поглощённой дозе излучения, при которой веществу массой 1 г передается энергия ионизирующего излучения равная 100 эрг ($1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$). Таким образом: $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$.

Поглощённая доза может быть определена в любом веществе и создаётся всеми видами ионизирующих излучений (альфа-, бета-, гамма-излучениями, потоками нейтронов и других элементарных частиц).

Поглощённая доза, отнесённая ко времени поглощения, носит название мощности поглощённой дозы и измеряется в Гр/ч, Гр/с, мГр/ч, рад/с, рад/год и т. д.

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

Для оценки воздействия ионизирующих излучений на биологическую ткань стандартного состава используют эквивалентную дозу.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения H определяется как поглощённая доза излучения D , умноженная на взвешивающий коэффициент излучения WR и на модифицирующий фактор N (произведение эмпирических коэффициентов, которое в настоящее время принимается равным единице):

$$H = D \cdot W_R \cdot N = \sum_{j=1}^n D_j \cdot W_{Rj} \cdot N_j, \quad (15.1)$$

где j – индекс вида излучения.

Эквивалентная доза используется в радиационной безопасности для учёта вредных эффектов биологического воздействия различных видов ионизирующих излучений при хроническом облучении человека малыми дозами, не превышающими 250 мЗв/год. Её нельзя использовать для оценки последствий аварийного облучения человека, тогда используется только поглощённая доза.

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является Зиверт (Зв). Внесистемная единица – БЭР (биологический эквивалент рада).

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ БЭР}.$$

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

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

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

Отношение полевой эквивалентной дозы γ -излучения за определённый интервал времени к этому интервалу времени называется мощностью полевой эквивалентной дозы γ -излучения:

Мощность полевой эквивалентной дозы измеряется в Зв/ч, мЗв/ч, мкЗв/ч, БЭР/ч.

Соотношение между единицами мощности экспозиционной дозы и полевой эквивалентной дозы γ -излучения: $1 \text{ мкР/ч} = 0,01 \text{ мкЗв/ч}$ или $100 \text{ мкР/ч} = 1 \text{ мкЗв/ч}$.

Связь между системными и внесистемными единицами доз приведена в таблице 15.1.

Таблица 15.1 – Связь между системными и внесистемными единицами доз

Доза	Единица измерения		Соотношение единиц
	международная	внесистемная	
Экспозиционная	Кулон на кг воздуха, (Кл/кг)	Рентген, (Р)	1Кл/кг = 3876 Р
Поглощённая	Грей (Гр)	рад	1 Гр = 100 рад
Индивидуальные: эквивалентная эффективная ожидалась эффективная	Зиверт (Зв) Зиверт (Зв) Зиверт (Зв)	бэр бэр бэр	1 Зв = 100 бэр
Коллективные: эффективная ожидалась эффективная	человеко-зиверт (чел·Зв) (чел·Зв)	человеко-бэр (чел·бэр) (чел·бэр)	1 чел·Зв = = 100 чел·бэр

Биологический эффект воздействия ионизирующего вида излучения зависит от вида излучения, энергии частиц и гамма-квантов.

Средняя эквивалентная доза – среднее значение эквивалентной дозы НТ в ткани или органе Т с массой mt.

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

$$H_E = \sum_T H_T \cdot W_T. \quad (15.2)$$

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

Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) рекомендованы следующие значения взвешивающих коэффициентов для различных органов и тканей человека (табл.15.2).

Таблица 15.2 – Значения взвешивающего коэффициента WT (коэффициента радиационного риска) при равномерном облучении всего тела

Орган или ткань	WT
1	2
1. Красный костный мозг	0,12
2. Толстый кишечник	0,12
3. Легкие	0,12
4. Желудок	0,12

Окончание таблицы 15.2

1	2
5. Молочная железа	0,12
6. Остальные ткани*	0,12
7. Половые железы (гонады)	0,08
8. Мочевой пузырь	0,04
9. Пищевод	0,04
10. Печень	0,04
11. Щитовидная железа	0,04
12. Костная поверхность	0,01
13. Кожа	0,01
14. Головной мозг	0,01
15. Слюнные железы	0,05
Всего	1,00

*Остальные ткани: надпочечники, ткани экстрапортального отдела, желчный пузырь, сердце, почки, лимфоузлы, мышечная ткань, слизистая полости рта, поджелудочная железа, тонкий кишечник, селезенка, тимус, предстательная железа (мужчины), матка/шейка матки (женщины).

