



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

# **ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к контрольной работе по одноименному курсу  
для студентов заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2007

УДК 623.459.61.8+614.8(075.8)  
ББК 68.9я73  
З-40

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 3 от 20.12.2005 г.)*

Авторы-составители: *Н. С. Крючек, О. Ю. Морозова, В. А. Новикова*

Рецензент: ст. преподаватель каф. «Автоматизированный электропривод»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. В. Шаноров*

**3-40** **Защита** населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : метод. указания к контрол. работе по одноим. курсу для студентов заоч. формы обучения / авт.-сост.: Н. С. Крючек, О. Ю. Морозова, В. А. Новикова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 38 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-505-3.

Рассматривается методика выполнения контрольной работы, даны варианты, приведены примеры решения задач.  
Для студентов заочной формы обучения.

**УДК 623.459.61.8+614.8(075.8)**  
**ББК 68.9я73**

**ISBN 978-985-420-505-3**

© Крючек Н. С., Морозова О. Ю., Новикова В. А.,  
составление, 2007  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2007

## Введение

В общем виде жизнедеятельность человека осуществляется в системе «человек – среда». Элемент этой системы «среда» может представляться рядом подсистем, например: рабочее место, бытовые условия, производство, окружающая природная среда и др. Система «человек – среда» – двухцелевая. Одна цель состоит в достижении определенного эффекта (социального или экономического). Другая – в исключении или снижении нежелательных последствий (ущерб здоровью, гибель людей, пожары, взрывы, аварии и др.). Факторы, явления и процессы, вызывающие нежелательные последствия в жизнедеятельности человека, называются *опасностями*.

Жизнь человека зависит от многих факторов опасностей. Они различны по природе происхождения, по составу и свойствам, строению, характеру воздействия. По природе происхождения опасности подразделяются на природные, техногенные, антропогенные, экологические, смешанные.

*Природные источники* – это опасные явления природы и стихийные бедствия.

*Техногенные источники* включают аварии и катастрофы в промышленности, на транспорте, в строительстве, системах жизнеобеспечения, выбросы опасных веществ в окружающую природную среду и др.

*Антропогенные источники* определяются характером и степенью воздействия и взаимодействия человека с природой. Процессы взаимодействия человека с природой можно в общем плане представить следующим образом. Человек берет у природной среды необходимые ему вещества, энергию, информацию; преобразовывает их в полезные для себя продукты (материальные, духовные) и возвращает в природу отходы своей деятельности. Материально-производственная часть деятельности человека выражается в незамкнутой цепи:



Каждый из этих элементов влечет за собой негативные последствия: 1) реально отрицательные (эрозия, загрязнение окружающей природной среды и др.); 2) потенциально опасные (исчерпание ресурсов, техногенные катастрофы и др.).

*Экологические источники* связаны с изменением суши, состава и свойств атмосферы, гидросферы и биосферы, неблагоприятными климатическими последствиями; несут за собой катастрофические последствия для человечества и биологического мира. Взаимосвязь общества и природы зависит прежде всего от качественного и количественного роста потребностей человека и эколого-ресурсных возможностей биосферы.

*Смешанные источники* – это, прежде всего, источники социально-политического и морально-нравственного характера (низкий экономический уровень жизни, неудовлетворенность в потребностях человека (в пище, одежде, жилище, общении, познании и др.), война, диверсия, террористические акты, социально-политические конфликты).

Принято считать, что наиболее важными в благосостоянии человека являются здоровье и материальная обеспеченность. Жизненные источники, обеспечивающие здоровье и материальную обеспеченность, разнообразны, во многом зависят от степени воздействия факторов опасностей. Для человека и биологического мира жизненные источники определяются, прежде всего, средой жизни.

*Среда* – это все, что окружает организм и прямо или косвенно влияет на его состояние, развитие, рост, выживаемость, размножение и др. Среда определяет условия жизни, представляющие собой комплекс экологических факторов, находящихся в неразрывном единстве, без которых организм существовать не может. Одними из важнейших экологических факторов являются видимый свет, температура, вода. На свету происходит образование хлорофилла и осуществляется важнейший в биосфере процесс фотосинтеза. Температура среды оказывает существенное формообразующее влияние на животных, живые организмы. Вода служит основной частью протоплазмы клеток, тканей, растительных соков. Только при наличии воды в организме могут осуществляться биохимические процессы ассимиляции и диссимиляции, газообмен и др. процессы.

Опасности могут быть потенциальными (скрытыми) и реальными. Чтобы потенциальная опасность могла реализоваться, необходимы определенные условия или события. Как в мирное, так и в военное время эти события могут носить чрезвычайный характер.

*Чрезвычайное (экстремальное событие)* – это событие любого характера, заключающееся в резком отклонении от нормы протекающих процессов или явлений. Под нормой понимается такое протекание процесса или явления, к которому население и производство приспособ-

билось путем длительного опыта или научно-технических разработок. Совокупность чрезвычайных событий и условий, сложившихся на данной территории, составляет чрезвычайную ситуацию (ЧС).

*Чрезвычайная ситуация (ЧС)* – это обстановка, сложившаяся в результате аварии, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые повлекли или могут повлечь за собой человеческие жертвы, вред здоровью людей и окружающей среде, значительные материальные потери.

Для Республики Беларусь наиболее характерными источниками опасностей являются:

1. *Радиационная опасность*, исходящая от 4-х АЭС, расположенных за пределами РБ (Игналинская, Смоленская, Чернобыльская и Ровенская). Опасность представляют радиоактивные вещества, которые используются более чем на 1000 предприятиях и организациях республики.

2. *Химическая опасность*. Эту опасность представляют предприятия химической и нефтеперерабатывающей промышленности, промышленности минеральных удобрений, а также химические вещества, перевозимые автомобильным и железнодорожным транспортом. В республике насчитывается 347 химически опасных объектов с общим запасом СДЯВ более 40 тыс. т. Из них первой степени опасности (в зону возможного заражения могут попасть более 75 тыс. человек) – 3 (ПО «Полимер» – г. Новополоцк, ПО «Азот» – г. Гродно, «Водоканал» – г. Минск); второй степени опасности (в зону химического заражения может попасть 40–75 тыс. человек) – 12; третьей степени опасности (в зону химического заражения может попасть менее 40 тыс. человек) – 252; четвертой степени опасности (зона химического заражения определяется пределами объекта) – 107.

3. *Пожаро- и взрывоопасность*. Эта опасность исходит от взрывчатых веществ, хранящихся на складах и базах ряда министерств и ведомств (всего около 200) и более 150 пожароопасных объектов, в т. ч.: предприятий газового хозяйства – 22, «Лакокраска» – 4, льноперерабатывающих – 46, деревообрабатывающих – 24, по добыче торфа – 24 и др.

4. *Биологическая опасность*. В Республике Беларусь имеется до 500 природных очагов сибирской язвы, туляремии, геморрогической лихорадки, природные очаги бешенства диких животных; наблюдаются поражения сельскохозяйственных культур бурой ржавчиной, фитофторозом, картофельной софкой, колорадским жуком и др.

5. *Гидродинамическая опасность.* В Республике Беларусь общая протяженность дамб и плотин составляет более 850 км. Особая опасность прорыва дамб и плотин сохраняется в Брестской и Гомельской областях.

6. *Опасность стихийных бедствий.* Среди стихийных бедствий наибольшую опасность республике представляют ураганы, наводнения, лесные и торфяные пожары, ливни, засухи, смерчи. Они ежегодно наносят народному хозяйству республики огромный ущерб, иногда и с человеческими жертвами.

7. *Экологическая опасность.* Под экологической опасностью понимают вероятность ухудшения под влиянием природных факторов и хозяйственной деятельности человека показателей качества природной среды, что может привести к угрозе жизни и здоровью людей, или к угрозе существования экологических компонентов. В республике только средних и крупных предприятий около 2100, которые имеют 63 тысячи источников выбросов. Кроме того, в республике имеется более 1,5 млн легковых и около 200 тыс. грузовых машин и автобусов, каждый из которых выбрасывает в воздух более 40 наименований вредных веществ. Ежегодно в водоемы выбрасывается более 1 млрд м<sup>3</sup> сточных вод. Происходит загрязнение почвы, падает урожайность, изменяется климат, сохраняется опасность разрушения экологических систем.

