

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»



Tempus

ЭКОЛОГИЯ

*Методические указания
к лабораторным работам для студентов,
обучающихся по российским образовательным программам*

Часть 1



Могилев 2014

УДК 504+502.3

ББК 20.1

Э 40

Рекомендовано к опубликованию
Центром менеджмента качества образовательной деятельности
ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Одобрено кафедрой «Безопасность жизнедеятельности»
«21» января 2014 г., протокол № 6

Издание осуществлено при поддержке программы TEMPUS.

Составители: канд. с.-х. наук, доц. А. В. Щур;
канд. вет. наук Т. Н. Агеева;
ст. преподаватель И. В. Шилова;
ст. преподаватель И. Н. Фойницкая

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е. Е. Корбут

Методические указания предназначены к лабораторным работам для
студентов, обучающихся по российским образовательным программам.

Учебное издание

ЭКОЛОГИЯ

Часть 1

Ответственный за выпуск

А. В. Щур

Технический редактор

А. А. Подошевка

Компьютерная верстка

Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл.-печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.

Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2014

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Определение кислотности растворов с помощью рН-метра рН-150МП	4
1.1 Величина рН воды	4
1.2 Величина рН почвы.....	7
1.3 Принцип работы рН-метра рН-150МП.....	7
1.4 Порядок проведения измерений.....	10
2 Лабораторная работа № 2. Измерение концентрации нитратов в воде и продуктах питания	11
2.1 Общие сведения.....	12
2.2 Принцип работы нитратомера.....	17
2.3 Порядок проведения измерений	18
3 Лабораторная работа № 3. Основы радиоэкологии.....	20
3.1 Общие сведения	20
3.2 Особенности действия излучения на организм	23
3.3 Источники радиации	26
3.4 Порядок выполнения работы	28
3.5 Подготовка к работе	29
4 Лабораторная работа № 4. Расчет концентраций загрязняющих веществ в сбросе сточных вод машиностроительного предприятия	37
4.1 Общие сведения	37
4.2 Пример расчета допустимого состава сточных вод	41
4.3 Практическая часть	43
Список литературы	47

1 Лабораторная работа № 1. Определение кислотности растворов с помощью рН-метра рН-150МП

Цель работы:

- изучить влияние увеличения кислотности на компоненты окружающей среды;
- изучить устройство рН-метра рН-150МП;
- провести измерения кислотности воды.

1.1 Величина рН воды

Для удобства отображения уровня кислотности воды был введен специальный показатель, названный рН и представляющий собой логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком, т. е. $pH = -\log[H^+]$.

Величина рН определяется количественным соотношением в воде ионов H^+ и OH^- , образующихся при диссоциации воды. Если в воде пониженное содержание свободных ионов водорода ($pH > 7$) по сравнению с ионами OH^- , то вода будет иметь щелочную реакцию, а при повышенном содержании ионов H^+ ($pH < 7$) – кислую. В идеально чистой дистиллированной воде эти ионы будут уравнивать друг друга. В таких случаях вода нейтральна и $pH = 7$.

Шкала рН имеет пределы от 0 до 14. Средняя точка на шкале – семь. При величине рН, равной семи, среда не является ни кислой, ни щелочной. Все цифры меньше семи показывают, что среда кислая, а все цифры больше семи свидетельствуют о щелочности среды.

В зависимости от уровня рН воды можно условно разделить на несколько групп (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Группы в зависимости от уровня рН воды

Группа	Величина рН
Сильнокислые воды	< 3
Кислые воды	3–5
Слабокислые воды	5–6,5
Нейтральные воды	6,5–7,5
Слабощелочные воды	7,5–8,5
Щелочные воды	8,5–9,5
Сильнощелочные воды	> 9,5

рН воды – один из важнейших рабочих показателей качества воды, во многом определяющих характер химических и биологических процес-

сов, происходящих в воде. В зависимости от величины рН может изменяться скорость протекания химических реакций, степень коррозионной агрессивности воды, токсичность загрязняющих веществ и т. д. Контроль уровня рН особенно важен на всех стадиях водоочистки, т. к. его «уход» в ту или иную сторону может не только существенно сказаться на запахе, привкусе и внешнем виде воды, но и повлиять на эффективность водоочистных мероприятий. Оптимальная требуемая величина рН варьируется для различных систем водоочистки в соответствии с составом воды, характером материалов, используемых в системе распределения, а также в зависимости от применяемых методов водообработки.

Обычно уровень рН находится в пределах, при которых он непосредственно не влияет на потребительские качества воды. Так, в речных водах рН обычно находится в пределах 6,5–8,5, в атмосферных осадках – 4,6–6,1, в болотах – 5,5–6,0, в морских водах – 7,9–8,3.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) не предлагает какой-либо рекомендуемой по медицинским показателям величины для рН. Для питьевой и хозяйственно-бытовой воды оптимальным считается уровень рН в диапазоне от 6 до 9.

Кислотный дождь – все виды метеорологических осадков (дождь, снег, град, туман, дождь со снегом), при которых наблюдается понижение рН дождевых осадков из-за загрязнений воздуха кислотными оксидами (обычно – оксидами серы, оксидами азота).

Проблема кислотных осадков и асидификации окружающей среды является одной из глобальных экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды.

Асидификация – это процесс повышения кислотной реакции компонентов окружающей среды (атмосферы, гидросферы и литосферы), а также усиления воздействия повышенной кислотности на различные природные явления.

В естественных условиях атмосферные осадки обычно имеют нейтральную ($\text{pH} \approx 7$) или слабокислую ($\text{pH} = 5,6$) реакцию. Это происходит вследствие того, что природные вещества атмосферы, такие как углекислый газ, вступают в реакцию с дождевой водой. В реальной жизни показатель кислотности дождевой воды в одной местности может отличаться от показателя кислотности дождевой воды в другой местности.

Кислотными осадками считают такие осадки, рН которых равен 5 и менее. Кислотные осадки бывают двух типов:

- 1) сухие, обычно выпадающие вблизи источника их поступления в атмосферу;
- 2) влажные (дождь, снег и пр.), распространяющиеся на большие расстояния.

Основными компонентами кислотных осадков являются аэрозоли аммиака, оксиды серы и азота, которые при взаимодействии с атмосферной, гидросферной или почвенной влагой образуют серную, азотную и

другие кислоты. Источниками антропогенных кислотных осадков являются процессы сжигания топлива – угля, нефти, мазута в ТЭС, котельных, металлургии, нефтехимической промышленности, на транспорте и пр.

Северная Америка и Европа выбрасывают в атмосферу около 70 % общемирового объема кислотообразующих веществ. Основными областями распространения кислотных осадков являются промышленные районы Северной Америки, Западной Европы, Японии, Кореи и Китая, России.

Сера и окисленный азот на территорию Беларуси в основном попадает из стран-соседей – Польши, Германии, Украины. Средняя кислотность осадков в Беларуси колеблется от 5,1 до 6,2.

При оценке реального воздействия кислотных осадков на компоненты ландшафта необходимо учитывать химический состав почв и их способность противостоять внешним воздействиям (буферная способность почв). В зонах достаточного и избыточного увлажнения, к которым относятся и территория Беларуси, воздействие кислотных осадков на почвы, леса и водные объекты сказывается наиболее неблагоприятным образом.

Контроль качества воды предусматривает контроль уровня кислотности воды. Нормы предельно допустимой концентрации (ПДК) для уровня кислотности в разных странах представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Установленные или рекомендуемые ПДК рН

Анализируемая среда	Значение рН
Вода питьевая	6,5–8,5 (РБ) 6,5–9,2 (международный стандарт) 7,0–8,5 (европейский стандарт)
Вода водопроводная	6,0–8,5 (США)
Водоемы	6,5–8,5 (РБ) 6,0–9,0 (США)
Сточные воды	6,5–9,0 (США) 6,0–9,0 (Великобритания)
Вода для с.-х. использования	4,5–9,0 (США)
Вода для технологических целей разных производств	6,5–7,0
Вода для пищевых производств	6,5–8,5
Вода для:	
котлов электростанций	8,0–9,6
металлургических	6,8–7,0
вискозы	7,8–8,3
дубления кож	6,0–8,0
прачечных	6,0–6,8
химических	6,2–8,7
цементных	7,0
нефтехимических	6,0–9,0
кондитерских	7,0
пивоваренных	6,5–7,0
Молоко	6,68–6,7

1.2 Величина рН почвы

Важный фактор, который следует принимать во внимание при оценке почвы, – величина рН. Так почвы могут быть:

- сильнокислые (3–4 рН);
- кислые (4–5 рН);
- слабокислые (5–6 рН);
- нейтральные (6–7 рН);
- щелочные (7–8 рН);
- сильнощелочные (8–9 рН).

Когда растения прекращают нормальное развитие, то специалисты устанавливают значение рН почвы. Величина рН может быть показателем определенной неупорядоченности в химическом балансе почвы, т. е. кислотно-щелочном равновесии, оказывающем влияние на способность растений поглощать удобрения и другие питательные вещества из почвы. По многочисленным наблюдениям, растения развиваются лучше всего, когда рН почвы находится в пределах от 6,5 до 7,0.

1.3 Принцип работы рН-метра рН-150МП

рН-метр рН-150МП предназначен для измерения в водных растворах органических и неорганических соединений активности рН только ионов водорода, окислительно-восстановительного потенциала E_h и температуры анализируемой среды t в режимах измерения рХ и E_h .

Прибор предназначен для применения на объектах эксплуатации, в лабораториях предприятий и научно-исследовательских учреждений различных отраслей хозяйства, в области охраны окружающей среды, а также для контроля кислотности молока и молочных продуктов на предприятиях молочной промышленности.

Анализируемая среда – водные растворы неорганических и органических соединений, технологические растворы, не образующие пленок и осадков на поверхности электрода, вязкие и твердые среды хлебопекарной промышленности, мясо и мясопродукты.

Кроме основных функций, указанных выше прибор обеспечивает также:

- измерение текущего значения электродвижущей силы (ЭДС) используемой электродной системы;
- определение и хранение в памяти действительных значений параметров pX_i , E_i , S_i конкретной электродной системы, используемой при эксплуатации;
- измерение температуры нежидких (например, воздушной) сред;
- измерение ЭДС любых источников с внутренним сопротивлени-

ем от 0 до 10^9 Ом.

В состав рН-метра рН-150МП входят:

- преобразователь;
- электрод комбинированный ЭСКЛ-08М.1;
- термокомпенсатор автоматический ТКА-7.3.

Электродная система при погружении в анализируемый раствор развивает ЭДС, линейно зависящую от активности ионов и температуры раствора. Контакт вспомогательного электрода с раствором осуществляется с помощью электролитического ключа, обеспечивающего истечение насыщенного раствора хлористого калия (КСl) из полости электрода в анализируемый раствор. Раствор КSl, непрерывно просачиваясь через электролитический ключ, предотвращает проникновение из анализируемого раствора в систему вспомогательного электрода посторонних ионов, которые могли бы изменить величину потенциала электрода. ЭДС электродной системы преобразуется и считывается на цифровом табло прибора.

В режиме рХ измеренное значение температуры раствора может использоваться для компенсации погрешности измерений, обусловленной зависимостью ЭДС электродной системы от температуры (далее – термокомпенсация). В приборе предусмотрены ручная и автоматическая термокомпенсация. При ручной термокомпенсации температура раствора измеряется контрольным термометром и вводится в измерительную схему преобразователя органами ручной установки температуры; при автоматической – температура измеряется с помощью датчика и вводится автоматически, т. е. датчик температуры одновременно является и автоматическим термокомпенсатором.

При измерении ЭДС других источников выход источника непосредственно (без электродной системы) подсоединяется ко входу преобразователя.

1.3.1 Конструкция. Прибор состоит из электродной системы, являющейся датчиком измерительного сигнала в режимах рХ и Еh, датчика температуры (далее – термокомпенсатор) и преобразователя, а также блока сетевого питания, который используется вместо автономного источника при работе в стационарных условиях.

Структурная схема прибора приведена на рисунке 1.1.