Используемые приборы:

Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503. Схема прибора представлена в лабораторной работе 14.

Прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений «РКСБ-104»

Прибор «РКСБ-104» (рис. 15.1) предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможность измерения.

- Мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения.
- Плотности потока бета-излучения с поверхности.
- Удельной активности бета-излучающих радионуклидов в веществах.

Технические характеристики:

Диапазон измерений мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – 0,1–99,99 мкЗв/ч.

Диапазон измерений плотности потока бета-излучения с поверхности – 0,1 – 99,99 1/(с · см²) или 6 – 6000 1/(мин · см²).

Диапазон измерений удельной активности бета-излучающих радионуклидов – 2 · 10³ – 2 · 10⁶ Бк/кг или 5,4 · 10⁻⁸ – 5,4 · 10⁻⁵ Ки/кг.

Диапазон энергии регистрируемых излучений: бета-излучения – 0,5–3,0 МэВ; гамма-излучения – 0,06–1,25 МэВ.

Пределы допускаемых значений основной погрешности измерений: мощности полевой эквивалентной дозы – до 40 %;

плотности потока бета-излучения – до 60 %; удельной активности – до 60 %.

При минимальном значении измеряемой величины требуется максимальное время проведения замеров.

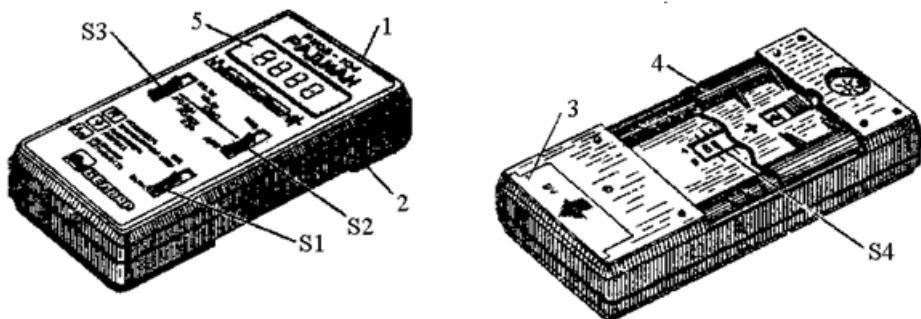


Рисунок 15.1 – Общий вид прибора «РКСБ-104»:

1 – корпус; 2 – задняя крышка; 3 – съёмная крышка отсека питания; 4 – крышка-фильтр; 5 – жидкокристаллический индикатор; S1 – выключатель питания; S2 – переключатель режима работы прибора; S3 – тумблер переключения поддиапазонов; S4 – кодовый переключатель рода работ

15.2 Выполнение работы

Измерение мощности полевой эквивалентной дозы с помощью индикатора радиоактивности РАДЭКС РД1503.

Подготовить прибор к работе.

1. Включите прибор, для чего нажмите большую кнопку (поз. 4 рис. 14.1).

2. Для входа в меню и изменения размерность измерений, а также других настроек, нажмите кнопку «МЕНЮ» (поз. 2 рисунок 14.1). Появляется содержание меню. По умолчанию:

- размерность – мкЗв/ч;
- порог – 0,30 мкЗв/ч;
- звук – тихо;
- подсветка – выключена.

4. Выберите с помощью кнопки «КУРСОР» необходимые для проведения эксперимента единицы измерения (мзР/ч) и нажмите кнопку «МЕНЮ» для изменения.

5. Вернитесь в главное меню, нажав кнопку «ВЫКЛ».

6. Проведите 10 циклов наблюдений (аналогично работе № 14), записывая показания каждого цикла измерений в таблицу 15.3.

8. После проведения измерений выключите прибор.

Таблица 15.3 – Результаты замеров

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность полевой эквивалентной дозы, мкЗв/ч										
РАДЭКС РД1503										
РКСБ-104										

Измерение мощности полевой эквивалентной дозы с помощью радиометра РКСБ-104

Снять заднюю крышку-фильтр (4) прибора. Для этого необходимо сместить вниз запирающую защелку (5) и, подав на себя верхнюю часть крышки-фильтра, извлечь её осторожным движением вверх.