Экологическая опасность проявляется в глобальном экологическом кризисе, основными причинами которого являются:

- технология современного производства, приводящая к загрязнению окружающей среды;
- отсутствие осознания человечеством угрозы своему существованию как виду.

## **Методические указания по выполнению контрольной работы**

По курсу «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность» студенты заочного отделения выполняют одну контрольную работу.

Контрольная работа состоит из шести заданий по двум разделам: общего вопроса, вопроса по вариантам и комплексной задачи № 1 по разделу «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях», а также общей задачи, вопроса по вариантам и комплексной задачи № 2 по разделу «Основы радиационной безопасности».

Вариант выбирается по сумме двух последних чисел номера зачетной книжки студента. Например, номер зачетной книжки 505053, тогда номер варианта будет соответствовать сумме  $5 + 3 = 8$ , т. е. 8-й вариант.

На титульном листе обязательно указание шифра зачетной книжки, иначе контрольная работа будет возвращена без проверки.

На первой странице указывается номер варианта, дается план ответа с указанием номера страницы, на которой начинается ответ на соответствующее задание. На последней странице предоставляется список используемой литературы.

Оформление каждого пункта контрольной работы должно начинаться с указания его номера и полного текста задания, включая исходные данные. Студент дает краткий, но четкий ответ по существу вопроса.

Приведенные вопросы по вариантам по разделам «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях» и «Основы радиационной безопасности» (пп. 1.2 и 2.2) рекомендуется использовать при подготовке к сдаче зачета.

# Раздел 1

## Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях

### 1.1. Общий вопрос

Дать характеристику источников опасностей для населения, объектов экономики и экологической среды, характерных для Республики Беларусь.

### 1.2. Вопросы по вариантам к контрольным заданиям

(дается ответ на один из вопросов в соответствии с вариантом)

1. Определение чрезвычайных ситуаций, причины возникновения.
2. Определение и причины возникновения аварий и катастроф.
3. Чрезвычайные ситуации, вызванные пожарами и взрывами.
4. Основные свойства СДЯВ типа аммиак, хлор, защита от них.
5. Основные свойства СДЯВ типа синильная кислота, сероводород, защита от них.
6. Краткая характеристика воздушной ударной волны, меры защиты от нее.
7. Зона химического заражения и очаги химического поражения.
8. Классификация чрезвычайных ситуаций экологического характера.
9. Общая схема оценки обстановки, выявление чрезвычайных ситуаций, их прогнозирование и предупреждение.
10. Оповещение населения о чрезвычайных ситуациях.
11. Права и обязанности граждан в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.
12. Факторы, представляющие опасность для жизни и здоровья человека.
13. Гражданская оборона РБ, ее структура и задачи.
14. Силы и средства ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.
15. Основы устойчивости работы хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях, факторы, влияющие на устойчивость.
16. Организация обучения населения РБ в системе ГО.
17. Последствия чрезвычайных ситуаций экологического характера для человеческой цивилизации.
18. Радиоактивное заражение местности, характеристика зон РЗ.



19. Особо опасные инфекционные болезни людей и животных.
20. Меры защиты и основные принципы профилактики инфекционных заболеваний.

### **1.3. Комплексная задача № 1**

#### ***Прогнозирование и оценка химической обстановки при авариях на химически опасных объектах и транспорте***

На химически опасном объекте произошла авария с выбросом (разливом) СДЯВ. Исходные данные для прогнозирования масштабов заражения СДЯВ приведены в таблице вариантов № 1 (табл. 1.1). Все СДЯВ находятся в сжиженном состоянии. На удалении 2 км от границы объекта располагается жилой массив. Рабочие и служащие объекта обеспечены на 100 % табельными СИЗ от СДЯВ, население жилой зоны – на 20 %.

Оценить возможную химическую обстановку, в ходе которой определить:

- 1) степень вертикальной устойчивости атмосферы на момент аварии;
- 2) эквивалентное количество ядовитого вещества в первичном и вторичном облаках (т);
- 3) глубину зоны заражения первичным и вторичным облаками (км);
- 4) полную и предельно возможную глубину зоны заражения (км);
- 5) площадь возможного и фактического заражения (км<sup>2</sup>);
- 6) время подхода зараженного воздуха к жилому массиву (ч);
- 7) продолжительность поражающего действия СДЯВ (ч);
- 8) возможные потери рабочих и служащих объекта и населения от воздействия СДЯВ (%);
- 9) составить схему зоны заражения СДЯВ;
- 10) подготовить предложения для принятия решения руководителем объекта по защите от СДЯВ рабочих и служащих объекта и населения жилого массива (по планам объектов).

Таблица 1.1

Таблица вариантов № 1

№ варианта	Тип СДЯВ	Тип хранилища, кол-во	Кол-во СДЯВ в хранилище, т	Скорость ветра, м/с	Характер разлива	Высота поддона (обваловки), м	Время, прошедшее после аварии, ч	Температура воздуха, °С	Состояние погоды, облачность	Период времени в течение суток
1	А	Е,3	60	1,0	О	3	1	0	Ясно	Вечер
2	С	Е,3	40	2,0	П	3	2	0	Сплошная	Утро
3	Х	Ц,3	50	2,0	П	3	3	0	Переменная	День
4	А	Тр	400	1,0	СВ	–	4	0	Ясно	День
5	Ф	Е,2	50	1,0	О	2	5	+10	Сплошная	Ночь
6	С	Е,1	50	1,0	П	1	6	+10	Переменная	День
7	А	Ц,2	40	2,0	СВ	–	1	+10	Ясно	Вечер
8	А	Тр	300	3,0	СВ	–	2	+10	Сплошная	Ночь
9	Х	Е,2	40	5,0	П	2	3	+20	Переменная	Утро
10	С	Е,2	60	4,0	О	2	4	+20	Ясно	Вечер
11	Ф	Ц,2	60	4,0	О	1	5	+20	Ясно	Ночь
12	А	Тр	400	1,0	СВ	–	6	+20	Переменная	День
13	Ф	Е,2	50	2,0	П	3	1	+10	Ясно	Ночь
14	Х	Е,1	40	3,0	О	1	2	-10	Переменная	Утро
15	С	Ц,3	50	3,0	О	2	3	-10	Переменная	Вечер
16	А	Тр	350	4,0	СВ	–	4	-20	Ясно	Утро
17	А	Е,2	60	6,0	О	2	5	-20	Сплошная	День
18	С	Е,3	30	5,0	П	3	1	-20	Переменная	Утро
19	Ф	Ц,1	40	4,0	П	1	2	+30	Ясно	Ночь
20	Х	Тр	300	5,0	СВ	–	3	-20	Переменная	Вечер

Примечание: 1. А – аммиак, Х – хлор, Ф – фосген, С – сероводород.

2. О – обваловка, П – поддон, СВ – свободный разлив.

3. Е – емкость, Ц – цистерна, Тр – трубопровод.

## Теоретические сведения

**Химически опасный объект (ХОО)** – объект, при аварии или разрушении которого могут произойти массовые поражения людей, животных, растений сильнодействующими ядовитыми веществами.

**Сильнодействующее ядовитое вещество (СДЯВ)** – это химическое вещество, применяемое в народном хозяйстве, которое при выливе или выбросе может приводить к загрязнению воздуха на уровне поражающей концентрации.