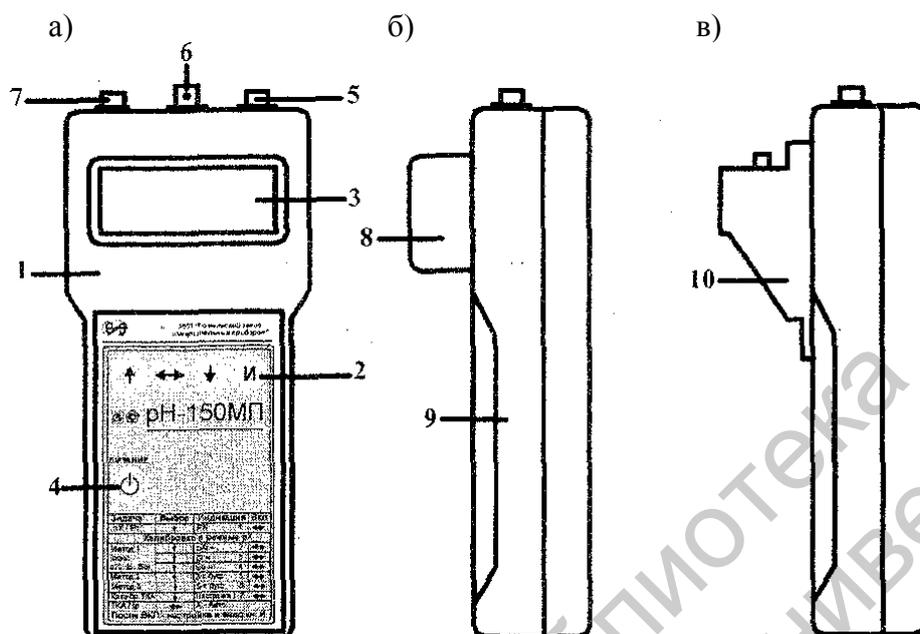
Электродная система состоит из измерительного электродов.

В качестве измерительного электрода выступает:

- для измерения рН – стеклянный электрод;
- для измерения Еh – редоксметрический электрод.

В качестве вспомогательного электрода для измерения рХ и Еh используется хлорсеребряный насыщенный электрод сравнения или комбинированный электрод, в котором измерительный и вспомогательный электроды объединены в единую конструкцию. Типы электродов различаются диапазонами измерений рХ и диапазонами рабочих температур (указыва-

ются в эксплуатационной документации на электрод).



а – внешний вид преобразователя; б – с автономным питанием; в – с блоком сетевого питания; 1 – крышка; 2 – органы управления (клавиатура); 3 – цифровое табло; 4 – выключатель питания; 5 – гнездо для подключения вспомогательного электрода; 6 – разъем для подключения комбинированного или измерительного электродов; 7 – разъем для подключения термокомпенсатора; 8 – крышка отсека для размещения автономного источника питания; 9 – корпус; 10 – блок сетевого питания

Рисунок 1.1 – Преобразователь

В качестве термокомпенсатора используется конструкция с чувствительным элементом из медного провода.

Для измерения одно- и двух валентных ионов в растворах применяется электродная система с ионоселективными измерительными электродами и преобразователь. В качестве вспомогательного электрода используется хлорсеребряный электрод.

1.3.2 Подготовка к работе составных частей прибора.

1.3.2.1 Подготовка к работе электродов. Извлечь комбинированный (измерительный и вспомогательный одновременно) электрод из сосуда с дистиллированной водой, в которой он хранится. Подключить его к гнезду «ИЗМ» рН-метра.

Пробка, закрывающая отверстие для заливки КСІ, при работе должна быть удалена.

1.3.2.2 Подготовка к работе штатива:

–установить в гнезда держателя штатива подготовленные к работе электроды и термокомпенсатор;

–установить на основании штатива стакан с раствором для вымачивания или дистиллированной водой и опустить в раствор погружную

часть электрода.

1.3.2.3 Проведение измерений. Измерения могут проводиться в двух режимах: режим рХ и режим Eh. В каждом из режимов на цифровом табло индицируется результат измерения величины рХ или Eh (в верхней строке) и значение температуры анализируемой среды (в нижней строке), измеренное датчиком температуры.

Измерения проводятся:

- в режиме Eh – без настройки;
- в режиме рХ – непосредственно после настройки одним из методов.

Перед погружением в анализируемую среду при перемещении из раствора более высокой концентрации в менее концентрированный раствор (с более высоким значением рХ) электродная система должна промываться дистиллированной водой и (желательно) анализируемым раствором.

При измерениях необходимо учитывать, что время установления потенциала измерительного электрода и инерционность термокомпенсатора ТКА-7.3 обычно не превышают 3 мин с момента погружения в анализируемую среду. Однако при измерении рН сильноокислых и сильнощелочных растворов при температурах, близких к 0 °С, время установления потенциала (соответственно, показаний табло) может достигать 10 мин.

1.4 Порядок проведения измерений

1 Измерительный электрод подключить к входу «ИЗМ». В качестве измерительного электрода используется электрод ЭСКЛ-08М.1. Автоматический термокомпенсатор ТКА-7.3 подключить к входу «ТКА». Термокомпенсацию используют при измерении рН стеклянными электродами.

2 рН-метр включить в сеть и прогреть в течение 15 мин.

3 Вставить электрод и термокомпенсатор в зажимы штатива.

4 Промыть электрод дистиллированной водой и удалить остатки воды фильтровальной бумагой.

5 Промыть электрод измеряемым раствором.

6 Погрузить электрод и термокомпенсатор в раствор.

7 Нажать кнопку включения. Табло отражает значение рН раствора.

8 Измерения провести 5 раз. Окончательное значение измеренной величины – среднее арифметическое из полученных значений.

9 Сравнить полученные значения с ПДК из таблицы 1.2 и сделать вывод о качестве воды и других продуктов.

10 В промежутках между измерениями электрод хранить в дистиллированной воде.

Контрольные вопросы

- 1 Основные показатели качества воды и методики их определения.
- 2 Методы снижения содержания нитратов.
- 3 Назначение и устройство нитратомера, принцип работы.
- 4 Порядок проведения измерений с помощью нитратомера.
- 5 Воздействие тяжелых металлов на организм человека.
- 6 Воздействие нитратов и нитритов на организм человека.
- 7 Понятие асидификации окружающей среды.
- 8 Последствия кислотных осадков.
- 9 Назначение и устройство рН-метра рН-150МП.
- 10 Принцип работы рН-метра рН-150МП.
- 11 Порядок проведения измерений на рН-150МП.

Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Назначение, устройство и принцип действия приборов.
- 3 Определение качества воды.
- 4 Результаты измерения заносят в таблицу 1.3
- 5 Выводы по работе.

Таблица 1.3 – Результаты измерения

Наименование образца	Показатель	Измеренное значение	Допустимое значение	Вывод

2 Лабораторная работа № 2. Измерение концентрации нитратов в воде и продуктах питания

Цель работы:

- получить представление о медицинских последствиях, связанных с загрязнением организма нитратами;
- ознакомиться с методами снижения содержания нитратов в пищевых продуктах растительного происхождения;
- ознакомиться с методами определения нитратов в воде и в продуктах питания и провести соответствующие измерения.

2.1 Общие сведения

Нитраты – соли и эфиры азотной кислоты, например NaNO_3 , KNO_3 , NH_4NO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$. Они являются нормальными продуктами обмена азотистых веществ любого живого организма – растительного и животного, поэтому «безнитратных» продуктов в природе не бывает. Даже в организме человека в сутки образуется и используется в обменных процессах 100 мг и более нитратов. Из нитратов, ежедневно попадающих в организм взрослого человека, 70 % поступает с овощами, 20 % – с водой, 6 % – с мясом и консервированными продуктами. Нитраты не относятся к ядовитым веществам, но представляют опасность тем, что из них образуются нитриты – соли азотистой кислоты. Именно нитриты могут оказывать токсическое действие на человека, как прямое, так и опосредованное, через образование других вредных веществ, например нитрозаминов. Нитриты опасней нитратов в 30 раз. В организме человека нитраты и нитриты быстро всасываются в желудочно-кишечном тракте. Нитраты выводятся с мочой и частично превращаются в нитриты, а нитриты, особенно при поступлении в больших количествах, реагируют с гемоглобином крови, образуя его соединение – метгемоглобин. Это вещество не может выполнять функции переносчика кислорода, как гемоглобин, что приводит к гипоксии (кислородному голоданию) тканей. В результате – ухудшение самочувствия, снижение работоспособности, общая слабость. У человека в крови в норме метгемоглобин может составлять до 2 % от общего количества гемоглобина. Прекрасным антидотом (противоядием) от метгемоглобинемии является обычная аскорбиновая кислота (витамин С). Если содержание метгемоглобина достигнет 10 %, то наблюдается бессимптомный цианоз (синюшность), при 20–50 % появляются выраженные признаки гипоксии – одышка, тахикардия, потеря сознания, при метгемоглобинемии свыше 50 % наступает смерть.

Однако негативная роль нитратов явно преувеличена. Достаточно вспомнить, как широко используется в клинической практике нитроглицерин и другие лекарственные формы нитратов без опасений интоксикации организма. Причина в том, что у взрослых людей под воздействием восстанавливающих ферментных систем метгемоглобин быстро превращается в оксигемоглобин (насыщенный кислородом гемоглобин). Иное дело – грудные дети, особенно до 3-месячного возраста, у которых нужные ферментные системы еще не сформированы. Поэтому в мире регистрировались отдельные случаи острых отравлений (метгемоглобинемии) младенцев питательными смесями, приготовленными на воде с высоким содержанием нитратов, а также при кормлении малышей пюре из шпината (шпинат обладает поистине уникальной способностью накапливать нитраты).

Нитраты содержатся в почве, природных водах, растительном и животном материале, а также в атмосферном воздухе (в невысоких концентрациях) при его загрязнении. Разложение органических остатков (расте-

ний, животных, микроорганизмов и др.) с образованием соединений азота, которые, в свою очередь, потребляются новыми растениями, микроорганизмами и т. д., – это сущность круговорота азота в природе. В результате деятельности нитрофицирующих бактерий из нитратов образуются нитриты, но их естественная концентрация в воде и растениях обычно очень мала. Помимо природного, имеется и другой источник попадания нитратов и нитритов в почву и грунтовые воды – антропогенный, т. е. связанный с деятельностью человека. Это городские отбросы, промышленные отходы, выхлопные газы и, конечно же, азотные удобрения. В промышленной сфере наибольшее поступление в окружающую среду связанного азота дают производства по переработке топлива, предприятия пищевой промышленности, нефтеперерабатывающие заводы.

Содержание нитратов в поверхностных и подземных водах варьирует в широких пределах в зависимости от геохимических условий, применения азотных удобрений, методов очистки сточных вод. В воде системы городского водоснабжения содержание нитратов обычно невысокое. Значительно большие концентрации нитратов обнаруживаются в грунтовых водах и колодезной воде в сельской местности, особенно в районах интенсивного земледелия и вблизи животноводческих комплексов. Нитраты, поступающие в организм человека с водой, имеют особое значение, т. к. они в 1,25 раза токсичнее, чем нитраты в продуктах питания. Нитраты легко усваиваются в организме человека, где они могут образовывать такие соединения, как нитриты, окислы азота, аммиак.

Об удобрениях следует сказать особо. В современном сельскохозяйственном производстве без них обойтись нельзя. Азот – это главный питательный элемент для растений, и для бедных азотом почв просто необходимо дополнительное внесение азотных удобрений. С давних пор в этом качестве использовались органические удобрения (навоз, птичий помет). Сейчас этот арсенал пополнился большим количеством минеральных удобрений (мочевина, нитрофоска и др.). Стремление получить высокий урожай нередко приводит к избыточному применению азотсодержащих удобрений, особенно органических, которые традиционно считаются безвредными. В результате обычный уровень содержания нитратов в возделываемых почвах и водоемах может значительно возрасти. Избыток удобрений, в том числе и органических, особенно в конце периода вегетации, когда растения их почти не усваивают, является основной причиной превышения их предельно допустимых концентраций в сельскохозяйственной продукции.

Способность к накоплению нитратов у разных растений существенно отличается. «Чемпионом» является шпинат. Много нитратов накапливают свекла, баклажаны, репа, укроп, немного меньше – капуста, салат, петрушка, морковь. Картофель, томаты, огурцы, горох умеренно аккумулируют эти соединения, а фрукты, ягоды и злаки – слабо. Из фруктов относительно «нитратными» зарекомендовали себя бананы и клубника.

Не только разные растения, но и отдельные части одного растения обладают различной способностью накапливать нитраты. В стебле укропа концентрация нитратов гораздо выше, чем в мелких веточках; в верхних листьях капустного кочана – в 2 раза больше, чем во внутренних. Капустная кочерыжка, сердцевина моркови, кончики свеклы, редиски, поверхностные слои картофеля и огурцов – места наибольшего содержания нитратов. В молочных продуктах и рыбе нитратов совсем мало, в свежем мясе – только следы.

Содержание нитратов в овощной продукции контролируется службой Государственного санитарно-эпидемиологического надзора, которая руководствуется нормативами, утвержденными Минздравом (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Предельно допустимые концентрации нитратов в растительных продуктах

Растительный продукт	Содержание нитратов, мг/кг
Картофель	150
Капуста белокочанная, кабачки	400
Морковь	200
Огурцы	150
Помидоры	100
Свекла	140
Лук репчатый (перо)	80 (400)
Арбузы, яблоки, груши, виноград	60
Листовые овощи (салат, петрушка, укроп, щавель)	1500
Перец сладкий	200
Редис	1500
Баклажаны	300
Вода	45

Для ранних овощей и фруктов, выращенных в защищенном грунте, нормативы увеличены вдвое.