Установить движки кодового переключателя S4 следующим образом (рис. 15.2):

S4.1, S4.3, S4.7, S4.8 в положение «0»;

S4.2, S4.4, S4.5, S4.6 в положение «1».

Установить на место крышку-фильтр.

Перевести органы управления прибора тумблера S2 и S3 в верхнее положение.

Перевести тумблер S1 (красного цвета) в верхнее положение («EIN»).

Через 28 секунд прибор выдаст прерывистый звуковой сигнал, в правом нижнем углу табло индикатора появиться символ «F».

Появившееся на табло индикатора 4-х разрядное число необходимо умножить на пересчётный коэффициент (который указывается тумблером S3 и составляет 0,01 при измерениях мощности полевой эквивалентной дозы), что даст величину в микрозивертах в час (мкЗв/ч).

Время индикации установившегося значения около 14 секунд, за это время необходимо занести полученный результат в таблицу 15.3.

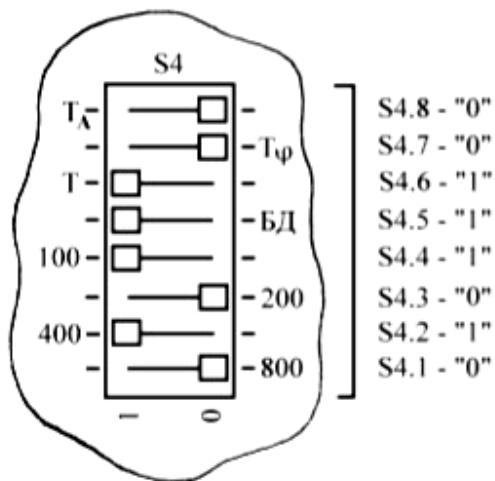


Рисунок 15.2 – Положение движков кодового переключателя

После прекращения звукового сигнала прибор автоматически повторяет измерение, получить 10 результатов и занести их в таблицу 15.3.

Выключить прибор, для чего перевести тумблер S1 (красного цвета) в нижнее положение («AUS»).

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности полевой эквивалентной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов. Поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

Контрольные вопросы:

1. Что такое поглощенная доза?
2. Что такое эквивалентная доза?
3. Взвешивающий коэффициент (коэффициент качества излучения).
4. Что такое эффективная эквивалентная доза?
5. Что такое коллективная эквивалентная доза?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 16. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕТА-АКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучить характеристики прибора АНРИ-01-02 «Сосна» и научиться измерять плотность потока бета-излучения с поверхности различных строительных материалов.

16.1 Основные теоретические положения

Загрязнение строительных материалов является следствием использования минерального сырья, содержащего естественные радионуклиды. Каждая тонна гранита содержит в среднем 10 г тория, 5 г урана и 1,3 г радия. Наиболее высокая удельная активность характерна для гранита, туфа, пемзы, меньше активность мрамора, известняка.

Вклад в годовую эквивалентную дозу за счет строительных материалов в среднем для населения Земли составляет 0,1–1,5 мЗв на человека. Наименьшие дозы получает население, проживающее в деревянных домах, – 0,5 мЗв/год, в кирпичных домах – 1,0 мЗв/год и в бетонных – 1,7 мЗв/год.

Используемые приборы:

Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА»

Порядок проведения работы

Измерение плотности потока бета-излучения с поверхности строительных материалов помощью прибора АНРИ-01-02 «Сосна».

1. Подготовьте прибор к работе как описано в лабораторной работе № 1.

2. Измерение прибором АНРИ-01-02 «Сосна».

3. Переведите переключатель режима работы в положение «МД» и включите прибор.

4. Поднесите прибор плоскостью задней крышки к исследуемой поверхности строительного материала на расстояние 0,5–1 см и кратковременно нажмите кнопку «пуск».

5. Выполните измерение и запишите показание прибора, умноженное на 1000 в таблицу 6.1 в строку $N\gamma$.

6. Повторите измерения 10 раз и запишите показания прибора умноженные на 1000 в таблицу 3.2 в строку $N\gamma$.

7. Откройте заднюю крышку прибора, повернув фиксатор.

8. Выполните измерение с открытой задней крышкой аналогично п. 4. Запишите показания прибора, умноженное на 1000 в таблицу 6.1 в строку $N\gamma + \beta$.