К химическим веществам, материалам как *источникам ядовитых веществ* относятся:

а) летучие сильнодействующие ядовитые вещества;

б) СДЯВ (хлор, аммиак, синильная кислота, фосген, гидразины, олеум, сероуглерод), если их масса на предприятии удовлетворяет соотношению:

$$\frac{M_1 \cdot A_1 \cdot K_1}{100 \cdot C_1 \cdot X_1} + \dots + \frac{M_n \cdot A_n \cdot K_n}{100 \cdot C_n \cdot X_n} \geq 0,1, \quad (1.1)$$

где  $M$  – масса продукта, т;

$A$  – процент содержания СДЯВ в продукте;

$C_n$  – поражающая концентрация, мг/м<sup>3</sup> (поражение в течение 1–3 часов);

$K$  – коэффициент, равный: 1 – при  $C_n < 100$  мг/м<sup>3</sup>; 2 – при  $C_n = 101–500$  мг/м<sup>3</sup>; 3 – при  $C_n > 500$  мг/м<sup>3</sup>;

$X$  – коэффициент условий хранения под землей, равный 1,5 – для газообразных веществ; 3,0 – для жидких и твердых веществ;

в) летучие токсические вещества (амилацетат, растворители, бензин, фреоны), если их масса в крупных наземных емкостях (цистернах) составляет для газообразных веществ 10 т, жидких и твердых – 30 т, а соответственно в подземных – 15 и 90 т. В мелкой таре (бочки, баллоны), в наземных складах для газообразных веществ – 15 т, в подземных складах – соответственно 25 и 150 т;

г) материалы, выделяющие при горении (пожаре) ядовитые газы (герметики, клеи, краски, пластмассы, кожи, сера), если их масса более 1000 т;

д) химические вещества самовоспламеняющиеся или взрывающиеся при контакте с водой (калий, карбид кальция, амальгамы), если их масса более 1 т;

е) химические вещества самовозгорающиеся на воздухе со взрывом (порошки алюминия, магния, цинка, циркония), если их масса более 1 т.

Кроме того, на предприятиях имеются газобаллонные, запорочные станции с газовоздушными и топливными смесями (кислород, ацетилен, пропан, углекислый газ, топливо), являющиеся потенциально опасными источниками.

Поведение СДЯВ и газов на местности, в воздухе и их воздействие на организм человека определяется физико-химическими и токсическими свойствами, краткие данные которых приведены в таблице.

Основными характеристиками СДЯВ являются степень их токсичности и стойкости.

**Токсичность** – способность вещества вызывать поражающее действие при попадании в организм человека, животных, окружающей среды.

Для характеристики степени токсичности СДЯВ пользуются понятиями:

– *пороговая концентрация* – наименьшее количество вещества, которое может вызвать ощутимый физиологический эффект;

– *предел переносимости* – минимальная концентрация, которую человек может перенести без устойчивого отклонения в состоянии здоровья;

– *смертельная концентрация* – концентрация, вызывающая смертельный исход, т. е. опасная для жизни концентрация;

– *токсодоза* – такое количество химически токсичного вещества, при попадании которого в организм возникают симптомы поражающего действия.

**Стойкость** – способность вещества сохранять свое поражающее действие в воздухе или на местности в течение определенного промежутка времени.

По степени стойкости вещества подразделяются на стойкие и нестойкие.

*Стойкие* – вещества, сохраняющие свое поражающее действие от нескольких часов до нескольких дней и даже недель.

*Нестойкие* – вещества, заражающие воздух на относительно непродолжительное время – от нескольких минут до 1–2-х часов.

Глубина распространения СДЯВ растет при увеличении концентрации и скорости ветра. В городах и населенных пунктах (вследствие нагревания домов) наблюдается распространение облака по магистральным улицам от периферии к центру. Это способствует проникно-

вению СДЯВ во дворы, тупики и создает опасность поражения людей. Некоторые СДЯВ имеют особенности: взрывоопасны (окислы азота, гидразины, аммиак), пожароопасны (хлор, фосген). При горении серы выделяется сернистый ангидрид, полиуретана – синильная кислота, герметика – фосген, окись углерода и т. д. Под *аварией на химически опасном объекте* понимают нарушение технологических процессов на производстве, повреждение трубопроводов, емкостей, хранилищ, транспортных средств, приводящие к выбросу СДЯВ в атмосферу в количествах, которые могут вызвать массовые поражения людей и животных.

Таким образом, аварии на химически опасных объектах могут носить комплексный характер и сопровождаются пожарами, взрывами и химическим заражением местности и воздуха. Масштабы заражения ядовитыми веществами, в зависимости от их физико-химических свойств и агрегатного состояния, рассчитываются по первичному и вторичному облакам. Сжатые газы дают только первичное облако; ядовитые вещества с температурой кипения больше температуры окружающей среды дают только вторичное облако; сжиженные газы образуют первичное и вторичное облака.

*Первичное облако* – облако СДЯВ, образующееся в результате мгновенного (1–3 мин) перехода в атмосферу части СДЯВ из емкости при ее разрушении.

*Вторичное облако* – облако СДЯВ, образующееся в результате испарения разлившегося вещества с подстилающей поверхности.

В результате распространения облака СДЯВ по направлению ветра образуются одна или несколько зон химического заражения.

*Зона химического заражения* – это территория, на которой концентрация СДЯВ в воздухе представляет опасность для жизни людей, животных и растений.

В зависимости от условий распространения СДЯВ в зоне заражения может возникнуть один или несколько очагов поражения. *Очаг химического поражения* – это территория, на которой произошло массовое поражение людей, животных, растений. Число таких очагов обычно равно числу населенных пунктов, попавших в зону заражения.

Таблица 1.2

## Основные свойства СДЯВ, наиболее распространенных в народном хозяйстве

Классификация	Тип СДЯВ	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура кипения, °С	Поражающая концентрация, мг/м <sup>3</sup>	Экспозиция, мин	Д <sub>пор</sub> , мг·мин/ 50%пор	ПДК в рабочем помещении, мг/м <sup>3</sup>
Удушающие	Хлор	1,56	-34,6	0,01	60	1	1
	Фосген	1,43	8,2	0,02	30	1,2	0,5
	Хлорпикрин	1,66	112	0,2	60	0,2	0,7
Обще- ядовитые	Синильная кислота	0,7	25,6	0,02	60	1,2	0,3
	Оксись углерода	0,97	-190	0,2	150	30	20
Удушающе- общееядовитые	Сернистый ангидрид	1,46	-10	0,4	60	24	10
	Окислы азота	1,5	21	0,05	60	3	2
	Сероводород	1,5	-60	0,4	60	24	10
Удушающе- нейротропные	Аммиак	0,68	-33,4	1	60	60	20
Нейротропные	Сероуглерод	1,26	46	1,5	60	90	1

## Методические указания по решению задачи

1. Степень вертикальной устойчивости атмосферы определяется по состоянию облачности, времени суток, скорости ветра и наличию или отсутствию снежного покрова (табл. 1.3).

Различают три степени вертикальной устойчивости атмосферы:

*инверсия* – устойчивое состояние, возникающее, когда температура почвы ниже температуры воздуха. Нижние слои воздуха холоднее верхних, восходящие потоки воздуха отсутствуют; концентрация загрязнителя в воздухе сохраняется длительное время;

*конвекция* – неустойчивое состояние, когда нижние слои воздуха нагреты сильнее верхних. Температура почвы выше температуры воздуха, восходящие потоки воздуха сильно развиты, происходит интенсивное разбавление загрязнителя, быстрое распространение зараженного воздуха;

*изотермия* – промежуточное состояние, когда температура воздуха и почвы приблизительно равны. Происходит распространение зараженного воздуха, однако медленнее, чем при конвекции.

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

Эквивалентное количество вещества в первичном облаке  $Q_{э1}$ , (т) определяется по формуле:

$$Q_{э1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0, \quad (1.2)$$

где  $K_1$  – коэффициент, зависящий от условий хранения СДЯВ – выбирается из табл. 1.4 (для сжатых газов  $K_1 = 1$ );

$K_3$  – коэффициент, равный отношению токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого СДЯВ – выбирается из табл. 1.4;

$K_5$  – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости атмосферы, принимается равным: для инверсии – 1; для изотермии – 0,23; для конвекции – 0,08;

$K_7$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха – выбирается из табл. 1.4 (для сжатых газов  $K_7 = 1$ );

$Q_0$  – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

Таблица 1.3

**Определение степени вертикальной устойчивости атмосферы по прогнозу погоды**

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	ясно, перем. облачность	сплошная облачность	ясно, перем. облачность	сплошная облачность	ясно, перем. облачность	сплошная облачность	ясно, перем. облачность	сплошная облачность
< 2	ин	из	из (ин)	из	к (из)	из	ин	из
2–4	ин	из	из (ин)	из	из	из	из (ин)	из
> 4	из	из	из	из	из	из	из	из

Примечание: ин – инверсия, из – изотермия, к – конвекция. Буквы в скобках – при снежном покрове.