Нитриты образуются из нитратов не только в почве и воде, но и в продуктах растениеводства в процессе их хранения и переработки – на поверхности поврежденных овощей, при их измельчении, при варке пищи в алюминиевой посуде. Например, при хранении свежего шпината в холодильнике в нем медленно уменьшается количество нитратов, но возрастает количество нитритов, достигая 3600 мг/кг сухой массы. Такой же процесс идет при хранении открытых банок консервированного пюре из шпината, особенно при комнатной температуре. Вот почему овощные соки и пюре следует готовить непосредственно перед употреблением, а на хранение закладывать неповрежденные чистые овощи.

Нитриты традиционно используют как консервант и стабилизатор

розово-красного цвета в колбасных изделиях, копченостях, мясных консервах, поэтому содержание в них нитритов самое высокое, в отличие от свежих овощей и фруктов, в которых этих соединений практически нет (таблица 2.2). Небольшое количество нитритов обнаруживается в сыре, т. к. их добавляют в молоко для подавления газообразующей микрофлоры (во избежание вспучивания сыра).

Таблица 2.2 – Содержание нитритов в некоторых пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание нитритов, мг/кг
Овощи	0,2
Фрукты	0,0
Молоко	0,4
Сыры	1,2
Мука пшеничная (ржаная)	1,2 (0,8)
Рыба речная (морская)	2,1 (0,7)
Мясные консервы	10,0
Колбасы, копчености	16,5

Процесс образования нитритов с помощью бактерий активно происходит и в организме человека – в полости рта и кишечнике. Поэтому необходимо тщательно соблюдать гигиену полости рта: чистить зубы 2 раза в день, своевременно лечить воспалительные процессы и кариес, особенно на фоне «нитратного» рациона питания (вегетарианство) или лечения каких-то заболеваний препаратами нитратов.

Таким образом, опасность нитратов для здоровья определяется не только их концентрацией в воде и пище, но и условиями, способствующими их переходу в нитриты. Поступление же нитритов оценить вообще очень сложно ввиду многообразия условий их образования.

Серьезную угрозу для здоровья людей представляет группа нитрозо-соединений, которые могут содержаться в некоторых продуктах и образовываться из нитритов уже в организме человека. Среди этих веществ выделяют два класса соединений с различными свойствами – нитрозамиды и нитрозамины. Около 80 % исследованных нитрозаминов и все нитрозамиды оказались канцерогенами и мутагенами, а в опытах на животных доказано еще тератогенное и эмбриотоксическое действие нитрозамидов. Причем нитрозамиды приводят чаще всего к раку печени, пищевода, дыхательной системы, почек, а нитрозамиды – периферической и центральной нервной системы, органов пищеварительного тракта. В эксперименте на животных показано, что имеется прямая связь между возникновением опухолей и количеством поступивших в организм нитрозо-соединений, причем низкие однократные дозы их при повторном поступлении суммируются и становятся опасными. Кроме того, эти вещества разрушают витамины А,

В, нарушают функцию щитовидной железы.

Нитрозосоединения трудно идентифицировать и определять в продуктах и окружающей среде.

Нитрозамины могут содержаться в сырой и копченой рыбе, копченых колбасах и других продуктах животного происхождения, соевом масле, табачном дыме, вине, пиве и даже в питьевой воде. В определенных условиях они способны образовываться в продуктах, а также прямо в желудке человека из неканцерогенных предшественников – нитратов и нитритов. Нитриты в кислой среде желудка соединяются с вторичными и третичными аминами (продуктами неполного расщепления белков), в результате чего образуется группа нитрозаминов. Нитритов, как указывалось ранее, мы получаем с пищей не так уж много, но в условиях пониженной кислотности желудочного сока под воздействием нитрифицирующих бактерий из нитратов (а их мы съедаем достаточно с растительной пищей) образуются нитриты. Вот по такой цепочке из вполне безобидных нитратов образуются сильнейшие канцерогены.

Активным ингибитором процессов нитрообразования является все та же аскорбиновая кислота. Источником вторичных аминов, кроме белковых продуктов (мясо, рыба, творог и др.), являются овощи, фруктовые соки. В среднем за один прием пищи человек получает до 100 мг вторичных аминов.

Нитрозосоединения могут образовываться из нитритов и при длительном хранении, а также в процессе приготовления пищи: жарении, варке, копчении, солении. Это вполне понятно: при приготовлении мясных блюд происходит распад некоторой части белков с образованием аминокислот и аминов, а дальше – цепочка: нитриты + амины = нитрозамины. Особенно активно процесс нитрообразования идет при копчении.

Повышенному образованию нитрозаминов в организме человека при соответствующей диете (овощные консервы, копчености и т. п.) способствует курение, а также употребление ряда лекарств – анальгина, тетрациклина, теофедрина, анаприлина и некоторых других.

Каждый человек должен, по возможности, ограничивать количество поступающих в организм нитрозаминов, нитратов и нитритов. Прежде всего следует выбирать овощи и фрукты с содержанием нитратов в пределах допустимых норм. В тех случаях, когда нет полной уверенности в качестве продуктов, можно использовать приемы, позволяющие уменьшить содержание в них нитратов, – отваривание, квашение, засолку, консервирование. Так, в консервированных огурцах уже на вторые сутки содержание нитратов снижается до 21,6 % от исходного уровня, а через неделю их нет вовсе.

Очень важно хорошо промывать свежие молодые овощи и правильно их обрабатывать: снимать верхние листья и удалять кочерыжку капусты, срезать кончики редиса, свеклы и других корнеплодов.

Нельзя часто употреблять копчености, мясные консервы, шпроты,

вареные колбасы. Гораздо полезней блюда из свежего мяса или рыбы. Нужно обязательно использовать в питании продукты, богатые витаминами-антиоксидантами – А, С, Е, которые предотвращают образование нитрозаминов.

Методы кулинарной обработки продуктов позволяют снизить содержание нитратов в них:

- очистка и удаление наиболее нитратных частей растения;
- мытье и вымачивание продукта;
- отваривание.

При кипячении воды нитраты из нее *не удаляются*.

На промышленном уровне разрабатываются и внедряются новые технологии при производстве копченостей и консервов, применяются безнитритные добавки к колбасам, позволяющие сохранить их товарный вид, не ухудшая качества.

Таким образом, контроль химического состава природных вод и продуктов питания приобретает первостепенное значение.

2.2 Принцип работы нитратомера

Общий вид нитратомера представлен на рисунке 2.1. Нитратомер состоит из преобразователя 1, электродной системы 3, штатива 4 для крепления электродов и термокомпенсатора 2.

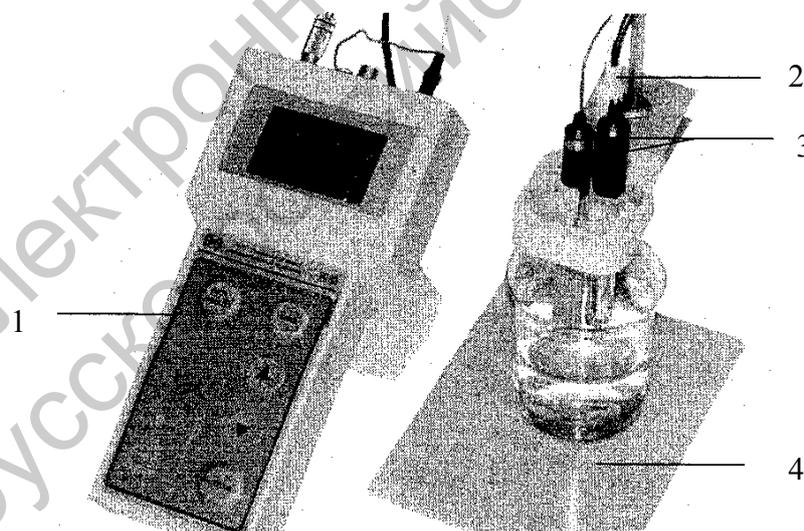


Рисунок 2.1 – Преобразователь измерительный

Преобразователь обеспечивает работу с электродными системами, для которых координаты изопотенциальной точки не нормируются (в режиме рХ). В преобразователе предусмотрено преобразование измеряемой величины из единиц активности ионов в единицы концентрации. Преобра-

зователь обеспечивает индикацию показаний в режиме Sx с точностью $\pm 5\%$ от значения рХ, выводимого на дисплей. В основу работы нитратомера положен потенциометрический метод измерения. Измеряя электродвижущую силу (ЭДС) E (условное обозначение измеряемой величины на индикаторе – mV) электродной системы, можно определить активность ионов NO_3^- (условное обозначение измеряемой величины на индикаторе – рХ) и их массовую концентрацию (условное обозначение измеряемой величины на индикаторе – pg/kg, mg/kg, g/kg). Для измерения E используется электродная система, которая состоит из измерительного электрода и электрода сравнения. Электродная система при погружении в контролируемый раствор развивает E, в общем случае линейно зависящую от рХ.

Электрод сравнения обеспечивает стабильный электрический контакт электродной системы с общим проводом измерительного входа нитратомера.

Точка, в которой ЭДС электрода не зависит от температуры, называется *изопотенциальной*. Величины E_i и pX_i называются координатами изопотенциальной точки. В связи с тем, что для нитратных измерительных электродов, координаты изопотенциальной точки (E_i , pX_i) находятся далеко за пределами рабочей зоны, в нитратомере применен способ определения рХ по зависимости E электродной системы от рХ реальных настроечных растворов и не используется автоматическая термокомпенсация.

2.3 Порядок проведения измерений

2.3.1 Подготовка электродов к работе.

2.3.1.1 Измерительный электрод (ЗМ-NO3-07CP) следует закрепить в штативе и подключить к гнезду «ИЗМ» преобразователя. Электрод сравнения (ЭВЛ-1МЗ.1) необходимо также закрепить в штативе и подключить к гнезду «ВСП» преобразователя, вынув резиновую пробку в боковой стенке электрода. При этом оба электрода закрепляются в штативе.

Электрод сравнения (ЭВЛ-1МЗ.1) следует помещать в раствор только на время измерения во избежание попадания в раствор значительного количества хлористого калия.

2.3.1.2 Перед настройкой нитратомера измерительный электрод тщательно отмывают (при перемешивании) в стакане с дистиллированной водой до максимального значения потенциала (2–3 раза по 5–10 мин), затем в растворе низшей концентрации.

При переходе к растворам высшей концентрации отмывка в дистиллированной воде не требуется, а только лишь в последующем растворе.

2.3.2 Подготовка нитратомера к работе.

2.3.2.1 Включение произвести коротким нажатием кнопки «ВКЛ/ВЫКЛ». После включения на дисплее отображается информация о

версии программы, затем нитратомер автоматически переключается в режим работы, имевший место при предыдущем выключении.

2.3.2.2 Установить электродную систему и датчик температуры в держатель штатива и поместить их в анализируемый раствор.

2.3.2.3 При эксплуатации нитратомера для его настройки используют настроечные растворы.

2.3.2.4 В промежутках между измерениями измерительный электрод хранить в растворе для вымачивания, т. е. в растворе KNO_3 с концентрацией 0,1 моль/кг H_2O . Вспомогательный электрод можно хранить в сухом виде с закрытой пробкой либо в насыщенном растворе KCl .

2.3.2.5 В процесс эксплуатации могут изменяться характеристики электрода, поэтому его необходимо периодически калибровать.

2.3.3 Подготовка проб продуктов питания к работе.

2.3.3.1 На 20 г свежеразмолотых плодов или овощей наливают 100 мл 1-процентного раствора алюмокалиевых квасцов. Анализ проводят в стаканчиках на 100 мл, взбалтывают 3–5 мин.

2.3.3.2 В стакан с анализируемой средой помещают электроды.

2.3.3.3 Результаты измерения заносят в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты измерения

Наименование продукта	Измеренное содержание нитратов, мг/кг	Допустимое содержание нитратов, мг/кг	Заключение

Контрольные вопросы

- 1 Воздействие нитратов и нитритов на организм человека.
- 2 Воздействие нитрозаминов и нитрозамидов на организм человека.
- 3 Методы снижения содержания нитратов.
- 4 Назначение и устройство нитратомера, принцип работы.
- 5 Порядок проведения измерений с помощью нитратомера.

3 Лабораторная работа № 3. Основы радиозкологии

Цель работы: ознакомиться с источниками радиации и их действием на человека и окружающую среду.