9. Повторите измерения 10 раз и запишите показания прибора в таблицу 3.2 в строку $N\gamma + \beta$.

10. Закройте заднюю крышку прибора, выключите прибор.

Таблица 16.1 – Результаты измерений

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Материал № 1										
$N\gamma$, имп.										
$N\gamma + \beta$, имп.										
Материал № 2										
$N\gamma$, имп.										
$N\gamma + \beta$, имп.										
Материал № 3										
$N\gamma$, имп.										
$N\gamma + \beta$, имп.										

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. работу № 14).

11. Величину плотности потока бета-излучения с поверхности вычислите по формуле:

$$\varphi = K_S (N_{\gamma+\beta} - N_\gamma), \text{ част/см}^2 \cdot \text{мин} \quad (16.1)$$

где N_γ – показание прибора с закрытой задней крышкой без учета запятой на табло; импульсов; $N_{\gamma+\beta}$ – показание прибора с открытой задней крышкой без учета запятой на табло; импульсов; K_S – коэффициент счета прибора; част/($\text{см}^2 \cdot \text{мин} \cdot \text{импульс}$). Коэффициент K_S для прибора составляет 0,5 част/($\text{см}^2 \cdot \text{мин} \cdot \text{импульс}$).

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, частиц/ $\text{см}^2 \cdot \text{мин}$ представлены в приложении В.

По полученным данным сделать вывод. *Если величина плотности потока получается отрицательная, следовательно, поверхность не имеет бета-загрязнения.*

Контрольные вопросы:

- Состав дозиметра-радиометра бытового АНРИ-01-02 «СОСНА».
- Какие виды β -излучений вы знаете?
- Что такое период полураспада?
- Что такое плотность потока частиц (гамма-квантов)?
- Единицы измерения плотности потока частиц (гамма-квантов)?

Список использованных источников

1. Ветошкин, А. Г. Инженерная защита окружающей среды от вредных выбросов : учебное пособие для студентов, обучающихся на уровне бакалавриата по направлениям подготовки 20.03.01 – «Техносферная безопасность», 05.03.06 – «Экология и природопользование», 18.03.02 – «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» / А. Г. Ветошкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 416 с.
2. ТКП 17.08-03-2006 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов механическими транспортными средствами в населенных пунктах. – Минск : Минприроды, 2006. – 18 с.
3. ГОСТ 31868-2012. Вода. Методы определения цветности : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 г. № 1516-ст : введен впервые : дата введения 2015-02-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – IV, 7 с.
4. СТБ 17.13.05-16-2010. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Качество воды. Определение мутности (прозрачности) = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Аналычны контроль і машторынг. Якасць вады. Вызначэнне мутнасці (празрыстасці) : государственный стандарт Республики Беларусь : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 30 декабря 2010 г. № 80 : введен впервые : дата введения 2010-12-30. – Минск : Госстандарт : БелГИСС, 2010. – IV, 8, [1] с.
5. СТБ ISO 10523–2009. Качество воды. Определение pH = Якасць вады. Вызначэнне pH : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 26 октября 2009 г. № 55 : введен впервые : дата введения 2009-10-26. – Минск : Госстандарт : БелГИСС, 2009. – IV, 11, [1] с
6. Химия воды. – URL: <http://wwtec.ru/index.php?id=207> (дата обращения: 17.08.2025). – Текст : электронный.
7. Измерение электролитической проводимости. – URL: https://www.ecoinstrument.ru/service/public/izmerenie_elektroliticheskoy_provodimosti/ (дата обращения: 27.08.2025). – Текст : электронный.

8. Халилов, Ш. А. Безопасность жизнедеятельности : учебное пособие / Ш. А. Халилов, А. Н. Маликов, В. П. Гневанов ; под ред. Ш. А. Халилова. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. – 576 с. – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/1937181> (дата обращения: 11.09.2024). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

9. Николайкин, Н. И. Экология : учебник / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – 9-е изд., перераб. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 615 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – DOI 10.12737/textbook_59424461554366.38209629. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1914174> (дата обращения: 11.09.2025). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

10. Об утверждении Санитарных норм и правил. Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь: постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 20 нояб. 2012 г., № 180 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21226679p>. (дата обращения: 22.06.2025). – Текст : электронный.