Таблица 1.4

**Характеристика СДЯВ и вспомогательные коэффициенты для определения глубины зоны за-  
ражения**

№ п/п	СДЯВ	Плотность СДЯВ		Темпе- ратура кипе- ния, °С	Пороговая токсодоза, (мг·мин)/л	Значения вспомогательных коэффициентов							
		газ	жид- кость			К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>	К <sub>7</sub> для температуры воздуха, °С				
									-40	-20	0	20	40
1	Аммиак	0,0008	0,681	-33,42	15	0,18	0,025	0,04	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
2	Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
3	Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	2,7/1
4	Хлор	0,0032	1,553	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1	1,4/1
5	Фтор	0,0017	1,512	188,2	0,2	0,95	0,038	3,0	0,7/1	0,8/1	0,9/1	1/1	1,1/1
6	Хлорпикрин	–	1,658	112,3	0,02	0	0,002	30,0	0,03	0,1	0,3	1	2,9
7	Хлорциан	0,021	1,220	12,6	0,75	0,004	0,048	0,80	0	0	0/0,6	1/1	3,9/1



Окончание табл. 1.4

№ п/п	СДЯВ	Плотность СДЯВ		Темпе- ратура кипе- ния, °С	Пороговая токсодоза, (мг·мин)/л	Значения вспомогательных коэффициентов							
		газ	жид- кость			К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>	К <sub>7</sub> для температуры воздуха, °С				
									-40	-20	0	20	40
8	Сероуглерод	–	1,263	46,2	45	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
9	Соляная кислота	–	1,198	–	2	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
10	Метиламин	0,0014	0,699	-6,5	1,2	0,13	0,034	0,5	0/0,3	0/0,7	0,3/1	1/1	1,8/1
11	Метилакрилат	–	0,953	80,2	6	0	0,005	0,1	0,1	0,2	0,4	1	3,1

Примечание: 1. Плотность газообразных СДЯВ в графе 3 приведены для атмосферного давления: при давлении в емкости, отличном от атмосферного, плотности определяются путем умножения данных графы 3 на значение давления в атмосферах (1 атм = 760 мм рт. ст.).

2. Значения К<sub>7</sub> в графах 10–14 в числителе приведены для первичного, в знаменателе – для вторичного облака.

Значение  $Q_0$  при расчетах берется равным общему количеству СДЯВ во всех емкостях, цистернах или трубопроводе для заданного варианта.

Эквивалентное количество вещества во вторичном облаке  $Q_{32}$ , (т) рассчитывается по формуле:

$$Q_{32} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot d}, \quad (1.3)$$

где  $K_2$  – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств СДЯВ – выбирается из табл. 1.4;

$K_4$  – коэффициент, учитывающий скорость ветра – выбирается из табл. 1.5;

$K_6$  – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии;

$d$  – плотность СДЯВ – выбирается из табл. 1.4 для жидкости, т/м<sup>3</sup>;

$h$  – толщина слоя СДЯВ, м.

Таблица 1.5

Значение коэффициента  $K_4$  в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
$K_4$	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,67

Значение коэффициента  $K_6$  определяется после расчета продолжительности испарения вещества  $T$ , которая рассчитывается по формуле (1.11).

При этом значение коэффициента  $K_6$  рассчитывают следующим образом:

$$K_6 = N^{0,8}, \text{ если } N < T;$$

$$K_6 = T^{0,8}, \text{ если } N \geq T$$

при  $T < 1$  часа,  $K_6 = 1$ .

Толщина  $h$  слоя СДЯВ зависит от характера разлива и принимается равной 0,05 м по всей площади разлива для СДЯВ, разлившихся *свободно* на подстилающей поверхности; для СДЯВ, разлившихся в *поддон* или *обваловку*, толщина слоя  $h$  рассчитывается следующим образом:

$$h = H - 0,2, \quad (1.4)$$

где  $h$  – толщина слоя СДЯВ, м;

$H$  – высота поддона (обваловки), м (табл. 1.1).

3. Расчет глубины зоны заражения СДЯВ определяется из таблицы 1.6.

В табл. 1.6 приведены значения глубины зоны заражения первичным ( $\Gamma_1$ ) и вторичным ( $\Gamma_2$ ) облаком СДЯВ, определяемые в зависимости от эквивалентного количества вещества в первичном облаке  $Q_{\text{э}1}$  и вторичном облаке  $Q_{\text{э}2}$  и скорости ветра.

Чаще всего полученные значения  $Q_{\text{э}1}$  и  $Q_{\text{э}2}$  не совпадают с табличным, поэтому для более точного расчета  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  используется формула интерполирования.

Например, при расчетах получилось, что  $Q_{\text{э}1} = 0,224$  т, заданная по условию скорость ветра – 2 м/с.

Значение  $Q_{\text{э}1} = 0,224$  т находится в табл. 1.6 в промежутке между  $Q_{\text{тм}} = 0,1$  т и  $Q_{\text{тб}} = 0,5$  т ( $Q_{\text{тм}}$  – табличное меньшее, а  $Q_{\text{тб}}$  – табличное большее значение эквивалентного количества СДЯВ). Для этих значений при скорости ветра 2 м/с находим, что  $\Gamma_{\text{тм}} = 0,84$  км,  $\Gamma_{\text{тб}} = 1,92$  км.

Значение глубины зоны заражения первичным облаком  $\Gamma_1$ :

$$\Gamma_1 = \Gamma_{\text{тм}} + \left( \frac{\Gamma_{\text{тб}} - \Gamma_{\text{тм}}}{Q_{\text{тб}} - Q_{\text{тм}}} \right) (Q_{\text{э}1} - Q_{\text{тм}}), \quad (1.5)$$

т. е.  $\Gamma_1 = 0,84 + \left( \frac{1,92 - 0,84}{0,5 - 0,1} \right) (0,224 - 0,1) = 1,175$  (км).

Аналогичным образом рассчитываем значение глубины зоны заражения вторичным облаком  $\Gamma_2$ , но за исходные данные берем значение  $Q_{\text{э}2}$  и заданную скорость ветра.

4. Полная глубина зоны заражения  $\Gamma_{\text{п}}$  (км), обусловленная воздействием первичного и вторичного облаков СДЯВ, определяется:

$$\Gamma_{\text{п}} = \Gamma' + 0,5 \cdot \Gamma'', \quad (1.6)$$

где  $\Gamma'$  – наибольший,  $\Gamma''$  – наименьший из значений  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ .

Полученное значение сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс  $\Gamma_{\text{пр}}$ , определяемым по формуле:

$$\Gamma_{\text{пр}} = N \cdot v, \quad (1.7)$$

где  $N$  – время, прошедшее после аварии, ч;

$v$  – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч (табл. 1.7).

Таблица 1.6

## Глубина зоны заражения (км)

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество СДЯВ, т											
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20	30	50	100
≤ 1	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	81,91
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44	21,02	28,73	44,09
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,59	31,30
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	24,80
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	20,82
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	18,13
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	16,17
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92	7,42	9,90	14,68
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60	6,86	9,12	13,50
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31	6,50	8,01	12,54
12	0,11	0,24	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43	4,85	5,94	7,67	11,06
14	0,10	0,23	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17	4,49	5,50	7,10	10,04
≥ 15	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34	5,31	6,86	9,70

Таблица 1.7

Скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха  $v$  (км/ч) в зависимости от скорости ветра

Степень вертикальной устойчивости	Скорость ветра, м/с													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15
Инверсия	5	10	16	21	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Изотермия	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	82	88
Конвекция	7	14	21	28	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Для дальнейших расчетов принимается *меньшее* из значений  $\Gamma_{\text{п}}$  и  $\Gamma_{\text{пр}}$ . Обозначим его  $\Gamma_{\text{р}}$ .

5. Площадь зоны возможного заражения облака СДЯВ определяется по формуле:

$$S_{\text{в}} = 8,72 \cdot 10^{-3} \Gamma_{\text{р}}^2 \cdot \varphi, \quad (1.8)$$

где  $S_{\text{в}}$  – площадь зоны возможного заражения СДЯВ, км<sup>2</sup>;

$\Gamma_{\text{р}}$  – расчетная глубина зоны заражения, км;

$\varphi$  – угловые размеры зоны возможного заражения, град (табл. 1.8).