3.1 Общие сведения

Радиоактивность – это способность некоторых неустойчивых ядер самопроизвольно превращаться в ядра других элементов с испусканием различных видов радиационных излучений.

При этом различают два вида радиоактивности:

1) *естественную*, наблюдающуюся у нестабильных изотопов атомов, существующих в природе, сопровождаемых испусканием альфа-, бета-частиц и фотонов большой энергии (гамма-излучением);

2) *искусственную*, наблюдающуюся у изотопов, образующихся в результате ядерных реакций, где ядра испускают в основном бета-частицы, сопровождаемые почти всегда гамма-излучением.

Ионизирующее излучение (ИИ) – это излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию в этой среде ионов разных знаков и свободных радикалов.

Альфа-излучение – это поток альфа-частиц, испускаемых при радиоактивном распаде, а также при ядерных реакциях и превращениях. Альфа-частицы *обладают сильной ионизирующей и незначительной проникающей способностями*. Пробег в воздухе частиц – 2–9 см, в биологической ткани – 0,02–0,06 мм. Они задерживаются листом бумаги, тканью одежды. Альфа-излучение особо опасно при попадании его источника внутрь организма с пищей или с вдыхаемым воздухом. Альфа-частица – это ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$, состоящее из двух протонов и двух нейтронов.

Бета-излучение – это поток электронов или позитронов, летящих с большой скоростью, близкой к скорости света. Бета-частицы испускаются ядрами радиоактивных элементов при бета-распаде. Их *ионизирующая способность меньше, чем у альфа-частиц, но проникающая способность во много раз больше и составляет десятки сантиметров*. В биологической ткани они проникают на глубину до 2 см, в воздухе – от нескольких сантиметров до 3 м. Одеждой задерживаются только частично. Бета-излучение опасно для здоровья человека как при внешнем, так и внутреннем облучении.

Гамма-излучение – это электромагнитное излучение (длина волны 10^{-10} – 10^{-14} м, т. е. близка к рентгеновскому излучению), возникающее в некоторых случаях при альфа-, бета-распаде и аннигиляции частиц. *Проникающая способность гамма-излучения значительно больше, чем у вышеперечисленных видов излучений. Глубина распространения гамма-квантов в воздухе может достигать сотен и тысяч метров. Ионизирующая способ-*

ность косвенная, поэтому значительно меньше, чем у вышеперечисленных видов излучений. Часть гамма-квантов проходит через биологическую ткань, другая поглощается ею.

Хотя радиационные воздействия в той или иной мере сопровождают человека с давних времен, но все же по своей природе радиация вредна для организма, особенно в случае превышения допустимых норм. Мера воздействия ионизирующего излучения на вещество не поддается простому определению из-за сложности и многообразия возбуждаемых при этом процессов.

В результате исследований сложилось представление о величинах, которые способны дать количественную оценку возбуждаемому в веществе радиационному эффекту.

К таким величинам относятся:

- экспозиционная доза X;
- поглощенная доза D;
- мощность дозы P;
- эквивалентная доза H;
- эффективная эквивалентная доза H_е.

Доза – это порция. Предмет дозиметрии – измерения и расчеты доз ионизирующих излучений. Доза излучения – мера действия излучения в среде.

Экспозиционная доза – это суммарный заряд всех ионов одного знака, которые образуются рентгеновским или гамма-излучением, в килограмме воздуха.

Единицей экспозиционной дозы является 1 Кл электрического заряда, образующийся под действием излучения в 1 кг воздуха (1 Кл/кг). Вне-системная единица экспозиционной дозы – рентген, а соотношение между ними $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$, $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Уровень радиации может изменяться с течением времени, поэтому часто пользуются понятием *мощность экспозиционной дозы* – доза за определенный промежуток времени (например 1 мР/с). В СИ $1 \text{ Кл/(кг}\cdot\text{с)} = 1 \text{ А/кг}$, т. к. $1 \text{ А} = 1 \text{ Кл/с}$.

Поглощенная доза – энергия излучения, переданная массе вещества.

$$D = dE / dm. \quad (3.1)$$

В отличие от экспозиционной дозы, она определена для любых видов радиоактивных излучений и их смеси, поглощающихся в любой среде. Эту дозу измеряют в греях. 1 Гр соответствует поглощению 1 Дж энергии в 1 кг вещества: $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/1кг}$.

Прежде для измерений поглощенной дозы применялась такая единица, как радиан: $1 \text{ Грей} = 100 \text{ рад}$.

Измерить поглощенную дозу в человеческом организме трудно. Для этого нужны тканеэквивалентные детекторы – органические вещества, вода, сложные композиции, ткани, подобные по составу, которые размещают

в полостях тела или в его моделях-фантомах.

Эквивалентная доза учитывает различную ионизационную способность *альфа-, бета-, гамма-излучений*.

Различие в величине радиационного воздействия можно учесть, приписав каждому из излучений свой коэффициент качества K – степень разрушительного влияния на вещество:

$$H = K \cdot D, \quad (3.2)$$

где H – эквивалентная доза,

D – поглощенная доза.

Единицей эквивалентной дозы (она больше поглощенной в K раз) служит зиверт.

Старая единица эквивалентной дозы – биологический эквивалент рентгена (бэр). $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.

Таблица 3.1 – Рекомендуемые значения K для излучений различных видов

Вид излучения	Значение K
Гамма-излучение, рентгеновское излучение	1
Электроны, позитроны, бета-частицы	1
Нейтрон ($E = 20 \text{ кэВ}$)	3
Нейтрон ($E = 0,1\text{--}10 \text{ МэВ}$)	10
Протоны ($E < 10 \text{ МэВ}$)	10
Альфа-излучение	20
Тяжелые ядра отдачи	20

Каждое радиоактивное вещество распадается с определенной интенсивностью. Для количественной характеристики процессов распада вводится понятие активности A .

Под активностью радионуклидов понимают количество их ядер, которые распадаются за единицу времени. *Единицей активности радионуклидов* в Международной системе единиц является беккерель, названный так в честь первооткрывателя этого явления Анри Антуана Беккереля. 1 Бк – это такая активность радиоактивного вещества, при которой за 1 с происходит одно самопроизвольное ядерное превращение. $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с}$. Если, например, активность источника равна 500 Бк , то это означает, что он содержит радионуклиды, 500 из них распадаются каждую секунду. Величины в тысячу и миллион беккерель обозначаются соответственно как килобеккерель и мегабеккерель: $1 \text{ кБк} = 10^3 \text{ Бк}$; $1 \text{ МБк} = 10^6 \text{ Бк}$. Широко используется и старая (внесистемная) единица активности – *кюри*, которая названа так в честь Пьера-Жолио Кюри и Марии Склодовской-Кюри, исследователей, первыми получившими чистый радий. Значению 1 Ки приблизи-

тельно соответствует активность 1 г чистого радия, в котором за 1 с распадается 37 млрд ядер или $3,7 \cdot 10^{10}$ ядер.

Между кюри и беккерелем существует следующее соответствие: $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп/с} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$, $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$.

Для соблюдения правил радиационной безопасности часто необходимо определить не только активность радиоактивного вещества, но и его концентрацию (т. е. объемную активность) в воде или атмосфере, а также зараженность поверхности земли.

Например, допустимую концентрацию радионуклидов в воде удобно измерять в беккерелях на литр, в воздухе – в беккерелях на кубический метр, на местности – в беккерелях на квадратный метр.

Активность объёмная $A_{об}$, Бк/л(Ки/л), – отношение активности A радионуклида, содержащегося в образце, к его объёму v :

$$A_{об} = A / v. \quad (3.3)$$

Активность поверхностная $A_{пов}$, Бк/м² (Ки/км²), – отношение активности A радионуклида, содержащегося на поверхности, к площади поверхности s :

$$A_{пов} = A/s. \quad (3.4)$$

Поверхностная активность, или радиоактивное загрязнение территории, измеряется в беккерелях на квадратный метр (кюри на квадратный километр). Так, зона с правом на отселение включает территории, уровень поверхностного загрязнения которых цезием-137 составляет 5–15 Ки/км².

Активность удельная $A_{уд}$, Бк/кг(Ки/кг), – отношение активности A радионуклида, содержащегося в образце, к массе образца M :

$$A_{уд} = A / M. \quad (3.5)$$

Допустимый уровень удельной активности цезия-137 в мясе (говядине) и мясных продуктах составляет 500 Бк/кг. Строительные материалы для строительства жилых помещений – до 340 Бк/кг.

3.2 Особенности действия излучения на организм

3.2.1 Высокая эффективность поглощенной дозы. Малые количества поглощенной энергии излучения могут вызвать глубокие биологические изменения в организме.

3.2.2 Наличие скрытого или инкубационного периода проявления действия ионизирующего излучения. Продолжительность его сокращается при облучении в больших дозах.

3.2.3 Действие от малых доз может суммироваться или накапливаться. Эффект кумуляции.

3.2.4 Излучение воздействует не только на данный живой организм,

но и на его потомство. Генетический эффект.

3.2.5 Различные органы живого организма имеют свою чувствительность к облучению. При ежедневном воздействии дозы 0,002–0,05 Гр уже наступают изменения в крови.

3.2.6 Не каждый организм в целом одинаково реагирует на облучение.

3.2.7 Облучение зависит от частоты. Одноразовое облучение большой дозой вызывает более глубокие последствия, чем фракционные.

Радиоактивное излучение не имеет ни запаха, ни цвета. Поэтому его можно обнаружить только с помощью специальных приборов – дозиметров, радиометров-дозиметров.

Воздействие радиации на человека заключается в ионизации биологических тканей.

Тепловая или механическая энергия поглощается в тканях одинаково и равномерно. Поэтому, чтобы вызвать повреждение в живом организме, энергии подобного типа потребуется намного больше, чем энергии ионизирующего излучения. Для ионизирующего излучения нет барьеров в организме. Любая молекула может быть ионизирована, и отсюда начинается путь радиоактивного поражения в виде разнообразных радиационно-химических реакций, биохимических сдвигов, дисрегуляции, структурно-функциональных нарушений. Радиация увеличивает (неблагоприятным для тела образом) активность всех биологических систем.

Взаимодействуя с атомом или молекулой тела, радиоактивное излучение может выбить оттуда электрон. Обычно свободные электроны захватываются молекулами кислорода. Имея лишний электрон, такая молекула кислорода становится нестабильной, приобретает большую способность реагировать с другими молекулами и будет пытаться «отобрать» электрон у другой, находящейся по соседству молекулы для восстановления своего стабильного состояния. Молекула, из которой был взят этот добавочный электрон, тоже становится нестабильной и будет «отнимать» электрон у другой молекулы. Результатом этого будет настоящая цепная реакция в теле человека. Таким образом, химически активные молекулы кислорода нарушают функции и структуру клеток.

Поскольку кислород присутствует в больших количествах внутри и вне клеток, образование большого количества химически активного кислорода при радиационном облучении приведет к разрушению других химических соединений в клетках, т. к. их молекулы будут стремиться к возвращению в стабильное состояние.

Пораженными веществами в теле могут быть жиры или белки, жизненно необходимые для нормальной деятельности клеток. При поражении определенных белков, находящихся в клетке, результатом могут быть мутации, которые, в свою очередь, могут сделать организм предрасположенным к раку.

Таким образом, радиация вызывает образование большого количества

ва свободных электронов в организме человека. Это затем приводит к образованию химически активного кислорода и других измененных веществ, которые разъедают ткани, вызывая:

- нарушение структуры клетки;
- подавление активности ферментов;
- образование аномальных белков;
- образование веществ, вызывающих мутации и рак;
- гибель клеток.

В организме включаются защитные силы, запускаются альтернативные восстанавливающие процессы и биологические реакции, направленные на исправление, адаптацию, компенсацию. Это противоборство, начавшись на молекулярном уровне, постепенно поднимается на всё более высокие этапы биологического организма: от клетки к отдельным органам далее ко всему организму. Исход борьбы зависит от дозы, сотни бэр – безусловная реализация поражения, вплоть до гибели организма.

При больших дозах радиация может разрушать клетки, повреждать ткани различных органов и явиться причиной скорой гибели организма. Повреждения, вызываемые большими дозами облучения, обыкновенно проявляются в течение нескольких часов или дней. Раковые заболевания, однако, проявляются спустя много лет после облучения – как правило, не ранее чем через одно-два десятилетия. А врождённые пороки развития и другие наследственные болезни, вызываемые повреждением генетического аппарата, по определению появляются лишь в следующем или последующих поколениях: это дети, внуки и более отдалённые потомки индивидуума, подвергшегося облучению.