11. Безопасность жизнедеятельности человека. Практикум: учеб.-метод. пособие / З. С. Ковалевич и [др.]. – Минск: Международный ун-т «МИТСО», 2015. – 316 с.

12. Семенов, И. П. Сооружения по очистке хозяйствственно-бытовых сточных вод и оценка эффективности их работы: метод. рекомендации / И. П. Семенов, И. В. Скоробогатая. – Минск: БГМУ, 2017. – 28 с. – URL: <http://rep.bsmu.by/bitstream/handle/BSMU/17789/978-985-567-712-4.Image. Marked.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (дата обращения: 25.07.2025). – Текст : электронный.

13. О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 26 мая 2017 г., №16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: http://www.pravo.by/upload/docs/op/W21732141_1497992400.pdf. – (дата обращения: 22.06.2025). – Текст : электронный.

14. Основы экологии : практикум для студентов небиологических специальностей / авт.-сост. : В. Е. Савенок, А Н. Вакар. – Витебск : УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2009. – 123 с.

15. Экологические нормы и правила охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух (в том числе озоновый слой). Правила эксплуатации газоочистных установок: ЭкоНиП 17.08.06-002-2018. – Введ. 08.11.2018. – Минск: Минприроды, 2018. – 33 с.

16. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий / Департамент по энергоэффективности Госкомитета по стандартизации Республики Беларусь. – Минск, 2017. – 124 с.

17. Об утверждении Инструкции о порядке расчета и установления средних нормативов потребления тепловой энергии на отопление 1 кв. метра общей площади жилого помещения и подогрев 1 куб. метра воды и нормативов фактического потребления тепловой энергии на отопление 1 кв. метра общей площади жилого помещения и подогрев 1 куб. метра воды : постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Респ. Беларусь, 1 август 2016 г., №19 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631266>. – (дата обращения: 22.06.2025). – Текст : электронный.

18. Пути снижения энергопотребления зданиями – URL: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013007994>. – (дата обращения: 25.08.2025). – Текст : электронный.

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

Приложение А

Таблица А.1 – Удельные выбросы веществ группы 1 и потребление топлива в зависимости от скорости движения транспортного потока, г/авт.км

Рас- чет- ная мо- дель	Наимено- вание вещества и потребление топлива	Скорость, км/ч										
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
ЛБ	CO	32,1	17,1	11,8	9,1	7,4	6,3	5,0	4,5	4,3	4,3	4,5
	NOx	1,62	1,77	1,94	2,12	2,32	2,53	2,76	3,00	3,25	3,52	3,81
	VOC	3,9	2,4	1,8	1,5	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7
	CH ₄	0,21	0,17	0,13	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
	Потребление топлива	130, 5	82,2	69,3	61,7	55,8	51,6	49,2	48,4	49,4	52,1	56,5
ЛД	CO	1,44	0,97	0,77	0,65	0,57	0,52	0,47	0,44	0,41	0,38	0,36
	NOx	0,79	0,68	0,59	0,52	0,47	0,44	0,43	0,44	0,48	0,53	0,60
	VOC	0,53	0,28	0,19	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06
	CH ₄	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
	PM	0,37	0,30	0,24	0,20	0,17	0,14	0,13	0,13	0,15	0,17	0,21
	Потребление топлива	99,0	82,4	68,6	57,5	49,3	43,8	41,2	41,4	44,3	50,1	58,6
ГАБ	CO	43,7 6	31,9 4	22,3 3	14,9	9,73	6,74	5,96	7,39	11,0 3	16,8 7	24,9 2
	NOx	2,13	2,31	2,49	2,67	2,85	3,03	3,21	3,39	3,57	3,74	3,92
	VOC	4,37	3,40	2,57	1,88	1,32	0,89	0,60	0,45	0,43	0,54	0,80
	CH ₄	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
	Потребление топлива	175, 9	148, 3	125, 1	106, 1	91,4	81,0	74,9	73,1	75,6	82,3	93,4
ГАД	CO	1,59	1,40	1,24	1,12	1,05	1,01	1,02	1,06	1,14	1,27	1,43
	NOx	4,02	3,07	2,29	1,67	1,22	0,93	0,80	0,83	1,03	1,39	1,92
	VOC	0,21	0,23	0,29	0,38	0,51	0,68	0,87	1,11	1,38	1,68	2,02
	CH ₄	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	PM	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38
	Потребление топлива	125, 8	104, 7	88,1	75,7	67,8	64,2	64,9	70,0	79,5	93,3	111, 5
ГД	CO	7,53	4,65	3,51	2,88	2,46	2,17	1,95	1,78	1,64	1,52	–
	NOx	17,0 8	10,2 7	7,62	6,17	5,24	4,29	4,13	4,09	4,17	4,37	–
	VOC	5,32	2,90	2,03	1,58	1,30	1,10	0,96	0,86	0,77	0,71	–
	CH ₄	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	–
	PM	1,81	1,09	0,81	0,66	0,56	0,49	0,44	0,40	0,37	0,34	–
	Потребление топлива	345, 2	245, 7	201, 4	174, 9	156, 8	147, 0	156, 8	169, 1	183, 9	201, 3	–
АГ	CO	10,6 2	6,34	4,69	3,78	3,20	2,80	–	–	–	–	–
	NOx	27,0 2	18,8 6	15,2 9	13,1 7	11,7 3	10,6 7	–	–	–	–	–
	VOC	4,07	1,99	1,31	0,98	0,78	0,64	–	–	–	–	–
	CH ₄	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	–	–	–	–	–
	PM	1,44	0,87	0,64	0,52	0,44	0,39	–	–	–	–	–
	Потребление топлива	507, 5	376, 2	315, 8	278, 9	253, 3	234, 1	–	–	–	–	–
АМ	CO	9,24	5,16	3,67	2,89	2,39	2,05	1,80	1,61	1,46	1,34	1,23
	NOx	27,78	17,63	13,51	11,19	9,66	8,26	7,95	7,84	7,94	8,23	8,72
	VOC	5,74	3,10	2,16	1,68	1,38	1,17	1,02	0,91	0,82	0,74	0,68
	CH ₄	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
	PM	1,70	1,02	0,76	0,61	0,52	0,45	0,41	0,37	0,34	0,31	0,29