Таблица 1.8

**Угловые размеры зоны возможного заражения**

Скорость ветра, м/с	< 0,5	0,6–1	1,1–2	> 2
Угловые размеры зоны возможного заражения, град.	360	180	90	45

Площадь зоны фактического заражения  $S_{\text{ф}}$  (км<sup>2</sup>) рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{ф}} = K_8 \cdot \Gamma_{\text{р}}^2 \cdot N^{0,2}, \quad (1.9)$$

где  $K_8$  – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха и принимается равным 0,081 при инверсии; 0,133 при изотермии; 0,235 при конвекции;

$N$  – время, прошедшее после аварии, ч.

6. Время подхода облака СДЯВ к заданному объекту зависит от скорости переноса облака воздушным потоком и определяется по формуле:

$$t = \frac{x}{v}, \quad (1.10)$$

где  $x$  – расстояние от источника заражения до заданного объекта, км;

$v$  – скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха, км/ч (табл. 1.7).

7. Продолжительность поражающего действия СДЯВ определяется временем его испарения с площади разлива.

Время испарения СДЯВ с площади разлива  $T$  (ч) определяется по формуле:

$$T = \frac{h \cdot d}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7}, \quad (1.11)$$

где  $h$  – толщина слоя СДЯВ, м;

$d$  – плотность СДЯВ, т/м<sup>3</sup>;

$K_2, K_4, K_7$  – коэффициенты в формуле (1.3).

8. Возможные потери рабочих и служащих объекта и населения от воздействия СДЯВ определяются по таблицам 1.9 и 1.10 согласно обеспеченности СИЗ по условию задачи.

Таблица 1.9

**Возможные потери людей в очаге поражения, %**

Условия защиты	Обеспеченность людей противогазами, %						
	0	20	40	50	70	90	100
Открытая местность	> 90	75	50	50	35	18	5–10
Укрытия, здания	50	40	30	27	18	9	4

Примечание. Структура потерь: легкой степени – 25 %; средней тяжести – 40 %; смертельные поражения – 35 %.

Таблица 1.10

**Процент пораженных при отсутствии средств защиты во время распространения первичного облака**

Тип СДЯВ	Количество пораженных, %
1. Окись углерода	10–20
2. Хлор, аммиак, сернистый газ	20–30
3. Синильная кислота, фосген	30–40
4. Окись этилена	50–60

9. На топографических картах и схемах зона возможного заражения в зависимости от заданной скорости ветра, имеет вид окружности, полуокружности или сектора.

- При скорости ветра по прогнозу меньше 0,5 м/с зона заражения имеет вид окружности, радиус которой равен глубине зоны заражения. Источник заражения расположен в центре окружности.

- При скорости ветра по прогнозу 0,6–1 м/с зона заражения имеет вид полуокружности, радиус которой равен глубине зоны заражения; биссектриса угла совпадает с осью следа облака и ориентирована по направлению ветра. Источник заражения расположен в центре полуокружности.

- При скорости ветра по прогнозу больше 1 м/с зона заражения имеет вид сектора, центр которого соответствует источнику зараже-

ния. Угол сектора равен  $90^\circ$  при скорости ветра 1,1–2 м/с, при скорости ветра больше 2 м/с угол сектора равен  $45^\circ$ ; радиус сектора равен глубине зоны заражения; биссектриса сектора совпадает с осью следа облака и ориентирована по направлению ветра.

На данной схеме необходимо показать местоположение жилого массива по отношению к зоне заражения.

10. Предложения по защите от СДЯВ рабочих и служащих объекта и населения жилого массива принимаются по планам объекта или учебной литературе.

## Раздел 2

### Основы радиационной безопасности

Все живые существа Земли, в том числе и человек, развиваются в условиях постоянного воздействия различных естественных источников *ионизирующих излучений* (ИИ). Естественный радиационный фон есть неотъемлемый фактор окружающей среды. Он играет существенную роль в деятельности человека как и все вещества окружающей среды, с которыми организм человека находится в состоянии непрерывного обмена.

*Естественными радиоактивными веществами* принято считать такие, которые образовались и постоянно вновь образуются без участия человека. Это, прежде всего, радиоактивные элементы трех радиоактивных семейств (урана, тория, актиния), имеющие периоды полураспада от долей секунд до нескольких миллиардов лет, а также радиоактивные элементы, образовавшиеся, вероятно, одновременно с образованием планет Солнечной системы.

Естественные источники ИИ, формирующие естественный радиационный фон, включают: внешние источники внеземного происхождения (космическое излучение), внешние источники земного происхождения, внутренние источники (радионуклиды организма человека).

Космическое излучение (КИ) состоит из потока ядерных частиц, приходящих на земную поверхность из различных областей межзвездных пространств. Средняя энергия космических частиц составляет  $10^{10}$ – $10^{19}$  эВ. КИ подразделяется на первичное и вторичное. Первичное КИ состоит из протонов (92 %), ядер атомов гелия (7 %), ядер атомов бериллия, лития, углерода, кислорода ( $\Sigma \approx 0,8$  %) и др. частиц. Вторичное КИ возникает в результате взаимодействия космических частиц с атомами и молекулами воздуха. Источниками КИ являются галактическая и солнечная радиация, радиация заряженных частиц, образующих циркулирующие слои вокруг Земли.

Земная радиация образуется от радиоактивных изотопов, входящих в состав радиоактивных семейств, генетически не связанных с радиоактивными семействами элементов (калий-40, кальций-48, рубидий-87, элементы-лантаноиды), радиоактивных изотопов, непрерывно возникающих на Земле в результате ядерных реакций под воздействием КИ (углерод-14, тритий-3).

Существенный вклад в естественную радиоактивность вносит невидимый, без запаха газ радон. Радон в 7,5 раз тяжелее воздуха, вы-



деляется в процессе радиоактивного распада повсеместно. В зонах с умеренным климатом концентрация радона в закрытых помещениях в среднем в 8 раз выше, чем в наружном воздухе. Внутри помещений радон поступает через фундамент и пол из грунта, высвобождается из конструкций дома. Согласно оценке НКДАР ООН радон вместе со своими дочерними продуктами распада ответственен примерно за 3/4 годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации. Для удаления радона из помещения необходимо иметь хорошо работающие вентиляционные системы и вытяжки.

Радиоактивность тела человека обусловлена присутствием в организме тех радиоактивных изотопов, которые встречаются в биосфере.

*Искусственные источники* радиации включают источники ИИ, используемые в медицине, при создании ядерного оружия, на предприятиях ядерной промышленности, урановых рудниках, заводах по очистке урановых концентратов и изготовлению ТВЭЛов, экспериментальных и энергетических реакторах, при испытании ядерного оружия.

При добыче урановой руды образуются отходы в виде шахтных, рудничных отвалов и рудничного воздуха. В процессе работы АЭС и экспериментальных реакторов образуются газообразные, жидкие и твердые радиоактивные отходы в зависимости от видов теплоносителей. Значительному увеличению радиоактивности на Земле способствовали ядерные испытания в атмосфере, под землей и под водой.

При воздействии естественных и искусственных источников ИИ организм человека получает внешнее или внутреннее облучение. *Внешнее облучение* – облучение от источника ИИ, находящегося вне организма, *внутреннее* – от источника, находящегося внутри организма. Доза внутреннего облучения, создаваемая радиоактивным веществом, зависит от вида излучений, их энергии, характера распределения по органам и тканям и эффективного периода полувыведения. Биологический эффект от облучения организма выражается в развитии острой или хронической лучевой болезни и возникновении отдаленных последствий.

## 2.1. Общая задача

Используя данные по поверхностной активности территории (района, участка земли), сделать оценку возможности использования продуктов питания, выращенных на данной местности. Величину по-

верхностной активности взять равной  $A_s = n$ , Ки/км<sup>2</sup>, где  $n$  – номер варианта. Коэффициент перехода радионуклидов из почвы в растения  $K_{\pi} = 0,5$ .

### *Теоретические сведения и методические указания по решению*

Основная характеристика источника излучения – активность, количественная мера радиоактивности. Она характеризуется числом распадов радиоактивных ядер в единицу времени. Единица измерения активности в системе СИ – Беккерель (Бк). 1 Бк = 1 расп/с. Внесистемная единица называется Кюри (Ки). За 1 Ки принято число распадов в одном грамме радия. 1 Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк. 1 Бк =  $2,7 \cdot 10^{-11}$  Ки.