Воздействие малых доз облучения обнаружить почти всегда оказывается очень трудно. Частично это объясняется тем, что для их проявления должно пройти очень много времени. Но, даже и обнаружив какие-то эффекты, требуется ещё доказать, что эти эффекты объясняются действием радиации, поскольку и рак, и повреждения генетического аппарата могут быть вызваны не только радиацией, но и множеством других причин.

В таблице 3.2 приведены значения доз и степень их воздействия на организм человека.

Таблица 3.2 – Значения доз и степень их воздействия на организм человека

Значение поглощенной летальной дозы, рад	Степень воздействия на человека
1	2
10000 рад (100 Гр)	Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы
1000–5000 рад (10–50 Гр)	Смерть наступает через одну–две недели вследствие внутренних кровоизлияний (главным образом в желудочно-кишечном тракте)

Окончание таблицы 3.2

1	2
300–500 рад (3–5 Гр)	50 % облученных умирают в течение 1–2 мес. вследствие поражения клеток костного мозга
150–200 рад (1,5–2 Гр)	Возникновение первичной лучевой болезни
100 рад (1 Гр)	Уровень кратковременной стерилизации, потери и воспроизводства потомства
25 рад (0,25 Гр)	Доза оправданного риска в чрезвычайных обстоятельствах
10 рад (0,1 Гр)	Уровень удвоения генных мутаций
2 рад (0,02 Гр) в год	Предельно допустимая доза в Украине профессионального облучения в год для персонала категории А (лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений)
0,2 рад (0,002 Гр) (200 мрад) в год	Допустимая доза в год для лиц категории Б (лица, которые могут получать дополнительное облучение в связи с расположением рабочих мест в помещениях и на промышленных площадках объектов с радиационно-ядерными технологиями)
0,1 рад (0,001 Гр) в год	Допустимая доза для лиц категории В (все население)
0,1–0,2 рад в год	Доза от естественного (космического и природного) фона, получаемая каждым человеком за год
3 рад	Облучение при рентгенографии зубов
30 рад	Облучение при рентгеноскопии желудка (местное)
1 мкрад	Просмотр одного хоккейного матча по телевизору
84 мкрад /ч	При полёте в самолёте на высоте 8 км

3.3 Источники радиации

3.3.1 Естественные источники радиации. Основную часть облучения население земного шара получает от естественных источников радиации. На протяжении всей истории существования Земли разные виды излучения попадают на ее поверхность из космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре. Человек подвергается облучению двумя способами: внешним и внутренним. Внешнее облучение – радиоактивные вещества находятся вне организма и облучают его снаружи. Внутреннее облучение – радиоактивные вещества находятся в воздухе, которым дышит человек, в пище или воде и попадают внутрь организма.

Космические лучи. Радиационный фон, создаваемый космическими лучами, дает чуть меньше половины внешнего облучения, получаемого населением от естественных источников радиации. Космические лучи в основном приходят к нам из глубин Вселенной, но некоторая их часть рождается на Солнце во время солнечных вспышек. Космические лучи могут достигать поверхности Земли или взаимодействовать с ее атмосферой, порождая вторичное излучение и приводя к образованию различных радионуклидов.

Земная радиация. Основные радиоактивные изотопы, встречающиеся в горных породах Земли, – это калий-40, рубидий-87 и члены двух радиоак-

тивных семейств, берущих начало соответственно от урана-238 и тория-232 – долгоживущих изотопов, находящихся в составе Земли с самого ее рождения.

Внутреннее облучение. В среднем примерно 2/3 эффективной эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступает от радиоактивных веществ, попавших в организм с пищей, водой и воздухом.

Небольшая часть этой дозы приходится на радиоактивные изотопы типа углерода-14 и трития, которые образуются под воздействием космической радиации. Все остальные поступают от источников земного происхождения. В среднем человек получает около 180 мкЗв в год за счет калия-40, который усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности организма. Однако значительно большую дозу внутреннего облучения человек получает от нуклидов радиоактивного ряда урана-238 и в меньшей степени от радионуклидов ряда тория-232.

Радон. Наиболее весомым из всех естественных источников радиации является невидимый, не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ (в 7,5 раз тяжелее воздуха) радон. Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрация в наружном воздухе различна для разных точек земного шара. Основную часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом помещении. Главный источник радона в закрытых помещениях – грунт.

Другие источники радиации. Уголь, подобно большинству других природных материалов, содержит ничтожные количества первичных радионуклидов. Последние, извлеченные вместе с углем из недр земли, после сжигания угля, попадают в окружающую среду, где могут служить источником облучения людей.

Добыча фосфатов, использующихся для производства удобрений, ведется во многих местах земного шара. В процессе добычи и переработки руды выделяется радон, сами удобрения радиоактивны, и содержащиеся в них радиоизотопы проникают из почвы в пищевые культуры.

3.3.2 Источники, созданные человеком.

Источники, используемые в медицине. В настоящее время основной вклад в дозу, получаемую человеком от техногенных источников радиации, вносят медицинские процедуры и методы лечения, связанные с применением радиоактивности. Во многих странах этот источник ответственен почти за всю дозу, получаемую от техногенных источников радиации.

Ядерные взрывы. За последние 40 лет каждый из нас подвергался облучению от радиоактивных осадков, которые образовались в результате ядерных взрывов, связанных с испытанием ядерного оружия в атмосфере.

Часть радиоактивного материала выпадает неподалеку от места испытания, какая-то часть задерживается в тропосфере (самом нижнем слое

атмосферы), подхватывается ветром и перемещается на большие расстояния, оставаясь примерно на одной и той же широте. Однако большая часть радиоактивного материала выбрасывается в стратосферу (следующий слой атмосферы, лежащий на высоте 10–50 км), где он остается многие месяцы, медленно опускаясь и рассеиваясь по всей поверхности земного шара.

Атомная энергетика. Источником облучения являются атомные электростанции, хотя в настоящее время они вносят весьма незначительный вклад в суммарное облучение. При нормальной работе ядерных установок выбросы радиоактивных материалов в окружающую среду очень невелики. Однако при авариях количество радиоактивных веществ, поступающих в окружающую среду значительно увеличивается.

Другие источники облучения. Источником облучения являются и многие общеупотребительные предметы, содержащие радиоактивные вещества. Самым распространенным источником облучения являются часы со светящимся циферблатом. Они дают годовую дозу, в 4 раза превышающую ту, что обусловлена утечками на АЭС.

Дозиметрический контроль – система мероприятий, обеспечивающая измерение, оценку и регистрацию дозы ионизирующего излучения, получаемого человеком, а также уровней загрязнения радиоактивными веществами воздуха, воды, почвы, продуктов питания. Дозиметрический контроль осуществляется:

- дозиметрической службой;
- дозиметрическими постами;
- отдельными специалистами предприятия;
- индивидуальным контролем.

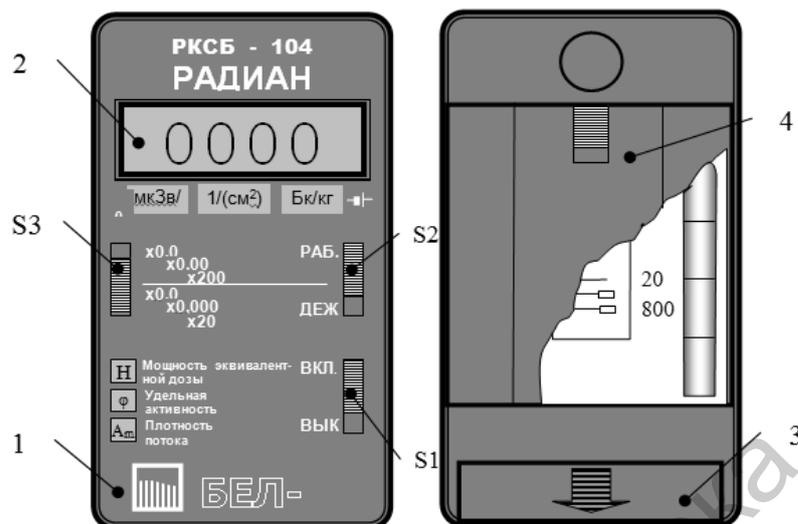
Индивидуальный дозиметрический контроль обеспечивает контроль внешнего облучения человека посредством портативных индивидуальных дозиметров, а также измерением дозы ионизирующего излучения воздуха, продуктов питания и воды.

3.4 Порядок выполнения работы

3.4.1 Прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений РКСБ-104. На рисунке 3.1 изображен внешний вид прибора РКСБ-104.

3.4.2 Работа на приборе РКСБ-104. Прибор 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 радионуклида цезия-137 в веществах.



1 – корпус, 2 – индикатор, 3 – крышка отсека питания, 4 – крышка-фильтр

Рисунок 3.1 – Общий вид прибора РКСБ-104

3.5 Подготовка к работе

При работе от внешнего источника:

- подключите штекер шнура к гнезду, расположенному на правой грани корпуса прибора;
- перед включением прибора снимите заднюю крышку-фильтр. Для этого необходимо сместить вниз запирающую защёлку и, подав на себя верхнюю часть крышки-фильтра, одновременным движением вверх извлечь её направляющие из посадочных гнёзд в крышке прибора.

Установите движки кодового переключателя S4: S4.1–S4.6 – в положение «1»; S4.7, S4.8 – в положение «0» (рисунок 3.2).

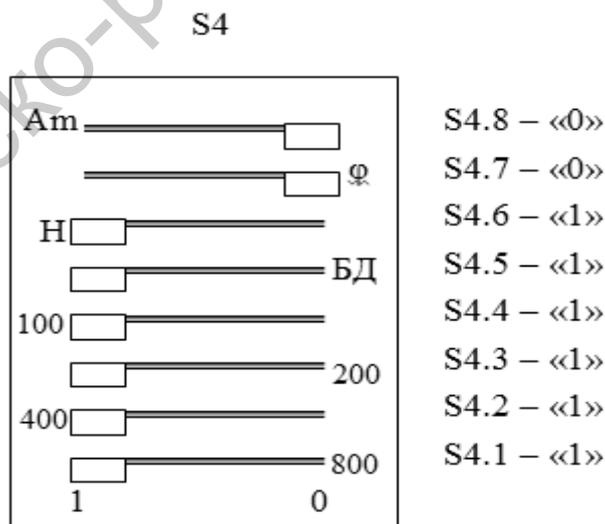


Рисунок 3.2 – Схема установки движков кодового переключателя для проверки работоспособности измерительной схемы прибора

Установите на место крышку-фильтр. Для этого необходимо вставить её направляющие в гнезда крышки, сместить вниз запирающую защёлку и, подав вперёд верхнюю часть крышки-фильтра до упора в крышку прибора, отпустить защёлку, которая и закрепит крышку-фильтр на приборе.

Переведите органы управления прибора – тумблеры S2 и S3 – в верхние положения (соответственно «РАБ» и «х 0,01 х 0,01 х 200»)

Проверьте работоспособность измерительной схемы прибора, для чего:

- переведите тумблер S1 в верхнее положение («ВКЛ»); при этом прибор должен начать регистрировать внешний радиационный фон (индикация символов «:-» и «V» на табло индикатора должна отсутствовать);

- примерно через 28 с после включения прибор должен выдать прерывистый звуковой сигнал; при этом на табло индикатора должно индицироваться (установиться) 4-разрядное число, значащая часть которого, умноженная на пересчётный коэффициент, равный 0,01 при измерениях мощности полевой эквивалентной дозы внешнего фона гамма-излучения и верхнем положении тумблера S3, и даст измеренную величину в микрозивертах в час. Время индикации установившегося значения 4-разрядного числа на табло – порядка 14 с, после этого звуковой сигнал должен прекратиться, а прибор – автоматически повторить цикл измерения;

- выключите прибор.

Проверьте работу порогового устройства, для чего:

- переведите движки тумблеров S2 и S3 в нижние положения (соответственно, «ДЕЖ» и «х 0,001 х 0,001 х 20»);

- включите прибор тумблером S1. В течение времени порядка 280 с на табло будут индицироваться возрастающие значения 4-разрядного числа. В момент превышения им значения 0100 ± 0010 (что соответствует порогу срабатывания сигнализации, установленному потребителем в проверочных операциях и равному 0,1 мкЗв/ч) прибор должен выдать непрерывный звуковой сигнал. Увеличение числа на табло будет продолжаться до окончания цикла измерения. Выключение звукового сигнала должно произойти после двукратного превышения установленного порога срабатывания сигнализации или, если оно не будет достигнуто, после завершения цикла измерения;

- выключите прибор.

Измерение мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения.