Продолжение таблицы А.1

Расчетная модель	Наименование вещества и потребление топлива	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
		Потребление топлива	554,0	381,1	306,2	262,2	232,4	214,6	202,0	198,3	203,6	217,8	241,0
М	CO	19,72	21,14	22,36	23,38	24,20	24,82	25,49	26,14	26,81	27,50	28,21	—
	NOx	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	—
	VOC	16,36	13,32	10,98	9,34	8,40	8,16	8,40	8,33	8,31	8,36	8,47	—
	CH4	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	—
	Потребление топлива	39,0	34,9	32,0	30,4	30,0	30,9	32,4	34,0	35,5	37,0	38,3	—

Таблица А.2 – Удельные выбросы загрязняющих веществ при остановке (торможении – разгоне) транспортных средств, г/ост.

Расчетная модель	CO	NOx	VOC	PM	Топливо
М	1,2	0,2	0,2	—	12
ЛБ	3,4	0,5	0,7	—	28
ЛД	1,0	0,25	0,35	0,1	25
ГАБ	18	4,0	1,3	—	40
ГАД	2,4	2,6	0,6	0,2	35
ГД	3,3	3,6	0,8	0,25	70
АГ	3,6	3,9	1,5	0,3	80
АМ	3,5	3,7	1,5	0,3	75

Таблица А.3 – Поправочные коэффициенты, учитывающие зависимость выбросов веществ при остановке МТС от скорости движения транспортного потока

	Изменение скорости движения при торможении – разгоне, км/ч									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Поправочный коэффициент	0,21	0,43	0,64	0,85	1,06	1,28	1,49	1,70	1,91	2,13

Таблица А.4 – Удельные выбросы загрязняющих веществ при задержке движения (работе на холостом ходу), г/мин

Расчетная модель	CO	NOx	VOC	PM	Топливо
М	4,2	0,02	0,35	—	14
ЛБ	2,8	0,05	0,85	—	28
ЛД	1,2	0,30	0,25	0,01	20
ГАБ	4,5	0,05	2,3	—	35
ГАД	1,5	0,45	0,12	0,01	30
ГД	2,9	0,93	0,3	0,035	60
АГ	4,6	0,60	0,5	0,03	70
АМ	4,6	0,60	0,5	0,03	70