В практике измерений пользуются также понятиями объемной  $A_v$  (Бк/м<sup>3</sup>, Ки/м<sup>3</sup>), поверхностной  $A_s$  (Бк/м<sup>2</sup>, Ки/м<sup>2</sup>), удельной (массовой)  $A_m$  (Бк/кг, Ки/кг) активности.

Удельную, объемную и поверхностную активности можно записать в виде:  $A_v = A / v$ ;  $A_s = A / s$ ;  $A_m = A / m$ , где  $v$  – объем вещества,  $s$  – площадь поверхности вещества,  $m$  – масса вещества.

Известно, что  $A_m = A / m = A / s \cdot \rho \cdot h = A_s / \rho \cdot h = A_v / s$ , где  $\rho$  – плотность почвы, кг/м<sup>3</sup> (принимается равной 1000 кг/м<sup>3</sup>);  $h$  – корнеобитаемый слой почвы, принимается равным 0,2 м;  $s$  – площадь радиоактивного заражения, м<sup>2</sup>.

Тогда  $A_m = 5 \cdot 10^{-3} \cdot A_s$ ;  $A_m = 10^{-3} \cdot A_v$ .

Оценка возможности использования продуктов питания, выращенных на данной почве, оценивается по удельной активности радионуклидов:

$$A_m = 5 \cdot 10^{-3} A_s \cdot K_{\pi}, \quad (2.1)$$

где  $A_m$  – удельная активность радионуклидов, Бк/кг;

$A_s$  – поверхностная активность территории, Бк/м<sup>2</sup>;

$K_{\pi}$  – коэффициент перехода радионуклидов из почвы в растения.

Полученный результат сравнивается с республиканскими допустимыми уровнями (РДУ-99) для различных продуктов питания (табл. 2.1).

## 2.2. Вопросы по вариантам

(дается ответ на один из вопросов в соответствии с вариантом)

1. Понятие радиоактивности. Удельная, поверхностная и объемная активность.
2. Виды радиоактивного распада. Законы радиоактивного распада.
3. Физические основы защиты от радиоактивного излучения.
4. Естественные источники радиации.
5. Искусственные источники радиации.
6. Дозы излучения и единицы их измерения.
7. Мощность дозы излучения, единицы измерения.
8. Внутреннее и внешнее облучение человека.
9. Последствия облучения человека большими и малыми дозами.
10. Нормы радиационной безопасности.
11. Принципы радиационной защиты.
12. Социально-экономические потери РБ в результате катастрофы на ЧАЭС.
13. Дезактивация территории, объектов, техники, продуктов питания.
14. Законодательство Республики Беларусь по обеспечению радиационной безопасности населения.
15. Оказание первой медицинской помощи при радиоактивном облучении человека.
16. Роль витаминов в восстановлении здоровья. Санитарно-гигиенические мероприятия.
17. Экологические последствия для РБ в результате катастрофы на ЧАЭС.
18. Мероприятия по социальной защите населения.
19. Воздействие ионизирующих излучений на молекулу ДНК, белок, клетку, воду и их реакция на облучение.
20. Радиационная защита.

Таблица 2.1

**РЕСПУБЛИКАНСКИЕ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ  
содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90  
в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)**

(Утверждены Постановлением главного государственного санитарного  
врача Республики Беларусь № 16 от 26.04.1999 г. и внесены  
в Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь  
30 апреля 1999 г., регистрационный № 309)

**НОРМИРУЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ**

Наименование продукции	Ки/кг, Ки/л	Бк/кг, Бк/л
<b>Для цезия-137</b>		
Вода питьевая	$2,7 \cdot 10^{-10}$	10
Молоко и цельномолочная продукция	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Молоко сгущенное и концентрированное	$5,4 \cdot 10^{-9}$	200
Творог и творожные изделия, сыры сычужные и плавленые	$1,4 \cdot 10^{-9}$	50
Масло коровье	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Мясо и мясные продукты, в том числе: – говядина, баранина и продукты из них	$1,4 \cdot 10^{-8}$	500
– свинина, птица и продукты из них	$4,9 \cdot 10^{-9}$	180
Картофель	$2,2 \cdot 10^{-9}$	80
Хлеб и хлебобулочные изделия	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Мука, крупы. Сахар	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Жиры растительные	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Жиры животные, маргарин, овощи и корнеплоды	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Фрукты	$1,1 \cdot 10^{-9}$	40
Садовые ягоды	$1,9 \cdot 10^{-9}$	70
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	$2,0 \cdot 10^{-9}$	74
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	$2,7 \cdot 10^{-9}$	100
Грибы свежие	$1,0 \cdot 10^{-8}$	370
Грибы сушеные	$6,8 \cdot 10^{-7}$	2500
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления	$1,0 \cdot 10^{-9}$	37
Прочие продукты питания	$1,0 \cdot 10^{-8}$	370
<b>Для стронция-90</b>		
Вода питьевая	$1,0 \cdot 10^{-11}$	0,37
Молоко и цельномолочная продукция	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Хлеб и хлебобулочные изделия	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Картофель	$1,0 \cdot 10^{-10}$	3,7
Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	$5,0 \cdot 10^{-11}$	1,85

### 2.3. Комплексная задача № 2

В таблице вариантов № 2 (табл. 2.2) приведены радиоактивные цепочки для первых двух радионуклидов Чернобыльского выброса.

Таблица 2.2

Таблица вариантов № 2

№ варианта	Радиоактивная цепочка
1	Po (полоний) 210 → Pb (свинец) 206
2	Ra (радий) 226 → Rn (радон) 222 → Po (полоний) 218
3	Cm (кюрий) 242 → Pu (плутоний) 238 → U (уран) 234
4	U (уран) 238 → Th (торий) 234 → Pa (протактиний) 234
5	Th (торий) 230 → Ra (радий) 226 → Rn (радон) 222
6	Pb (свинец) 214 → Bi (висмут) 214 → Po (полоний) 214
7	Th (торий) 231 → Pa (протактиний) 231 → Ac (актиний) 227
8	Ra (радий) 228 → Ac (актиний) 228 → Th (торий) 228
9	Pu (плутоний) 238 → U (уран) 234 → Th (торий) 230
10	U (уран) 235 → Th (торий) 231 → Pa (протактиний) 231
11	Sr (стронций) 90 → Y (иттрий) 90 → Zr (цирконий) 90
12	Cs (цезий) 137 → Ba* (барий) 137 → Ba (барий) 137
13	Po (полоний) 216 → Pb (свинец) 212 → Bi (висмут) 212
14	Zr (цирконий) 95 → Nb (ниобий) 95 → Mo (молибден) 95
15	Th (торий) 232 → Ra (радий) 228 → Ac (актиний) 228
16	Cm (кюрий) 243 → Pu (плутоний) 239 → Np (нептуний) 235
17	Ac (актиний) 228 → Th (торий) 228 → Ra (радий) 224
18	Po (полоний) 218 → Pb (свинец) 214 → Bi (висмут) 214
19	Ac (актиний) 227 → Th (торий) 227 → Ra (радий) 223
20	Bi (висмут) 212 → Po (полоний) 212 → Pb (свинец) 208

Определить:

- 1) тип распадов радионуклидов;
- 2) количество радиоактивных атомов и активность радионуклидов, если масса препарата 1 грамм;
- 3) пробег частиц в воздухе и в биологической ткани (биологическая ткань имеет атомную массу  $M = 15,7$ , моль<sup>-1</sup>; плотность  $\rho = 1$ , г/см<sup>3</sup>);
- 4) мощность поглощенной дозы от радионуклидов, попавших вовнутрь организма человека, считая, что удельная активность радионуклида нормирована на начальную удельную активность  $A_m(0) = 2$  кБк/г;

5) поглощенную дозу от радионуклидов за  $n$  лет жизни человека ( $n$  – номер варианта);

б) виды и толщину защитного экранирования от ионизирующих излучений в радиоактивной цепочке (используя учебную литературу).

### *Теоретические сведения*

Атом – наименьшая часть химического элемента. У каждого химического элемента определен состав атома, определяющий его химические и физические свойства. Атомы имеют размеры порядка  $10^{-10}$  м и массу  $10^{-27}$  кг. Атом состоит из ядра и электронов, вращающихся вокруг него. Атом электрически нейтрален, т. к. положительный заряд ядра равен сумме зарядов отрицательно заряженных электронов.