- 1 Снимите заднюю крышку-фильтр 4 (см. рисунок 3.1).
- 2 Переведите движки кодового переключателя в положения, показанные на рисунке 3.3.
- 3 Установите крышку-фильтр на прежнее место.
- 4 Переведите тумблеры S2 и S3 в верхние положения («РАБ» и «х 0,01 х 0,01 х 200» соответственно).
- 5 Включите прибор тумблером S1, переведя его в положение

«ВКЛ». Через 27–28 с прибор выдает прерывистый звуковой сигнал, а на табло индикатора отобразится 4-разрядное число. Для определения мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения умножьте значащую часть этого числа на пересчетный коэффициент, равный 0,01. Получится результат в микрозивертах в час.

Примечание – Значащая часть 4-разрядного числа соответствует измеренной величине мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в микрорентгенах в час.

6 Для получения более точного результата измерения (в пределах допускаемых значений основной погрешности измерений) при величинах мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения менее 10 мкЗв/ч повторите измерения при нижнем положении тумблера S3 (положение остальных органов управления не изменяется). Время измерения при этом увеличится до 270–280 с. Показание прибора умножьте на пересчетный коэффициент, равный 0,001. Получится результат измерения в микрозивертах в час. Например: на табло индицируется число 0182, показание прибора – 182; пересчетный коэффициент – 0,001; полученный результат – 0,182 мкЗв/ч, что соответствует величине мощности экспозиционной дозы гамма-излучения 18,2 мкР/ч. Положение движков S4.1–S4.4 могут быть произвольными.

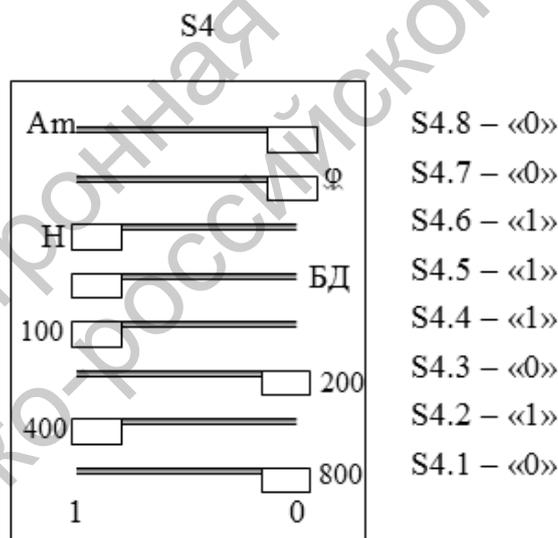


Рисунок 3.3 – Схема расположения движков кодового переключателя для измерения мощности полевой эквивалентной дозы γ -излучения в микрозивертах в час (мощности экспозиционной дозы γ -излучения в микрорентген в час)

Измерения загрязненности поверхностей бета-излучающими радионуклидами.

- 1 Снимите крышку-фильтр 4 (см. рисунок 3.1).
- 2 Переведите движки кодового переключателя S4 в положения, показанные на рисунке 3.4.

3 Установите крышку-фильтр на прежнее место.

4 Переведите тумблеры S2 и S3 в верхние положения («РАБ» и «x 0,01 x 0,01 x 200» соответственно).

5 Поднесите прибор к исследуемой поверхности на расстояние 110–120 см (если не позволяет шнур, то можно отнести измеряемый объект в горизонтальной плоскости). Включите прибор тумблером S1, установив его в положение «ВКЛ».

6 Снимите фоновое показание прибора $\varphi_{\text{ф}}$, которое установится на табло через интервал времени, примерно равный 18 с, после включения прибора. Запишите показания прибора.

7 Выключите прибор, установив тумблер S1 в положение «ВЫКЛ».

8 Снимите заднюю крышку-фильтр 4 (см. рисунок 3.1) и поместите прибор над исследуемой поверхностью на расстояние не более 1 см.

9 Включите прибор тумблером S1.

Запишите показание прибора $\varphi_{\text{и}}$, установившееся во время действия прерывистого сигнала. Положения движков S4.1–S4.4 могут быть произвольными.

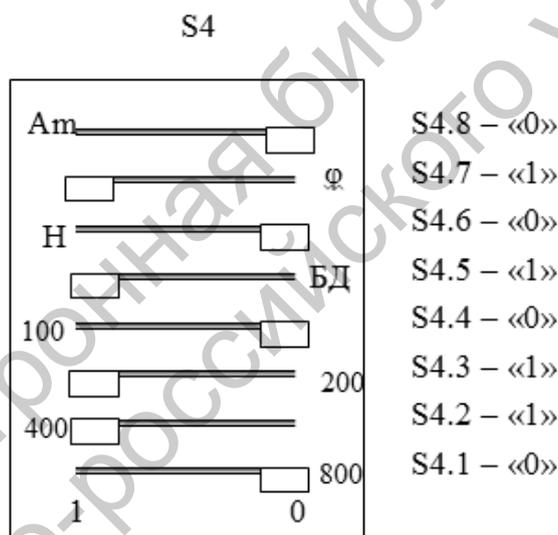


Рисунок 3.4 – Схема расположения движков кодового переключателя для измерений загрязненности поверхностей бета-излучающими радионуклидами

10 Определите величину загрязненности поверхности бета-излучающими радионуклидами по формуле

$$\varphi = K_1 (\varphi_{\text{и}} - \varphi_{\text{ф}}), \quad (3.6)$$

где φ – плотность потока бета-излучения с поверхности, $\text{имп}/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$ или $\text{исп} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$;

K_1 – коэффициент, $K_1 = 0,001$;

$\varphi_{\text{и}}$ – показание прибора со снятой крышкой;

φ_{ϕ} – показание прибора, соответствующее внешнему радиационному фону гамма-излучения (с закрытой крышкой).

Например, показание прибора от внешнего радиационного фона – 18 (значащая часть числа 018), показание прибора со снятой крышкой – 243 (значащая часть числа 0243).

По формуле (3.6) определяется результат измерения плотности потока бета-излучения: $\varphi = 0,01 (243 - 18) = 2,25 \text{ имп}/(\text{с}\cdot\text{см}^2)$.

Если перейти к другой единице измерения плотности потока – к бета-частицам в минуту с квадратного сантиметра, то $\varphi = 2,25 \cdot 60 = 135 \text{ }\beta\text{-част.}/(\text{мин}\cdot\text{см}^2)$.

11 Для получения более точного результата измерения (в пределах допускаемых значений основной погрешности измерений) при величинах плотности потока бета-излучения с поверхности менее $10 \text{ имп}/(\text{с}\cdot\text{см}^2)$, т. е. менее $600 \text{ }\beta\text{-част.}/(\text{мин}\cdot\text{см}^2)$, необходимо повторить измерения при нижнем положении тумблера S3 «х 0,001 х 0,001 х 20».

Положения остальных органов управления приборов не изменяются. В этом случае разность показаний ($\varphi_{\text{и}} - \varphi_{\phi}$) следует умножить на коэффициент 0,001. Получится результат измерения в частицах в секунду с квадратного сантиметра. Для определения плотности потока в частицах в минуту с квадратного сантиметра результат измерения надо умножить на 60. Продолжительность цикла измерения равна 175–185 с.

Примечание – При измерениях загрязненности поверхностей лицевых средств индивидуальной защиты допустимый уровень загрязненности бета-активными радионуклидами считается равным $1,7 \text{ имп}/(\text{с}\cdot\text{см}^2)$ или $100 \text{ }\beta\text{-част.}/(\text{мин}\cdot\text{см}^2)$; для верхней одежды и других средств индивидуальной защиты – $3,4 \text{ имп}/(\text{с}\cdot\text{см}^2)$ или $200 \text{ }\beta\text{-част.}/(\text{мин}\cdot\text{см}^2)$; для внутренних поверхностей жилых помещений – $3,4 \text{ имп}/(\text{с}\cdot\text{см}^2)$ или $200 \text{ }\beta\text{-част.}/(\text{мин}\cdot\text{см}^2)$.

3.5.1 Подготовка прибора к началу работы. При работе от внешнего источника питания подключите штекер шнура к гнезду, расположенному на панели прибора.

Установите движки кодового переключателя S 4: S 4.1–S 4.6 – в положение «1»; S 4.7, S4.8 – в положение «0».

Переведите органы управления прибора – тумблеры S2 и S3 в верхние положения (соответственно «РАБ» и «х 0,01х 0,01 х 200»).

Проверьте работоспособность измерительной схемы прибора, для чего (рисунок 3.5):

- переведите тумблер S1 в верхнее положение («ВКЛ»); при этом прибор должен начать регистрировать внешний радиационный фон (индикация символов «÷» и «V» на табло индикатора должна отсутствовать);

- примерно через 28 с после включения прибор должен выдать прерывистый звуковой сигнал; при этом на табло индикатора должно индцироваться (установиться) 4-разрядное число, значащая часть которого, ум-

ноженная на пересчетный коэффициент, равный 0,01 при измерениях мощности полевой эквивалентной дозы внешнего фона гамма-излучения и верхнем положении тумблера S3, и даст измеренную величину в микрозивертах в час. Время индикации установившегося значения 4-разрядного числа на табло – порядка 14 с, после этого звуковой сигнал должен прекратиться, а прибор – автоматически повторить цикл измерения:

– выключите прибор.

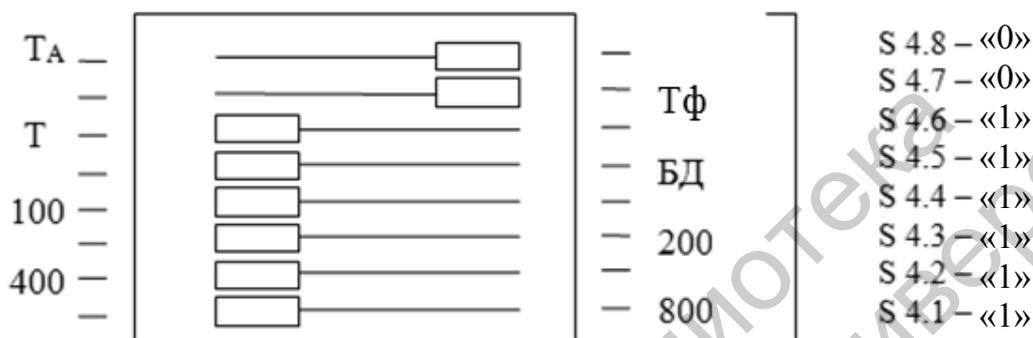


Рисунок 3.5 – Общий вид движков кодового переключателя

Проверьте работу порогового устройства, для чего:

– переведите движки тумблеров S2 и S3 в нижние положения (соответственно, «ДЕЖ» и «x 0,001x 0,001 x 20»);

– включите прибор тумблером S1. В течение времени порядка 280 с на табло будут индицироваться возрастающие значения 4-разрядного числа. В момент превышения им значения 0100 ± 0010 (что соответствует порогу срабатывания сигнализации, установленному потребителем и равному 0,1 мкЗв/ч) прибор должен выдать непрерывный звуковой сигнал. Увеличение числа на табло будет продолжаться до окончания цикла измерения. Выключение звукового сигнала должно произойти после двукратного превышения установленного порога срабатывания сигнализации или, если оно не будет достигнуто, после завершения цикла измерения;

– выключите прибор;

– установите требуемую величину срабатывания сигнализации по мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения.

На этом подготовка прибора к работе, включающая в себя проверку его работоспособности, заканчивается.

3.5.2 Порядок работы в режиме измерения удельной активности радионуклидов в пробах продуктов питания и воды на приборе РКСБ-104.

3.5.2.1 Снимите заднюю крышку-фильтр 4.

3.5.2.2 Переведите движки кодового переключателя S4 в положения, показанные на рисунке 3.5.

3.5.2.3 Установите органы управления прибора: тумблер S2 в верхнее («РАБ»), а S3 в нижнее («x 0,001 x 0,001 x 20») положение.

3.5.2.4 Заполните измерительную кювету заведомо чистой в радиационном отношении водой до метки внутри кюветы и установите прибор на кювету (прибор в кювете) – крышка открыта.

3.5.2.5 Включите прибор тумблером S1, переводя его в положение «ВКЛ».

Снимите пять отсчетов показаний прибора, соответствующих собственному фону прибора $A_{\phi 1} - A_{\phi 5}$, и запишите их.

Для уменьшения общего времени измерения после снятия очередного отсчета показаний производите кратковременное выключение и новое включение прибора. После снятия всех отсчетов выключите прибор.

3.5.2.6 Рассчитайте среднее арифметическое фоновых показаний A_{ϕ} прибора по формуле

$$A_{\phi} = (A_{\phi 1} + A_{\phi 2} + A_{\phi 3} + A_{\phi 4} + A_{\phi 5}) / 5, \quad (3.7)$$

где $A_{\phi 1}, \dots, A_{\phi 5}$ – отдельные фоновые показатели прибора при пяти отсчетах.

3.5.2.7 Вылейте воду из кюветы, просушите ее и заполните исследуемым веществом до метки.