Таблица А.5 – Поправочные коэффициенты, учитывающие зависимость выбросов и потребление топлива от наличия в потоке легковых автомобилей с неразогретыми (холодными) двигателями

Расчетная модель	Наименование вещества и потребление топлива	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Ср. За год
ЛБ	CO	2,13	1,90	1,69	1,37	1,26	1,21	1,21	1,13	1,34	1,51	1,69	1,90	1,45
	NOx	1,06	1,05	1,03	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,05	1,02
	VOC	1,75	1,60	1,46	1,25	1,17	1,14	1,14	1,09	1,23	1,34	1,46	1,60	1,30
	CH ₄	1,75	1,60	1,46	1,25	1,17	1,14	1,14	1,09	1,23	1,34	1,46	1,60	1,30
ЛД	CO	1,38	1,30	1,23	1,12	1,09	1,07	1,07	1,04	1,11	1,17	1,23	1,30	1,15
	NOx	1,13	1,10	1,07	1,03	1,02	1,01	1,01	1,00	1,03	1,05	1,07	1,10	1,04

Приложение Б

Таблица Б.1 – 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	Грудинка свинины с/к	63,3	8,9	0,0	605
Грудинка свиная сырая	45,0	12,0	1,0	458	Консервы «Завтрак туриста» из говядины	14,9	20,5	0,2	217
Сало сырое	89,0	3,0	0,0	812	Консервы «Завтрак туриста» из свинины	31,0	16,9	0,2	347
Сердце свиное	4,0	16,2	2,6	101	Консервы «Паштет мясной» из говядины	23,3	16,1	0,4	275
Язык говяжий	12,1	16,0	2,2	173	Голень индейки с кожей сырая	7,0	20,0	0,0	144
Язык свиной	16,0	15,9	2,2	208	Белое мясо индейки сырое	2,0	24,0	0,0	115
«Брауншвейгская» с/к колбаса	42,2	27,7	0,2	491	Утки 1 кат.	38,0	15,8	0.0	405
«Одесская» п/к колбаса	38,1	14,8	0,3	402	Печень курицы сырая	5,0	17,0	0,0	116

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
«Охотничьи» колбаски п/к	40,0	25,3	0,3	463	Бройлеры (цып.) 1 кат.	16,1	18,7	0,0	220
«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	Кролик сырой (отварной)	8,4(10,4)	30,2(25,5)	0,0	205 (194)
Желудок курицы сырой	2,0	18,0	0,0	94	Котлеты из индейки (кур)	12,2(10,4)	18,6(18,2)	8,7(13,8)	220(222)
Сердце курицы сырое	9,0	16,0	1,0	153	Индейка отварная	19,8	23,6	0,0	273
Курица гриль	0,0	27,1	13,5	237	Гуси 1 кат.	39,0	15,2	0,0	412
Курица отварная	17,0	22,6	0,0	244	Индейка целиком сырая	7,0	28,9	0,0	187
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 ванил. 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

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Простокваша жирности 2,5 %	2,5	2,9	4,1	53	Творог «Столовый» 2,0 % (5 %) жирности	2,0 (5,0)	20,0(21)	3,0	114
Ряженка жирности 2,5 %	2,5	2,9	4,2	54	Творог 9,0 % жирности	9,0	18,0	3,0	169
Сметана жирности 10,0 %	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 сырчужный 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 сырчужный 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 (горбушки) 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 атлантич.	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
Сайды свежая	2,0	38,0	0,0	178	Кальмар (мясо)	2,2	18,0	2,0	100

Продолжение таблицы Б.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)
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
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 затяжное 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 высш. сорта	0,8	7,6	49,2	235

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Сушки простые из муки высшего сорта	1,2	10,7	71,2	339	Хлеб «Бородинский»	1,3	6,8	39,8	201
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 свежий (жарен.)	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, консервы	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)

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
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
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 (чернослив)	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)

Окончание таблицы Б.1

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Грибы опята	1,2	2,2	0,5	22	Грибы шампиньоны	1,0	4,3	0,1	27
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 минеральная «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 ЖИЗНEDЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Практикум

Составитель:
Скобова Наталья Викторовна

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

Подписано к печати 09.12.2025. Формат 60x90¹/16. Усл. печ. листов 8,6.
Уч.-изд. листов 10,9. Тираж 35 экз. Заказ № 234.

Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет»
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017