Ядро имеет сложную структуру, но основными его частями являются протоны, нейтроны и другие элементарные частицы.

*Протон* ( $p$ ) имеет положительный заряд, равный заряду электрона  $+e = 1,6021892 \cdot 10^{-11}$  Кл и массу покоя  $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$  кг  $\approx 1836 m_e$ , где  $m_e$  – масса покоя электрона,  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг.

*Нейтрон* ( $n$ ) является электрически нейтральной частицей (его заряд равен нулю). Масса покоя нейтрона  $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$  кг. Очень существенно, что масса нейтрона превышает массу протона примерно на 2,5 массы электрона ( $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг). Это приводит к тому, что нейтрон в свободном виде (вне ядра) оказывается нестабильным (радиоактивным).

Протоны и нейтроны называют *нуклонами*.

Атомное ядро характеризуется зарядом  $Ze$  ( $+e$  заряд протона).

Зарядовое число  $Z$  ядра равно числу протонов в ядре, совпадающее с порядковым номером химического элемента в Периодической системе элементов Менделеева.

Также важнейшей характеристикой ядра является массовое число  $M$ , равное числу нуклонов (т. е. суммарному числу протонов и нейтронов). Это число определяет массу ядра в атомных единицах массы, которая приблизительно равна 1 а. е. м.  $\approx 1,6606 \cdot 10^{-27}$  кг. С точностью до 1% выполняется равенство  $m_p \approx m_n \approx 1$  а. е. м. Очевидно, что число нейтронов в ядре  $N = M - Z$ .

Для обозначения ядер применяется символ  ${}^M_Z X$ , где  $X$  – обозначение соответствующего химического элемента;  $M$  – массовое число ядра;  $Z$  – зарядовое число ядра.

Например, атом кислорода записывается в виде  $^{16}_8\text{O}$ , азота  $^{14}_7\text{N}$  и т. д. Большинство химических элементов имеет несколько разновидностей, отличающихся массой атомов. Ядра этих атомов содержат одинаковое число протонов, но различное число нейтронов и занимают одно и то же место в периодической системе элементов. Такие химические элементы называются *изотопами*. Например, изотопы углерода:  $^{11}_6\text{C}$ ,  $^{12}_6\text{C}$ ,  $^{13}_6\text{C}$ ,  $^{14}_6\text{C}$ ,  $^{15}_6\text{C}$ . Изотопы могут быть стабильными и нестабильными.

*Радиоактивность* – самопроизвольное превращение (спонтанное) неустойчивых изотопов химического элемента в другие изотопы (обычно другого) элемента, сопровождающееся испусканием элементарных частиц.

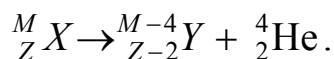
Радиоактивность подразделяют на естественную (наблюдается у неустойчивых изотопов) и искусственную (наблюдается у изотопов, полученных посредством ядерных реакций).

Естественное радиоактивное превращение ядер, происходящее самопроизвольно, называют *радиоактивным распадом*. Атомное ядро, испытывающее радиоактивный распад, называют материнским, возникающее ядро – дочерним.

### **Методические указания по решению задачи**

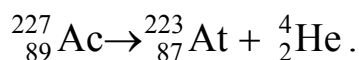
1. Основными видами радиоактивного распада являются: альфа-распад, бета-распад, которые включают  $\beta^-$ -распад,  $\beta^+$ -распад и  $K$ -захват.

При  $\alpha$ -распаде материнское ядро  $^M_Z X$  испускает  $\alpha$ -частицу, представляющую собой ядро атома гелия  $^4_2\text{He}$ , состоящее из двух протонов и двух нейтронов и превращается в дочернее ядро  $^{M-4}_{Z-2} Y$ . Схема такого радиоактивного распада имеет вид:

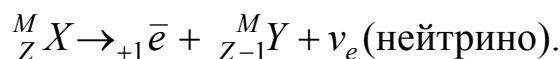


При испускании  $\alpha$ -частицы зарядовое число  $Z$  ядра  $X$  уменьшается на 2 единицы, а массовое число  $M$  уменьшается на 4 единицы.

Например:

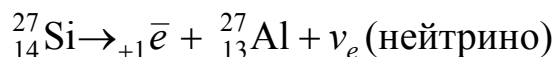


При  $\beta^+$ -распаде ядро испускает позитрон  ${}_{+1}\bar{e}$  и нейтрино  $\nu_e$ .



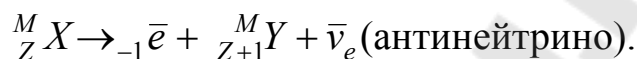
При этом зарядовое число  $Z$  ядра  $X$  уменьшается на единицу, а массовое число  $M$  остается прежним.

Например:



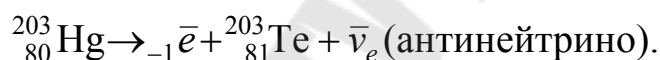
При  $\beta^-$ -распаде материнское ядро  ${}^M_Z X$  испускает электрон  $\bar{e}$  и антинейтрино  $\bar{\nu}_e$  (электрически нейтральная элементарная частица).

Схема такого радиоактивного превращения имеет вид



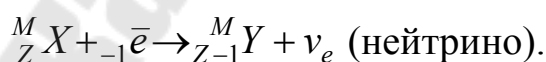
При таком распаде зарядовое число вновь образовавшегося элемента  ${}^M_{Z+1} Y$  увеличивается на единицу, а массовое  $M$  остается таким же.

Например:



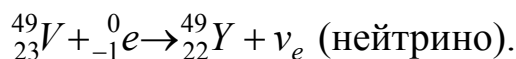
Выброс  $\beta$ -частицы может сопровождаться испусканием  $\gamma$ -квантов.

При  $K$ -захвате ядро поглощает один из электронов из ближайшей к нему электронной  $K$ -оболочки атома и испускает нейтрино (нейтральная элементарная частица). Схема такого радиоактивного превращения имеет вид:



Захват ядром электрона, обычно с наиболее низкого электронного энергетического уровня (из  $K$ -оболочки), приводит к уменьшению порядкового номера (заряда) на единицу и не влияет на  $M$  – массовое число.

Например:



Процесс последовательных ядерных превращений, как правило, заканчивается образованием стабильных ядер.



Радиоактивные превращения подчиняются закону радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

где  $N$ ,  $N_0$  – число атомов, не распавшихся на момент времени  $t$  и  $t_0$ ;

$\lambda$  – постоянная радиоактивного распада, имеющая свое индивидуальное значение для каждого вида радионуклида, характеризующая скорость распада.

Время, в течение которого, вследствие превращений, распадается половина ядер, называется *периодом полураспада*  $T_{1/2}$ .

Период полураспада  $T_{1/2}$  связан постоянной распада  $\lambda$  зависимостью  $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$ . Период полураспада у разных радионуклидов различный.

Скорость распада определяется активностью вещества

$$A = dN/dt = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = \lambda \cdot N,$$

где  $A$  и  $A_0$  – активности вещества в момент времени  $t$  и  $t_0$ .

2. Количество радиоактивных атомов в массе вещества определяется по формуле:

$$N = m \cdot N_a / M, \quad (2.2)$$

где  $N$  – количество радиоактивных атомов;

$m$  – масса вещества, г;

$N_a$  – число Авогадро, моль ( $N_a = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>);

$M$  – массовое число, моль<sup>-1</sup>.

Активность радионуклидов вычисляется следующим образом:

$$A = \frac{0,693 \cdot N}{T_{1/2}}, \quad (2.3)$$

где  $A$  – активность радионуклидов, Бк;

$N$  – число радиоактивных атомов;

$T_{1/2}$  – период полураспада, с (табл. 2.3).