3.5.2.8 Вновь установите прибор на кювету и включите его. Снимите пять отсчетов показаний прибора $A_1 - A_5$ и запишите их. Рассчитайте среднее арифметическое показаний прибора $A_{\text{изм}}$ по формуле

$$A_{\text{изм}} = (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5) / 5, \quad (3.8)$$

3.5.2.9 Удельную активность радионуклида цезий-137 в веществе A_m , Бк/кг, определите по формуле

$$A_m = K_2 (A_{\text{изм}} - A_{\phi}), \quad (3.9)$$

где K_2 – пересчетный коэффициент, $K_2 = 20$.

Для получения значения удельной активности радионуклида цезия-137 (в кюри на килограмм) результат расчета по формуле (3.9) надо умножить на $2,7 \cdot 10^{-11}$ (1 Бк = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ки).

$$A_m = K_2 (A_{\text{изм}} - A_{\phi}) \cdot 2,7 \cdot 10^{-11}. \quad (3.10)$$

Пример измерения удельной активности

Фоновые показания прибора: 190; 214; 256; 221 и 235; значащие части 4-разрядных чисел 0190; 0214; 0256; 0221; 0235.

Среднее значение фона

$$A_{\phi} = (190 + 214 + 256 + 221 + 235) / 5 = 223,2.$$

Показания прибора при исследовании пробы: 428; 412; 392; 404; 398; значащие части 4-разрядных чисел 0428; 0412; 0392; 0404; 0398.

Среднее арифметическое этих показаний

$$A_{\text{изм}} = (428 + 412 + 392 + 404 + 398) / 5 = 406,8.$$

Удельная активность пробы (в беккерелях на килограмм):

$$A_m = 20 \cdot (406,8 - 223,2) = 3672 \text{ Бк/кг},$$

$$A_m = 20 \cdot (406,8 - 223,2) \cdot 2,7 \cdot 10^{-11} = 9,9 \cdot 10^{-8} \text{ Ки/кг}.$$

Результаты, полученные с помощью приборов РКСБ-104, сравните с временными допустимыми уровнями (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-2001)

Наименование продукта	Для цезия (РДУ-2001)	Для стронция, Бк/кг (Бк/л)
Вода питьевая	10	0,37
Молоко и цельномолочная продукция	100	3,7
Молоко сгущенное и концентрированное	200	—
Творог и творожные изделия	50	—
Сыры сычужные и плавленые	50	—
Масло коровье	100	—
Мясо и мясные продукты, в т. ч.:		
говядина, баранина и продукты из них	500	—
свинина, птица и продукты из них	180	3,7
Картофель	80	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	40	—
Мука, крупы, сахар	60	—
Жиры растительные	40	—
Жиры животные и маргарин	100	—
Овощи и корнеплоды	100	—
Фрукты	40	—
Садовые ягоды	70	—
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	74	—
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185	—
Грибы свежие	370	—
Грибы сушеные	2500	—
Специализированные продукты детского питания в готовом виде	37	1,85
Прочие продукты питания	370	—

3.5.2.10 При переполнении табло счетной информацией, когда на нем индицируются 4-разрядные числа, превышающие 9999, а перед чис-

лом появляется символ «÷» (например индицируется число «÷0132»), измерения удельной активности надо повторить при верхнем положении тумблера 3 («x 0,01 x 0,01 x 200»).

В этом случае при расчете удельной активности радионуклида цезия-137 значение K_2 принимается равным 200.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое радиоактивность? Виды радиоактивных излучений.
- 2 Воздействие радиоактивного излучения на живые организмы.
- 3 Экспозиционная доза, поглощенная доза, эквивалентная доза и их единицы измерения.
- 4 Естественные и антропогенные источники радиоактивности.

4 Лабораторная работа № 4. Расчет концентраций загрязняющих веществ в сбросе сточных вод машиностроительного предприятия

Цель работы:

- изучить методику расчетов концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в сточных водах промышленного предприятия;
- выполнить расчет концентраций ЗВ в сбросе сточных вод.

4.1 Общие сведения

Сточные воды – это воды, отводимые после использования их в бытовой или производственной деятельности человека. Загрязняющими воду веществами называются вещества, нарушающие нормы качества воды.

Загрязнения сточных вод разделяют на группы: нерастворимые, коллоидные, растворимые, минеральные (песок, минеральные соли, шлак, кислоты, щелочи) и органические (растительные и животные), бактериальные и биологические.

Машиностроительные предприятия сбрасывают три типа загрязненных вод: *бытовые, поверхностные и производственные*.

Бытовые воды образуются при работе душевых, туалетов, столовых. Эти воды очищаются на станциях очистки городов, районов.

Поверхностные сточные воды – это воды, стекающие с территорий предприятий при дождях, таянии снега, поливке территории. Основными загрязнениями этих вод являются механические загрязнения (песок, опилки, стружка, сажа), нефтепродукты (бензин, керосин, масла).

Основными источниками загрязнения сточных вод на машиностроитель-

тельном предприятии являются:

- металлургическое оборудование, требующее водяного охлаждения;
- устройства газоочистки, оборудование гидравлики литья;
- кузнечно-прессовое оборудование с водяным охлаждением;
- промывка термического оборудования, закалочных ванн;
- промывка травильных и закалочных ванн.

Каждое производство дает специфическое загрязнение сточных вод. Металлургические цеха используют воду для охлаждения оборудования и загрязняют ее взвешенными веществами и маслами. Сточные воды кузнечно-прессовых цехов содержат крупные частицы окислы, пыль, масла. Основу загрязнения сточных вод механических цехов составляют механические и абразивные частицы, пыль, масла. Гальваническое производство загрязняет сточные воды щелочами, кислотами, солями тяжелых металлов, окислами и пылью. Сточные воды термических цехов содержат минеральную пыль, окислы, тяжелые металлы, масла.

Качество воды в водоемах нормируется в соответствии с «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнений». Согласно нормативной документации водоемы подразделяют на:

- водоемы питьевого и культурно-бытового назначения (I категория);
- водоемы рыбохозяйственного назначения (II категория).

Показатели свойств воды в водоемах I категории должны соответствовать нормам в отборе, расположенном на расстоянии 1 км выше по течению от пункта водопользования. В водоемах II категории свойства воды должны соответствовать норме – не далее 500 м от места выпуска загрязнений.

В основу нормирования вредных и ядовитых веществ в водоемах положен принцип *лимитирующих показателей вредностей (ЛПВ)*, т. е. наиболее вероятного неблагоприятного воздействия каждого вещества. Качество воды в водоемах I категории оценивается с помощью санитарно-токсикологических, общесанитарных и органолептических ЛПВ. Для водоемов II категории рыбохозяйственного назначения дополнительно используются токсикологические и рыбохозяйственные ЛПВ.

Нормируемые значения устанавливаются для таких показателей свойств воды, как количество количества механических взвешенных веществ и плавающих примесей, значение pH, концентрация минеральных примесей, содержание растворенного кислорода, биохимическая потребность в кислороде, ПДК ядовитых и вредных веществ, содержание болезнетворных бактерий, прозрачность и окраска воды, запах и привкус, температура воды.

Во всех водоемах показатели санитарного состояния должны соответствовать соотношению

$$\sum_{i=1} (C_m^i / ПДК_i) \leq 1, \quad (4.1)$$

где C_m^i – концентрация вещества i -го ЛПВ в створе водоема;
 ПДК – предельно допустимая концентрация i -го вещества.

Для водоемов I категории проверяется выполнение трех неравенств, а для II категории – пяти неравенств.

Условия спуска сточных вод определены «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Запрещается сброс сточных вод, которые могут быть использованы в системах оборотного или повторного водоснабжения, в бессточных производствах воды; вод, содержащих ценные отходы, реагенты в количествах, превышающих ПДК; вод, содержащих вещества, для которых не установлена ПДК.

Требования к сбросу сточных вод распространяются на все существующие выпуски производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод любых объектов независимо от ведомственной принадлежности. В требованиях к спуску сточных вод в водные объекты учитываются степени возможного смешения и разбавления сточных вод водой объекта на пути от места выпуска сточных вод до расчетного створа ближайшего пункта (хозяйственно-питьевого, культурно-бытового или рыбохозяйственного) водопользования. Место выпуска должно располагаться ниже по течению реки от границ населенного пункта и всех мест его водопользования.

4.1.1 Методика расчета допустимой концентрации загрязняющих веществ в сточных водах. Расчет допустимого состава сточных вод проводится с учетом, во-первых, характеристик загрязнений, во-вторых, характеристик водоема, в который сбрасываются сточные воды.

Допустимая концентрация взвешенных веществ $C_0^{ВЗВ}$ определяется по формуле

$$C_0^{ВЗВ} < C_B^{ВЗВ} + nПДК^{ВЗВ}, \quad (4.2)$$

где $C_B^{ВЗВ}$ – концентрация взвешенных веществ в водоеме до сброса сточных вод;

$ПДК^{ВЗВ}$ – предельно допустимая концентрация взвешенных веществ в водоеме;

n – кратность разбавления, т. е. доля расхода воды водоема в разбавлении сточных вод.

В основу расчета допустимой концентрации загрязнений в сбросе сточных вод положен процесс уменьшения концентраций загрязнений за счет перемешивания сточных вод с водной средой водоема. Характеристикой интенсивности процесса разбавления служит кратность разбавления. Расчет кратности разбавления n ведется по формуле

$$n = (C_0 - C_B) / (C - C_B), \quad (4.3)$$

где C_0 – концентрация загрязнений в сточных водах;

C_B, C – концентрация загрязнений в водоеме до и после сброса.

В случае сброса в водоем с направленным течением кратность разбавления рассчитывается по формуле

$$n = (m Q_B + Q_V) / Q_V, \quad (4.4)$$

где m – коэффициент смешения, характеризующий часть воды водоема, которая участвует в разбавлении;

Q_B – расход воды в водоеме;

Q_V – объемный расход сточных вод, сбрасываемых в водоем.

Расчет допустимой концентрации вредных растворимых веществ в сточных водах проводится по формуле

$$C_o^i \leq n(C_m^i - C_B^i) + C_B^i, \quad (4.5)$$

где C_m^i – максимально допустимая концентрация i -го вещества с учетом максимальных концентраций и ПДК всех веществ этой группы лимитирующих показателей (ЛПВ);

C_B^i – концентрация i -го вещества в водоеме до сброса сточных вод.

C_m^i определяется по формуле

$$C_m^i = \text{ПДК}_i \left(1 - \sum_{j=1}^{i-1} C_m^j / \text{ПДК}_j \right). \quad (4.6)$$

Машиностроительное предприятие, расположенное вблизи рек, при решении вопроса сброса сточных вод должно обосновать возможность сброса. Для этой цели используется расчет по методу Фролова–Родзиллера, основанный на решении дифференциального уравнения турбулентной диффузии. В расчете приняты допущения: речной поток безграничный, начальное разбавление отсутствует, выпуск сточных вод сосредоточенный.

4.1.2 Этапы проведения расчетов по методу Фролова–Родзиллера.

4.1.2.1 Определение кратности разбавления по формуле (4.4).

4.1.2.2 Определение коэффициента смешения по формуле

$$m = (1 - e^{-k \sqrt[3]{L}}) / (1 + (Q_B / Q_V) e^{-k \sqrt[3]{L}}), \quad (4.7)$$

где k – коэффициент гидравлических условий смешения,
 $k = \psi \varphi \sqrt[3]{D_T / Q_V}$;

ψ – коэффициент учета расположения места выпуска сточных вод (для берегового выпуска $\psi = 1$, для выпуска в сечение русла $\psi = 1,5$).

4.1.2.3 Определение коэффициента турбулентной диффузии по формуле

$$D_T = (g H \omega) / (M C_{III}), \quad (4.8)$$

где g – ускорение свободного падения;

H – средняя глубина русла;
 ω – средняя по сечению русла скорость течения реки на удалении L от места выпуска сточных вод;

M – функция коэффициента Шези для воды, $M = 22,3 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$;

C_{III} – коэффициент Шези, $C_{III} = 40\text{--}44 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$.

4.1.2.4 Определение безразмерного

$$\varphi = L / L_H, \quad (4.9)$$

где L – длина русла от сечения выпуска до расчетного створа;

L_H – расстояние между этими параллельными сечениями в нормальном направлении.

4.1.2.5 Определение концентрации загрязнений при полном перемешивании сточных вод в произвольный момент времени

$$C = t (C_0 Q_v + \sum(C_B Q_B)) / V, \quad (4.10)$$

где t – период полного обмена воды в водоеме, ч

$$t = V / (Q_v + \sum(Q_B - Q_n)), \quad (4.11)$$

где V – объем водоема;

Q_n – потери расхода воды в водоеме без уноса загрязнений (от испарения).

4.1.2.6 Определение допустимой концентрации загрязнений сточных вод производится по формуле (4.5).

4.1.2.7 Определение максимально допустимой концентрации в очищенных сточных водах производится по формуле (4.6).

4.2 Пример расчета допустимого состава сточных вод

Для машиностроительного предприятия, расположенного вблизи реки, оценить возможность сброса производственных сточных вод в реку (водоем I категории).

Решение

1 Определение коэффициента смешения m (см. формулу (4.7)):

$$m = (1 - e^{-k \sqrt[3]{L}}) / (1 + (Q_B / Q_v) e^{-k \sqrt[3]{L}}) = \\ = (1 - 2,718^{-0,329 \sqrt[3]{500}}) / (1 + (5 \cdot 10^4 / 5 \cdot 10^2) \cdot 2,718^{-0,329 \sqrt[3]{500}}) = 0,11.$$

2 Определение коэффициента φ (см. формулу (4.9)):

$$\varphi = L / L_H = 500 / 250 = 2.$$

3 Определение коэффициента гидравлического смешения k :

$$k = \psi \varphi \sqrt[3]{D_T / Q_V} = 1,5 \cdot 2 \sqrt[3]{0,659 / 500} = 0,3291.$$

4 Определение коэффициента турбулентной диффузии D_T (см. формулу (4.8)):

$$D_T = 9,81 \cdot 15 \cdot 4 / 22,3 \cdot 40 = 0,659.$$

5 Определение кратности разбавления n (см. формулу (4.4)):

$$n = (0,11 \cdot 5 \cdot 10^4 + 500) / 500 = 12.$$

6 Определение периода полного обмена воды в водоеме t (см. формулу (4.11)):

$$t = 5 \cdot 10^6 / (500 + 5 \cdot 10^4 - 500) = 100 \text{ ч.}$$

7 Определение концентрации примесей в водоеме при полном перемешивании сточных вод в момент времени t :

– по фенолу (C_0^1).

Максимальная допустимая концентрация в очищенных сточных водах

$$\begin{aligned} C_{m1}^1 &= \text{ПДК}_1 (1 - \sum C_m^i / \text{ППД}_i) = \text{ПДК}_1 (1 - C_{B2} / \text{ПДК}_2) = \\ &= 0,001 (1 - 0,05 / 0,1) = 0,0005 \text{ мг/л.} \end{aligned}$$

Допустимая концентрация фенола в очищенных сточных водах при сбросе

$$C_o^1 \leq n (C_{m1}^1 - C_{B1}) + C_{B1} = 12 (0,0005 - 0) + 0 = 0,006 \text{ мг/л.}$$

Концентрация фенола при условии полного перемешивания сточных вод в водоеме

$$\begin{aligned} C_1 &= t (C_o^1 Q_V + \sum_{i=1}^{i-1} C_{B1} Q_B) / V = \\ &= 100 (0,006 \cdot 500 + 0) / (5 \cdot 10^6) = 0,00006 \text{ мг/л;} \end{aligned}$$

– по хрому (C_0^4).

Максимально допустимая концентрация хрома в очищенных сточных водах

$$\begin{aligned} C_{m4}^4 &= \text{ПДК}_4 (1 - \sum C_m^i / \text{ПДК}_i) = \text{ПДК}_4 (1 - C_{B7} / \text{ПДК}_7 - C_{B4} / \text{ПДК}_4) = \\ &= 0,1 (1 - 0,01 / 10 - 0,005 / 0,1) = 0,0949 \text{ мг/л.} \end{aligned}$$

Допустимая концентрация хрома в очищенных сточных водах при сбросе

$$C_o^4 \leq n (C_{m4}^4 - C_{B4}) + C_{B4} = 12 (0,0949 - 0,005) + 0,005 = 1,0838 \text{ мг/л.}$$

Определение концентрации хрома при условии полного перемешивания сточных вод в водоеме:

$$C_4 = t (C_0^4 Q_v + \sum C_{B4} Q_B) / V =$$

$$= 100(1,0838 \cdot 500 + 0,005 \cdot 5 \cdot 10^4) / (5 \cdot 10^6) = 0,015838 \text{ мг/л};$$

– по кадмию (C_0^5).

Максимальная концентрация кадмия в очищенных сточных водах

$$C_{m5}^5 = \text{ПДК}_5 (1 - \sum_{i=1}^{i-1} C_{mi} / \text{ПДК}_i) = 0,01(1 - C_{B2} / \text{ПДК}_2) =$$

$$= 0,01(1 - 0,05/0,1) = 0,005 \text{ мг/л}.$$

Допустимая концентрация кадмия в очищенных сточных водах при сбросе

$$C_0^5 \leq n (C_{m5}^5 - C_{B5}) + C_{B5} = 12 (0,005 - 0) + 0 = 0,06 \text{ мг/л}.$$

Определение концентрации кадмия при условии полного перемешивания сточных вод в водоеме:

$$C_5 = t (C_0^5 Q_v + \sum C_{B5} Q_B) / V = 100(0,06 \cdot 500) / (5 \cdot 10^6) = 0,0006 \text{ мг/л};$$

– по взвешенным веществам (C_0^8).

Определение допустимой концентрации взвешенных веществ в сточных водах при сбросе:

$$C_0^8 \leq C_{B8} + n \text{ПДК}^{\text{ВЗВ}} = 5 + 12 \cdot 10 = 125 \text{ мг/л}.$$

8 Оценка возможности сброса сточных вод в водоем оформляется по образцу (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Оценка возможности сброса сточных вод

Ингредиент	Фактическая концентрация загрязнений сточных вод, мг/л	Максимально допустимая концентрация загрязнений сточных вод, мг/л	Допустимая концентрация загрязнений в очищенных сточных водах, мг/л	Концентрация загрязнений при полном перемещении сточных вод, мг/л	ПДК загрязнений в воде водоема, мг/л	Оценка допустимости сброса сточных вод*
Фенол	0,01	0,0005	0,006	0,00006	0,001	Допустимы
Хром	0,15	0,00949	1,0838	0,015838	0,1	Допустимы
Кадмий	0,2	0,005	0,06	0,0006	0,01	Допустимы
Взвешенные вещества	50	–	125	–	4–10	Допустимы

Примечание – Для оценки возможности сброса необходимо от концентрации загрязнения при полном перемешивании сточных вод отнять ПДК. Если значение получается со знаком «минус» – это «Допустимо». Если значение получается со знаком «плюс» – это «Превышение»

4.3 Практическая часть

Оцените возможность сброса производственных сточных вод в реку (водоем I категории) для машиностроительного предприятия.

Содержание загрязняющих веществ в водоеме до выброса сточных вод приведено в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Загрязняющие вещества в водоеме

Наименование ингредиента	Лимитирующий показатель вредности	Загрязнение $C_{вн}$, мг/л
Бензин ($C_{в2}$)	Органолептический	0,05
Бензол ($C_{в7}$)	Санитарно-токсический	0,01
Cr^{6+} ($C_{в4}$)	Санитарно-токсический	0,005
Взвешенные вещества ($C_{в8}$)		5

Сточные воды содержат взвешенные и растворимые вещества согласно выданному заданию (таблица 4.3).

Исходные данные приведены в таблице 4.4.

Контрольные вопросы

- 1 Что называют сточными водами? На какие группы делятся загрязнения сточных вод?
- 2 Перечислите типы сточных вод машиностроительного предприятия и источники их образования.
- 3 На какие категории подразделяются водные объекты?
- 4 Что лежит в основе нормирования качества вод водных объектов? Какие показатели нормируются?
- 5 Перечислите основные требования к спуску сточных вод.
- 6 Назовите основные этапы расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в сбросе сточных вод.

Таблица 4.3 – Загрязнения сточных вод машиностроительного предприятия

Наименование ингредиента CO _i	ПДК, мг/л	Лимитирующий показатель вредности	Концентрация загрязняющих веществ С _{факт} , мг/л, по вариантам														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Фенолы (CO ₁)	0,001	Органолептический	0,01	-	-	0,015	0,02	0,019	-	0,01	-	-	0,017	-	0,013	-	-
Бензин (CO ₂)	0,1	Органолептический	-	0,4	2	2,5	0,5	-	0,7	1,5	-	0,85	-	0,65	1,0	0,3	0,18
НСu ²⁺ (CO ₃)	1	Санитарно-токсический	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr ⁶⁺ (CO ₄)	0,1	Санитарно-токсический	0,15	-	-	0,25	-	0,2	-	-	-	0,14	0,17	0,21	-	0,18	-
Cd ²⁺ (CO ₅)	0,01	Органолептический	0,2	-	0,3	-	-	-	0,1	-	-	-	0,15	0,3	-	0,25	0,17
Цианиды (CO ₆)	0,1	Санитарно-токсический	-	0,2	-	-	-	0,3	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-
Бензол (CO ₇)	4-10	Санитарно-токсический	-	1,0	-	-	1,5	-	-	1,8	-	-	-	-	1,3	-	1,4
Взвешенные вещества (CO ₈)	4-10		50	75	100	55	70	65	90	85	80	60	68	56	64	110	95

Таблица 4.4 – Исходные данные

Параметры расчетов	Номер варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Коэффициент места расположения сточных вод ψ (в сечении русла)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Длина русла реки от сечения выпуска до расчетного створа L , м	500	550	600	700	650	750	680	800	780	675	570	590	730	830	450
Расстояние между сечением выпуска и створа в нормальном направлении L_n , м	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Средняя глубина русла реки H , м	15	10	11	12	13	14	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	10,8	16
Средняя по сечению русла скорость течения реки ω , м/с	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Коэффициент Шези $C_{ш}$, $m^{0,5}/c$	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44	40-44
Объем водоемов V , $10^6 \cdot m^3$	5	3	3,5	4	4,5	5,5	3,2	4,2	5,2	6	7	7,2	6,5	7,5	6,2
Объем расхода воды водоема $Q_{в}$, $m^3/ч$	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000
Объем расхода сточных вод $Q_{с}$, $m^3/ч$	500	300	450	510	520	530	440	460	470	480	490	540	550	560	500
Потери воды $Q_{п}$, $m^3/ч$	500	300	450	510	520	530	440	460	470	480	490	540	550	560	500

Список литературы

- 1 **Тотай, А. В.** Экология : учеб. пособие для бакалавров / А. В. Тотай ; под общ. ред. А. В. Тотая. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2012. – 411 с.
- 2 Промышленная экология : учеб. пособие / Е. А. Алябышева [и др.]. – Йошкар-Ола : Марий. гос. ун-т, 2010. – 110 с.
- 3 **Власов, П. П.** Краткий курс экологии : учеб. пособие / П. П. Власов, М. В. Орлова, Н. В. Тарасенков. – СПб. : СПбГУТД, 2010. – 134 с.
- 4 Экология : учеб. пособие для вузов / С. Д. Галюжин [и др.] ; под ред. А. В. Тотая. – Брянск : БГТУ, 2009. – 352 с.
- 5 **Чистик, О. В.** Экология : учеб. пособие / О. В. Чистик. – Минск : Універсітэцкае, 2000. – 186 с.
- 6 **Маврищев, В. В.** Основы экологии : учебник / В. В. Маврищев. – Минск : Выш. шк., 2005. – 416 с.
- 7 **Киселев, В. Н.** Основы экологии : учеб. пособие / В. Н. Киселев. – Минск : Універсітэцкае, 2000. – 383 с.
- 8 Источники загрязнения объектов окружающей среды : метод. указания к лаб. и практ. занятиям / Сост. А. И. Байтелова, С. В. Шабанова. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2003. – 47 с.
- 9 **Лебедева, М. И.** Экология : учеб. пособие / М. И. Лебедева, И. А. Анкудимова. – Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т, 2002. – 80 с.
- 10 **Хван, Т. А.** Промышленная экология : учеб. пособие / Т. А. Хван. – Ростов н/Д : Феникс, 2003. – 320 с.
- 11 **Гарин, В. М.** Экология для технических вузов : учеб. пособие / В. М. Гарин, И. А. Кленова, В. И. Колесников ; под ред. В. М. Гарина. – Ростов н/Д : Феникс, 2003. – 384 с.
- 12 Основы экологии : метод. указания и задания для студентов строит. спец. к практ. занятиям / Сост. Н. Н. Баранов, Р. И. Ленкевич. – Минск : БНТУ, 2006. – 48 с.
- 13 **Лебедева, М. И.** Экология : учеб. пособие / М. И. Лебедева. – Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т, 2002. – 80 с.
- 14 Контроль состояния окружающей среды и защита от антропогенных загрязнений : учеб. пособие для вузов / Л. А. Коваленко [и др.] ; под ред. В. В. Скибенко. – 2-е изд., стер. – М. : МЭИ, 2010. – 448 с.