3. Пробег *альфа-частиц* вычисляют по следующим формулам:

– в воздухе:

$$R_\alpha^{\text{возд}} = 0,318 \cdot E_\alpha, \text{ если } E_\alpha \geq 4 \text{ МэВ}, \quad (2.4)$$

$$R_{\alpha}^{\text{возд}} = 0,56 \cdot E_{\alpha}, \text{ если } E_{\alpha} < 4 \text{ МэВ}, \quad (2.5)$$

где  $R_{\alpha}^{\text{возд}}$  – пробег альфа-частицы в воздухе, см;  
 $E_{\alpha}$  – энергия альфа-частицы, МэВ (табл. 2.3);  
 – в биологической ткани:

$$R_{\alpha}^{\text{б.т}} = \frac{10^{-4} \sqrt{M_{\text{б.т}} \cdot E_{\alpha}^3}}{\rho}, \quad (2.6)$$

где  $R_{\alpha}^{\text{б.т}}$  – пробег альфа-частицы в биологической ткани, см;  
 $M_{\text{б.т}}$  – атомная масса биологической ткани,  
 $\rho$  – плотность биологической ткани, г/см<sup>3</sup>.  
 Пробег **бета-частиц** вычисляют по зависимостям:  
 – в воздухе:

$$R_{\beta}^{\text{возд}} = 450 \cdot E_{\beta}, \quad (2.7)$$

где  $R_{\beta}^{\text{возд}}$  – пробег бета-частицы в воздухе, см;  
 $E_{\beta}$  – энергия бета-частицы, МэВ;  
 – в биологической ткани

$$R_{\beta}^{\text{б.т}} = \frac{R_{\beta}^{\text{возд}} \cdot \rho_{\text{возд}}}{\rho_{\text{б.т}}}, \quad (2.8)$$

где  $R_{\beta}^{\text{б.т}}$  – пробег бета-частицы в биологической ткани, см;  
 $\rho_{\text{возд}}$  – плотность воздуха, г/см<sup>3</sup>, ( $\rho_{\text{возд}} = 0,0013$  г/см<sup>3</sup>);  
 $\rho_{\text{б.т}}$  – плотность биологической ткани, г/см<sup>3</sup>;  
 – в алюминии

$$R_{\beta}^{\text{Al}} = 2,5 \cdot E_{\beta}, \quad (2.9)$$

где  $R_{\beta}^{\text{Al}}$  – пробег бета-частицы в алюминии, мм.

4. Мощность поглощенной дозы, создаваемой в органе или ткани, определяется:

$$\tilde{D} = 5,8 \cdot 10^{-4} \cdot E \cdot A_m, \quad (2.10)$$

где  $\tilde{D}$  – мощность поглощенной дозы, Гр/ч;  
 $E$  – энергия альфа или бета-частиц, МэВ;  
 $A_m$  – удельная активность, кБк/г.

5. Поглощенная доза определяется:

$$D = \tilde{D} \cdot t \text{ при } t \ll T_{1/2}, \quad (2.11)$$

или

$$D = \frac{\tilde{D} \cdot T_{1/2}}{0,693} \text{ при } t \gg T_{1/2}, \quad (2.12)$$

где  $D$  – поглощенная доза, Гр;

$\tilde{D}$  – мощность поглощенной дозы, Гр/ч;

$t$  – заданное время, ч;

$T_{1/2}$  – период полураспада, ч.

6. Тип защитного экрана выбирается из учебной литературы.

Таблица 2.3

**Характеристики некоторых радиологически значимых радионуклидов**

Радионуклид	Период полураспада $T_{1/2}$	$E_{\alpha}$ , МэВ	$E_{\beta}$ , МэВ	$E_{\gamma}$ , МэВ
Ba (барий) 137	2,55 минут	–	0,71	–
Zr (цирконий) 95	64,05 суток	–	0,115	0,756
U (уран) 235	$7,13 \cdot 10^8$ лет	4,4	–	0,1
U (уран) 238	$4,5 \cdot 10^9$ лет	4,18	–	0,049
Th (торий) 232	$1,39 \cdot 10^9$ лет	3,98	–	–
Th (торий) 228	1,91 лет	5,42	–	0,137
Th (торий) 227	18,72 суток	5,76	–	–
Th (торий) 231	25,6 часа	–	0,31	–
Th (торий) 234	24,1 суток	–	0,19	0,093
Th (торий) 230	$8 \cdot 10^4$ лет	4,2	–	–
U (уран) 234	$2,48 \cdot 10^5$ лет	4,76	–	0,053
Ra (радий) 226	1620 лет	5,12	–	–
Ra (радий) 228	6,7 года	–	0,04	0,01
Cm (кюрий) 242	163 суток	6,12	–	–
Cm (кюрий) 243	32 года	6,06	–	0,278
Sr (стронций) 90	28,1 года	–	0,2	–
Cs (цезий) 137	30,17 лет	–	0,195	–
Pu (плутоний) 238	87,75 лет	5,456	–	0,044
Pu (плутоний) 239	$2,44 \cdot 10^4$ лет	5,156	–	0,129
Po (полоний) 218	3,05 минут	6,0	–	–
Po (полоний) 216	0,158 секунд	6,77	–	–

Окончание табл 2.3

Радионуклид	Период полураспада $T_{1/2}$	$E_{\alpha}$ , МэВ	$E_{\beta}$ , МэВ	$E_{\gamma}$ , МэВ
Po (полоний) 212	$3 \cdot 10^{-7}$ секунд	8,12	–	–
Po (полоний) 210	138,4 суток	5,3	–	–
Pb (свинец) 214	26,8 минут	–	0,68	0,35
Pb (свинец) 212	10,6 часа	–	0,33	0,238
Ac (актиний) 228	6,13 часа	–	1,18	0,06
Ac (актиний) 227	21,77 лет	–	0,25	–
Bi (висмут) 214	19,7 минут	–	2,3	–
Bi (висмут) 212	60,5 минут	–	8,12	–
Bi (висмут) 210	5 суток	–	1,17	–
Y (иттрий) 90	64,1 часа	–	0,931	–
Nb (ниобий) 95	35,1 суток	–	0,046	–
Pa (протактиний) 231	$3,4 \cdot 10^4$ лет	4,12	–	–
Rn (радон) 222	3,825 суток	5,32	–	–

## Литература

1. Постник, М. И. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях / М. И. Постник. – Минск : ВШ, 2003. – 398 с.
2. Дорожко, С. В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность : учеб. пособие. Ч. 1 / С. В. Дорожко, В. Т. Пустовит, Г. И. Морзак. – Минск : УП «Технопринт», 2001. – 222 с.
3. Дорожко, С. В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: учеб. пособие. Ч. 2 / С. В. Дорожко [и др.] – Минск : УП «Технопринт», 2002. – 261 с.
4. Дорожко, С. В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: учеб.-метод. пособие. Ч. 3 / С. В. Дорожко, В. П. Бубнов, В. Т. Пустовит. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – 210 с.
5. Защита населения и объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях: учеб. для вузов / под ред. М. И. Постника. – Минск : Універсітэцкае, 1997. – 278 с.
6. Жалковский, В. И. Защита населения в чрезвычайных ситуациях: учеб. пособие / В. И. Жалковский, З. С. Ковалевич. – Минск : Мисанта, 1998. – 112 с.
7. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: справочник / под ред. Г. П. Демиденко. – Киев : ВШ, 1989. – 287 с.
8. Маргулис, У. Я. Атомная энергия и радиационная безопасность / У. Я. Маргулис. – Москва : ЭАИ, 1988. – 224 с.
9. Бударков, В. А. Радиологический справочник / В. А. Бударков, В. А. Киршин, А. Е. Антоненко. – Минск : Ураджай, 1992. – 336 с.
10. Михнюк, Т. Ф. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие / Т. Ф. Михнюк. – Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 240 с.

## Содержание

Введение.....	3
Методические указания по выполнению контрольной работы.....	7
Раздел 1. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях.....	8
1.1. Общий вопрос .....	8
1.2. Вопросы по вариантам к контрольным заданиям.....	8
1.3. Комплексная задача № 1 .....	9
Раздел 2. Основы радиационной безопасности .....	24
2.1. Общая задача .....	25
2.2. Вопросы по вариантам.....	27
2.3. Комплексная задача № 2.....	29
Литература .....	37

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

# **ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**Методические указания  
к контрольной работе по одноименному курсу  
для студентов заочной формы обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

Авторы-составители: **Крючек** Николай Семенович  
**Морозова** Ольга Юрьевна  
**Новикова** Валентина Афанасьевна

Редактор *Л. Ф. Теплякова*  
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 29.01.07.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 2,20. Уч.-изд. л. 2,33.

Изд. № 232.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Издательский центр Учреждения образования  
«Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0133207 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.